

Географический вестник
= *Geographical bulletin*

Выпуск 4/2023

Научный журнал

Основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

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

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

Главный редактор

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

Адрес учредителя и издателя:

614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Адрес редакции:

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

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

Geographical Bulletin

Issue 4/2023

Scientific Journal

Founded in 2005. Published 4 times a year

FOUNDER

Perm State University

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

Editor-in-Chief

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

Address of the founder and publisher:

15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068

Address of the editorial board:

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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

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 2ft he 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 биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ (Пермь, Россия)

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

Калинин 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. Pjankov, 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

СОДЕРЖАНИЕ	6	THEORETICAL GEOGRAPHY
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ	6	THEORETICAL GEOGRAPHY
Лесных С.И., Черкашин А.К. Поведенческая география как направление теоретических исследований и моделирования	6	Svetlana I. Lesnykh, Alexander K. Cherkashin Behavioral geography as an area of theoretical research and modeling
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ	27	PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В. Современное рельефообразование в ландшафте дельты Волги (на примере группы бугровых урочищ)	27	Viktor V. Zanozin, Alexander N. Barmin, Valery V. Zanozin, Mikhail V. Valov Modern relief-forming processes in the Volga Delta landscape (a case study of a group of knoll tracts)
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ	41	ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю. Образовательные миграции в Сибири: исследование на основе данных социальной сети	41	Konstantin A. Chernyshev, Timur R. Miryazov, Evgeniy Yu. Petrov Educational migration in Siberia: research based on social network data
Зиновьев А.С., Ступин Ю.А. Оценка неравномерности социально-экономического развития Литвы в 2004–2019 гг.	52	Andrey S. Zinovyev, Yurii A. Stupin Assessment of the uneven socio-economic development of Lithuania in 2004–2019
Ажинов Д.Г. Формирование сети взаимодействия образовательных организаций высшего образования на территории северо-западного макрорегиона Российской Федерации	71	Danil G. Azhinov Formation of a network of interaction among universities in the North-Western macro-region of the Russian Federation
МЕТЕОРОЛОГИЯ	85	METEOROLOGY
Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А. Численное моделирование предельных состояний планетарной атмосферы	85	Alexey V. Bykov, Andrey L. Vetrov, Petr G. Frick, Andrei N. Sukhanovsky, Nikolay A. Kalinin, Rodion A. Stepanov Numerical modeling of extreme conditions of planetary atmosphere
Коспанов А.А., Константинов П.И. Применение многоуровневой параметризации городских ландшафтов в климатической модели WRF-ARW для создания базы данных о климате мегаполиса и его пригородов: первые результаты на примере Московского региона	99	Alen A. Kospanov, Pavel I. Konstantinov Application of multi-layer parameterization of urban landscapes in WRF-ARW regional model to create a database on the climate of a megacity and its suburbs: first results for the Moscow region
Бибеева А.Ю. Термический режим верхних ландшафтных поясов севера Приморского хребта (Прибайкалье) в 2021–2022 гг.	110	Anna Y. Bibaeva Thermal regime of the upper landscape belts in the north of the Primorsky Ridge (Pribaikalye) in 2021–2022

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ	127	ECOLOGY AND NATURE USE
Дорошенко В.В. Динамика площади открытых песков на северо-востоке Ставропольского края в 2022 г.	127	Valeriya V. Doroshenko Dynamics of the area of open sands in the Stavropol region in 2022
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В. Математическое моделирование распространения семян клена ясенелистного в городской среде	137	Alexei S. Shutkin, Konstantin G. Schwartz, Vladimir A. Shklyayev, Larisa V. Novoselova Mathematical modeling of the spread of <i>Acer negundo</i> seeds in the urban environment
РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ	147	RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM
Konyshev E.V., Safarian A.A. The evaluation of development efficiency for the tourism and recreation complex in the regions of Russia with the dea method	147	Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian The evaluation of development efficiency for the tourism and recreation complex in the regions of Russia with the dea method
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И. Геотуризм в концепциях наследия и образования	160	Yuri N. Golubchikov, Victor I. Kruzhalin Geotourism in the concepts of heritage and education
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И. Формирование медико-туристических кластеров в территориальной структуре сферы здоровьесбережения: вопросы методологии и методики	172	Nikolai A. Grudtsyn, Anatoly I. Chistobaev Formation of medical tourism clusters in the territorial structure of the healthcare sector: issues of methodology and techniques
КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА	183	CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS
Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л. О проектировании схемы особо охраняемых природных территорий в Краснодарском крае. Геоинформационный аспект	183	Anatoly V. Pogorelov, Evgeny N. Kiselev, Vasily L. Mahonin On the design of a scheme of protected natural areas in the Krasnodar region. A geoinformation aspect.

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научная статья

УДК: 911.5/.9

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-6-26

ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Светлана Ивановна Лесных¹, Александр Константинович Черкашин²

^{1,2} Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

¹ tyara@irigs.irk.ru, Author ID: 67776, ResearcherID: AAZ-5292-2020

² akcherk@irnok.ru, Author ID: 58425, Scopus ID: 7003391794

Аннотация. Рассматривается концепция поведенческой географии, определяются ее предмет, основные методы и модели, показывается отличие этого подхода от других направлений разработки теории географической науки. Поведенческая география анализируется в рамках интертеории механизмов регулирования в природе, обществе и хозяйстве – взаимодействия компонентов интегральных геосистем с учетом особенностей географической среды, изменяющейся во времени и пространстве. Территориальный объект изучается в локальном фазовом пространстве относительных признаков, отражающем состояния индивидуальной системы поведения в пространстве и времени без учета особенностей среды. Затем учитывается средовая географическая поправка, привязывающая объект к конкретной территории. Процедуры моделирования основаны на идеях дифференциальной геометрии. С этих метатеоретических позиций поведение отражается с помощью формулы производной Лагранжа и уравнения Эйлера. Различаются холистическое поведение, характеризующее траекторию движения геосистемы в целом, и механическое поведение, учитывающее механизмы взаимодействия частей целого в схемах регулирования, что однозначно определяет предмет исследования интертеории поведения систем. Все это позволяет использовать обширный арсенал методов математического анализа, применяемый в механике, распространив их на другие процессы в природе и обществе. Выделяются стационарные и нестационарные, устойчивые и неустойчивые, автономные и неавтономные системы поведения – последние связаны с воздействием изменчивой окружающей среды и внешним управлением. На примере жизненного цикла лесонасаждений описаны механизмы роста и самоизреживания древостоев в различной географической среде. Предложен алгоритм прогнозного моделирования и картографирования лесов с поправкой на полноту и бонитет насаждений, основанный на подобию временных зависимостей изменения запасов древесины леса. Лесные геосистемы изучаются «в чистом виде» для эталонных лесов, а потом с помощью поправок соотносятся со своей средой, регламентирующей поведение конкретной геосистемы.

Ключевые слова: поведение интегральных геосистем, интертеория поведения, механизмы взаимодействия и регулирования состояния, фазовые пространства, моделирование жизненного цикла лесов

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190056-4).

Для цитирования: Лесных С. И., Черкашин А. К. Поведенческая география как направление теоретических исследований и моделирования // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.6–26. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-6-26

THEORETICAL GEOGRAPHY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-6-26

BEHAVIORAL GEOGRAPHY AS AN AREA OF THEORETICAL RESEARCH AND MODELING

Svetlana I. Lesnykh¹, Alexander K. Cherkashin²

^{1,2} V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

¹ tyara@irigs.irk.ru, Author ID: 67776, ResearcherID: AAZ-5292-2020

² akcherk@irnok.ru, Author ID: 58425, Scopus ID: 7003391794

Abstract. The article discusses the concept of behavioral geography, defines its subject, basic methods, and models, shows the difference between this approach and other areas of the theory of geographical science. Behavioral geography is analyzed within the intertheory of regulatory mechanisms in nature, society, and the economy – the interaction of components of integral geosystems that takes into account the peculiarities of the geographical environment as changing in time and space. A territorial object is studied



*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

in the local phase space of relative features that reflects the states of the individual system of behavior in space and time without taking into account the characteristics of the environment. The environmental geographic correction that binds the object to a specific territory is then factored in. Modeling procedures are based on ideas of differential geometry. From these metatheoretical positions, behavior is reflected by the Lagrange derivative formula and the Euler equation. There are distinguished holistic behavior, characterizing the trajectory of the geosystem as a whole, and the mechanical behavior, taking into account the mechanisms of interaction of parts of the whole in the control schemes, which unambiguously determines the subject of the intertheory of the behavior of systems. All this allows us to apply a broad arsenal of mathematical analysis methods used in mechanics, extending them to other processes in nature and society. There are distinguished stationary and non-stationary, stable and unstable, autonomous and non-autonomous behavior systems; the latter are associated with the impact of a variable environment and external management. Through the example of the life cycle of forest plantations, the paper describes the mechanisms of growth and self-thinning of stands in various geographical environments. We propose an algorithm of forecast modeling and mapping of forests with correction for completeness and site quality of plantations, based on similarity of time dependences of change in forest wood reserves. Forest geosystems are studied 'in pure form' for reference forests, and then, with the help of corrections, they are correlated with their environment, which regulates the behavior of a particular geosystem.

Keywords: behavior of integral geosystems, intertheory of behavior, mechanisms of interaction and state regulation, phase spaces, forest life cycle modeling

Funding: the study was financed from the state assignment fund (topic state registration No. AAAA-A21-121012190056-4).

For citation: Lesnykh, S.I., Cherkashin, A.K. (2023). Behavioral geography as an area of theoretical research and modeling. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.6–26. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-6-26

Введение

Продолжение традиции системных исследований [2; 5; 24; 25; 30; 48] и моделирования [17; 29; 46] в географии требует дальнейшего совершенствования методов познания в направлении формирования теоретических основ математического описания территориальных образований как интегральных геосистем, в которых взаимосвязаны природные, природно-ресурсные, социальные, инфраструктурные и техногенные компоненты [4].

Потенциально существует множество теорий для многоаспектного отражения сложной географической действительности, в каждой из которых применяются разнообразные модели и методы, отличающиеся по особенностям системной интерпретации понятий [34; 35]. Каждый из теоретических описаний имеет аналоги в других смежных научных дисциплинах, что придает им сквозной характер и дает возможность разрабатывать сквозные теории (интертеории по А. А. Ляпунову [16]), позволяющие в общих терминах отражать природные, хозяйственные и общественные процессы и явления. Для решения специальных задач с использованием системных моделей необходимо выделить особенности каждой из таких теорий, их понятийный и аксиоматический базис, продемонстрировать их применение в практике географических исследований, исходя из примера функциональных систем [37] и сложных геосистем - геокомплексов [36].

В этой статье рассматривается поведенческая концепция сквозной теории механизмов регулирования, определяются ее предмет, основные методы и математические модели, на абстрактных и конкретных примерах показаны отличия этого подхода от других направлений разработки системных теорий для географической науки.

Современное состояние проблемы

Термин «поведенческая география» возник в 1960-е гг. в США в результате проникновения в географию идей поведенческой (бихевиористской) психологии, основанной на модельной схеме «стимул – реакция». В зарубежной географии (работы Дж. Голда, Р. Голледжа, П. Гоулда и др.) это направление изучает территориальные различия в поведении человека и его ориентирование в пространстве. В современном виде оно объединяет концепции и эмпирические результаты междисциплинарного изучения человеческого разума и деятельности в пространстве, месте и окружающей среде, относящиеся к географии человека, картографии и географической информатике [47]. Исследование, как правило, проводится на уровне территориальных объектов небольших размеров (поселок, город, район) во взаимодействии со специалистами социально-экономической географии [9; 11; 26]. Современная поведенческая география - специализированная дисциплина географии человека, которая уделяет особое внимание когнитивным процессам при формировании пространствен-

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

ных решений, используя дезагрегированный подход к человеческому поведению, т.е. на уровне отдельного человека [42]. Выделяются три основных предметных направления исследований: когнитивное картографирование, исследование природных опасностей и привязанность к месту [42]. Со стороны радикальных представителей гуманитарной географии появилась мощная критика за формализованное изучение субъективного осмысления человеком пространства. Отчасти из-за этой критики с 1980-х гг. поведенческая география потеряла популярность в рамках географии человека [39].

Поведенческая география в период своего расцвета, основываясь на фактическом материале из разных регионов мира, способствовала теоретико-количественной революции и расцвету пространственного анализа [43; 44], включая гравитационные модели изучения суточных, недельных и иных перемещений людей. Широко использовались методы агентного моделирования и теории игр для системного анализа стратегий поведения, включая поведение лиц, принимающих решения в условиях неопределенности состояния окружающей среды. Эти события изменили методологию поведенческой географии, которая вышла за рамки традиционных пространственных исследований, обеспечивая практически любой масштаб когнитивно-поведенческих проблем, интересных для географов, – от внутренних пространств зданий до понимания космоса [42].

Действительно, в науке допускается очень широкая трактовка поведения – системы внутренне взаимосвязанных действий, осуществляемых объектом во взаимодействии с окружающей средой. Термин «поведение» употребляется применительно к объектам любого уровня организации, например, говорят даже о пространственном поведении электрона в магнитном поле. Поведение — совокупность реальных действий и внешних проявлений жизнедеятельности человека и животных, что имеет огромное значение при адаптации их к окружающей среде [38]. Наука об инстинктивном поведении человека и животных в естественной и искусственной среде и эволюции поведения называется этологией. Можно также исследовать поведение автомобилей на трассе, толпы людей или товарного рынка и т.д.

Наблюдение устойчивой смены состояний геосистем в суточных и годовых циклах стало основанием Н.Л. Беручашвили [6] сформировать представление о поведении геосистем, т. е. то, что изучает раздел ландшафтоведения, – этология ландшафта. Этология ландшафта рассматривает смену состояний как поведенческие акты, связанные с внешними воздействиями и внутренними особенностями геосистемы. Последовательность смены состояний (стексов) отражает их поведенческую динамику в пространстве и во времени [48]. Во всякий момент и в каждом месте геосистема характеризуется возникшими ранее свойствами (признаками) ее компонентов и направленностью процессов их изменения, как результата взаимодействия компонентов и влияния местной среды. В итоге создана ландшафтно-этологическая карта мира [6].

Прямое отношение к исследованию поведения больших систем имеет концепция геоситуационного анализа и моделирования [14; 20]. Одним из аспектов геоситуационного подхода является идея согласования интересов между отдельными элементами системы и между ними и окружающей средой. Любая геоситуация является результатом взаимодействия и столкновения производственных, социальных и природных «интересов». Система рассматривается как относительно устойчивая совокупность отношений между элементами, с помощью которых достигается и поддерживается компромисс, необходимый для ее существования. Геосистема имеет спектр различных взаимосвязанных состояний (геоситуаций), в рамках которого она сохраняет свои основные качества, и выход за указанные границы спектра геоситуаций приводит к качественным изменениям системы, к замене ее другой. Адекватным методом изучения геоситуаций является геоситуационное моделирование, основанное на положениях реляционного подхода, где все отношения подсистем многоуровневого образования описываются в табличной форме [20]. Геоситуационный подход применяется к мо-

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

делированию пространственно-временных процессов взаимодействия характеристик территории и выступает в роли теоретического обоснования моделирования взаимодействия географических объектов и окружающей их среды.

В работах М.Д. Шарыгина и В.А. Столбова [26] развивается пространственно-поведенческая парадигма, где поведенческая география обращает внимание не только на восприятие человеком, группой людей и обществом окружающего мира, но и на особенности поведения в разных пространствах (личном, семейном, деловом, природном, информационном и др.), уделяя особое внимание формулировке принципов формирования оптимальной среды жизнедеятельности. Человек обучается типичным формам поведения в типичных средовых ситуациях, поэтому ситуации и их восприятие определяют возможные варианты поведения [22], что должно быть характерно для изменения любой системы, детерминированной местными обстоятельствами.

Универсальное (сквозное) понимание поведения систем разного рода в природе и обществе позволяет считать, что предметом исследования поведенческих систем, в том числе и в географии, могут стать любые изменения систем механизмов регулирования. Синтез суждений из различных источников позволяет дать следующие определения, связанные с этими понятиями.

Регулирование – это процесс приведения системы в порядок, в норму, руководствуясь законами взаимодействия и изменения ее частей, а также целенаправленное управляющее воздействие, ориентированное на поддержание равновесия в управляемой системе с помощью регуляторов (норм, правил, целей, связей). Например, – гомеостатическое регулирование состояния организма в биологии или автоматическое управление производственными процессами.

Механизм – это не просто приспособление, обеспечивающее работу технического устройства; это последовательность связанных частей, состояний и изменений, из которых складывается внутреннее устройство любого физического, химического, биологического, экономического, социального и иного наблюдаемого процесса. В частности, экономические механизмы возникают в том случае, если некоторое исходное экономическое явление влечет за собой ряд других, причем для их возникновения не требуется дополнительного импульса – необходимая взаимосвязь естественно возникает между различными экономическими явлениями и вызывает самодвижение, что сближает экономическую трактовку данного понятия с физической [15].

Для естественного развития эко- и геосистем также не требуется регуляции извне, поскольку это саморегулирующиеся системы [1]. Поведенческая экология – направление исследований поведения, включающее изучение влияния на него экологических факторов, с одной стороны, и влияние поведения живых существ на окружающую среду, с другой, основное внимание сосредоточено на взаимодействии (транзакции) между средой и поведением в ней организмов. Ориентация этого подхода холистическая, и в качестве основного инструмента исследования используется естественное наблюдение [7]. В холистическом подходе, в отличие от механистических и редукционистских методов, акцент делается на изучении целостной личности, организма или сообщества живых организмов как неразрывного целого, с оценкой свойств системы в целом с последующим изучением взаимодействия ее частей посредством положительных и отрицательных связей.

Геофизика ландшафта — раздел физической географии, связанный с биогеофизикой, изучает роль физических полей и источников энергии в формировании региональной и локальной структуры геосферы [11]. Эта наука затрагивает вопросы трансформации энергии в биогеоценозах, фотосинтеза и детритных потоков энергии, самоорганизации и саморегулирования геосистем [1].

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

Такое расширенное приложения моделей механизмов взаимодействия, регулирования и поведения потребовало обобщения понятия «механическая система» со своей терминологией, с соответствующими законами и принципами [35]. Разрабатывается физико-математический подход к созданию теории геосистем с соотношением физических и термодинамических постулатов с основами физической географии и ландшафтоведения [28]. У теории механизмов взаимодействия есть своя специфика описания процессов и явлений. Особенно это касается интерпретации понятия «состояние». Так, функция термодинамического состояния зависит от величины аддитивных экстенсивных и производных интенсивных потенциалов, параметрически определяемых временем и координатами местоположения, которые, как правило, не являются переменными уравнений. Например, состояние характеризуется энергией физической системы, что зависит от ее размера (объема), температуры, давления и других внутренних потенциалов (макроскопических составных частей). Макроскопический подход применим, если число элементов системы велико, и их совокупность (ансамбль) характеризуются суммируемыми показателями типа энтропии, площади и массы объекта, числа элементов, количеством ресурсов и сырья, объемами производства, стоимости продукции, запасами информации и др. Н.Л. Беручашвили [6] считал, что элементарными частями природно-территориального комплекса являются геомассы – аэро-, гидро-, фито-, зоо- лито-, педо- и другие массы вещества, качественно разнородные тела специфического функционального назначения, распределенные по ландшафтным районам и геогоризонтам, чье поведение определяется направленностью и скоростью изменения во времени и перемещения в пространстве.

Перемещение масс отображается в виде уравнений потоков по двум методам изучения движения Лагранжа и Эйлера. В методе Лагранжа изучаются движение (поведение) каждой индивидуальной частицы, её путь, траектория, т.е. линия, по которой частица передвигается. Положение (состояние) каждой частицы в момент времени t задаётся пространственными или признаковыми координатами x, y, z . По методу Эйлера изучается движение элементов в фиксированных точках пространства ξ - состояниях (x, y, z) , например, поток водных масс через гидрометрический створ речного русла, достижение деревьями одновозрастного древостоя конкретного размера (диаметра, высоты), переход растительности в новую фазу сезонного развития. Такое движение рассматривается как динамический процесс смены массой элементов системы своих состояний. Различие двух подходов иллюстрируется движением транспорта: в первом случае прослеживается перемещение отдельной автомашины, во втором – идет мониторинг транспортного потока через таможенный пункт или пост автоинспекции. Поведенческие модели описывают движение по методу Лагранжа, т.е. наблюдают траекторию перемещения каждого элемента системы как результат реализации механизма взаимодействия ее частей, заданных переменными координатами состояния. Всякое отдельное понимание состояния приводит к созданию моделей специальных системных теорий.

Важными в теории поведения являются представления о различного рода перемещениях и циклах движения. Например, в Российской Империи для пользования ямской гоньбой выдавалась «Подорожная грамота», которая содержала реквизиты – пункт отправления, пункт назначения, промежуточные остановки, а также обязательный наказ в пунктах остановок предоставлять верховых лошадей. В современной действительности создаются планы мероприятий – «Дорожная карта» по продвижению системы к целевому состоянию с устойчивым механизмом регулирования ситуации в природе, на производстве и в обществе. Поведение в широком смысле трактуется как жизненные циклы объектов, товаров и инноваций, например, производственный цикл – это последовательность действий по пути превращения исходного сырья в готовую продукцию. В географии развивается теория энергопроизводственных циклов, разработанная Н.Н.Колосовским, Ю.Г.Саушкиным, А.Т.Хрущёвым, И.В. Комаром, И.Л. Савельевой, М.Д.Шарыгиным и другими отечественными экономико-

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

географами. При моделировании поведения используются такие понятия, как линия жизни, жизненный цикл (путь), маршрут и траектория движения, трек или ход развития, тенденция изменения и др.

Моделирование механизмов поведения

Состояние системы механизмов взаимодействия (СМВ) описывается переменными характеристиками $x_i(\xi, t) \in X_i$ геопространственных координат ξ и времени t или координат $X = \{X_i\}$ признакового пространства, отражающих состояние индивидуальной системы поведения [35]. Элементами таких систем являются набор этих показатели $x = \{x_i(\xi, t)\}$ и их производные изменения $dx_i/d\xi$ и $x_i' = dx_i/dt$ в пространстве ξ и во времени t разного порядка $d^{[n]}x_i/d\xi^{[n]}$ и $d^{[n]}x_i/dt^{[n]}$. Пространство, включающее переменные $x = \{x_i\}$ и их производные, называется фазовым пространством. Пространственные изменения соответствуют градиентам признаков вдоль траектории движения, временные – это скорости ($n=1$) и ускорения ($n=2$) перемещения. Формально СМВ описывается функцией $F(x, dx/dt, \dots)$ связи показателей вида $dx/dt = Ax$, к которому зависимости могут быть сведены путем преобразований переменных $x = \ln z$, $t = \ln \tau$. В системной функции механизмов поведения $F(x)$ под x понимается набор (вектор) переменных фазового пространства, в котором точка пространства однозначно соответствует состоянию системы $x(\xi, t)$ и может параметризоваться в физическом пространстве ξ и времени t [3]. Координаты в фазовом пространстве $x = \{x_i\}$ называются фазовыми переменными. Такие системы считаются автономными. В неавтономных системах функция $F(t, x(t))$ напрямую зависит от времени t , что бывает, если система преобразуется под влиянием изменчивого внешнего управления или окружающей среды. Траектория точки, изображающей поведение СМВ, называется фазовой кривой, а скорость и ускорение ее перемещения – фазовыми скоростями и ускорениями. Векторные поля фазового пространства показывают, с какой скоростью точка движется вдоль фазовой кривой.

Физический пример СМВ – сила $F(a) = ma$, которая, согласно второму закону механики Ньютона, пропорциональна ускорению $a = d^2x/dt^2$ движения тела; m – масса тела, коэффициент пропорциональности, указывающий, насколько надо увеличить силу, чтобы ускорение возросло на единицу: $m = \partial F(a)/\partial a$. Такие коэффициенты чувствительности в механических системах называют зарядами $q = \{q_i\}$ (электрическими, барионными и т.д.) [34]. Заряды – набор двойственных переменных к переменным фазового пространства, т.е. образует двойственное пространство координат $q_i = \partial F(x)/\partial x_i$ обладающее своей спецификой поведения. В механике движение изображающей точки определяется сравнительно простыми уравнениями Гамильтона, анализ которых позволяет делать заключения о поведении СМВ. В рамках интертеории поведения можно с успехом использовать математические понятия и модели классической механики, проинтерпретировав их в терминах новой области исследований механизмов регулирования.

В общественной сфере заряды характеризуют направленность действия различных сил на поведение системы типа своеобразных интересов, ориентации стимулов – сильных побудительных мотивов, внутренних или внешних параметров, определяющих величину и направление реакции, часто определяющих относительную скорость изменений [35]. В поведенческой экономике стимул составляет основу поведения человека, организаций и производств. В финансово-экономических отношениях, как параметры чувствительности, заряды определяют чувство собственности, направленность на сохранение и преумножение капитала, показатели производства и потребления, изменение спроса и предложения в расчете на единицу товара и потребителя, потребности и способности, наконец, личные, общественные и национальные интересы, так или иначе завязанные на проблемы собственности и суверенитета.

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

Метатеоретическое объяснение

Интертеория поведения описывает разнообразные перемещения целостного объекта в пространстве и времени и фазовом пространстве характеристик системы как результат работы механизма взаимодействия ее частей «в чистом виде», т.е. без учета состояния и изменения среды. Средовое влияние рассматривается по общему принципу для разных интертеорий на метатеоретическом уровне, использующем математические знания для решения задач моделирования с учетом естественных ограничений на вид формул. Используются процедуры расслоения дифференциальной геометрии, основываясь на представлении о дифференциале и производной, как базовой конструкции дифференциального исчисления. В каждой точке $x(t)$ фазового пространства $x(t)$ изменение неавтономной системной функции $F(t, x(t))$ многообразия связи фазовых переменных $x(t) = \{x_i(t)\}$, зависящих от времени t , определяется полным дифференциалом:

$$dF(t, x(t)) = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial x_1} dx_1 + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_i} dx_i + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n} dx_n, \quad a_i = \frac{\partial F(t, x(t))}{\partial x_i}. \quad (1)$$

Из нее выводится формула субстанциональной производной (производной Лагранжа), применяемой в теории сплошной среды:

$$\frac{dF(t, x(t))}{dt} = \frac{\partial F(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, x)}{\partial x_1} v_1 + \dots + \frac{\partial F(t, x)}{\partial x_i} v_i + \dots + \frac{\partial F(x)}{\partial x_n} v_n = \frac{\partial F(x)}{\partial t} + a \cdot v, \quad v_i = \frac{dx_i(t)}{dt}, \quad (2)$$

где $a = \{a_i\}$ – двойственные переменные, частные производные, чувствительности изменения функции $F(t, x(t))$ при изменении переменной $x_i(t)$ на единицу, конечные действительные числа, определяющие «вес» каждого приращения dx_i ; $v = \{v_i\}$ – скорости или пространственные градиенты изменения переменной $x_i(t)$ по параметру t времени или пути, пройденном в географическом пространстве. Если трактовать $F(t, x(t))$ как энергию, а $x_i(t)$ – в качестве пространственных координат, то a_i в классической механике соответствует импульсу движения; если как силу, то a_i считается зарядом.

Уравнения (1)–(2) описывают, как меняется система $F(t, x(t))$ под влиянием различных стимулов $x_i(t)$ со временем t или от расстояния ξ , например, глубины залегания грунтовых вод в зависимости от расстояния ξ до уреза воды водохранилища [10]. Г.Н. Высоцкий [8] на конкретном примере показал, какие важные выводы могут быть сделаны опытным исследователем при поездках по железной дороге путем наблюдений из окна вагона за ландшафтами с их заверкой при остановках на станциях. Уравнения (1)–(2) демонстрируют возможность при сравнительном изучении поведения ландшафтов перевести пространственные закономерности во временные, если удастся найти соответствия скорости и градиента: $dx_i/dt = K dx_i/d\xi$. Сейчас есть возможность наглядно проследить внутриконтинентальную и высотно-поясную трансформации природы и хозяйства регионов по пути следования поезда из Москвы на Урал, в Западную и Восточную Сибирь и на Дальний Восток на многочисленных интернет-сайтах [19], где при монокулярном зрении можно воспринять не только изменение, но и глубину ландшафтного пространства.

Уравнения (1)–(2) отражают поведение системы в локальной окрестности $dx = \{dx_i\}$ точки $x_0 = \{x_{0i}(\xi, t)\}$. Принимается метатеоретическая гипотеза, что уравнения справедливы в более широкой окрестности – касательного слоя $dx \rightarrow \Delta x(t) = x(t) - x_0(t) = y(t) = \{y_i(t)\}$, $y_i(t) = x_i(t) - x_{0i}(t)$ и $dF(t, x(t)) \rightarrow \Delta F = F(t, x(t)) - F(x_0(t)) = f(y(t))$. Здесь $y(t) = \{y_i(t)\}$ – система локальных координат с центром в подвижной или стационарной точке $x_0(t) = \{x_{0i}(t)\}$, когда $f(0) \equiv 0$. Тогда наблюдаемое поведение системы опишется соотношением [33]

$$F(t, x(t)) = f(y(t)) + F(x_0(t)), \quad (3)$$

где $f(y(t))$ отражает поведение системы в касательном слое типа $F_0 = F(x_0(t))$. В зависимости от содержания решаемой задачи переменная $F(x_0(t))$ воспринимается по-разному: 1) начало ко-

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

ординат фазового пространства; 2) начальное состояние процесса; 3) характеристика окружающей среды; 4) ошибка наблюдения; 3) сигнал на входе процесса (стимул); 5) норма поведения; 6) равновесное состояние; 7) характеристика партнера по парному взаимодействию и др. Локальные координаты $y(t) = \{y_i(t)\}$, используемые в расчетах, выражают относительность фазовых переменных типа относительности расстояния и скорости в физике или средовой относительности в географии. В дальнейшем $F(x_0(t))$ и $x_0(t)$ будем преимущественно трактовать как оценку состояния географической среды, резкая смена которой связывается с явлением трансформации системы (рис.1).

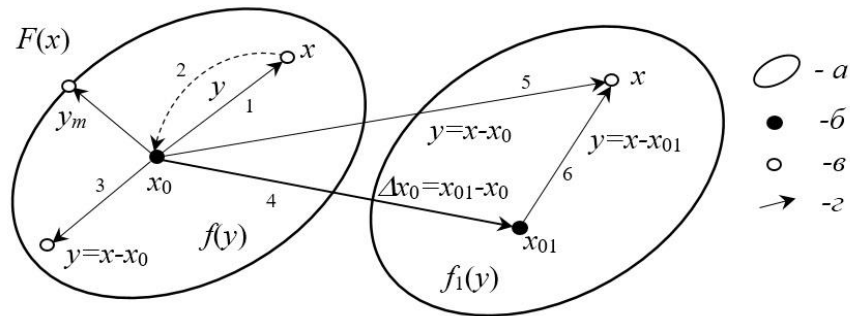


Рис.1. Векторно-графическая схема расслоения фазового пространства x на многообразии $F(x)$ на касательные слои $f(y)$ и $f_1(y)$ с точками касания x_0 и x_{01} – центрами локальных координат $y(t)=x(t) - x_0$: a – границы ядра слоя с предельным отклонением y_m ; b – положение центров (инвариантов) слоя x_0 ; c – переменные положения (состояния) поведенческой системы; z – стрелки-векторы, отражающие разные тенденции поведения: 1 – вынужденные отклонения от начального состояния и положения равновесия; 2 – устойчивая тенденция восстановления равновесия (обратная связь); 3 – неустойчивая тенденция отклонения от равновесия (прямая связь); 4 – явления трансформации, связанные с изменением инварианта слоя $\Delta x_0 = x_{01} - x_0$; 5 – положение системы в новом слое в старых координатах $y(t)=x(t) - x_0$; 6 – то же в новых координатах $y(t)=x(t) - x_{01}$.

Fig.1. The vector-graphic scheme of the bundle of phase space x on manifold $F(x)$ into tangent layers $f(y)$ and $f_1(y)$, with tangent points x_0 and x_{01} being the centers of local coordinates $y(t)=x(t) - x_0$. Symbols: a - boundaries of the layer core with limit deviation y_m ; b - the position of centers (invariants) of layer x_0 ; c - behavioral system position (state) variables; z - arrow vectors reflecting different behavior trends: 1 - forced deviations from the initial state and equilibrium position; 2 - stable trend of equilibrium recovery (feedback); 3 - unstable trend of deviation from equilibrium (direct link); 4 - transformation phenomena associated with a change in the invariant of the layer $\Delta x_0 = x_{01} - x_0$; 5 - the position of the system in the new layer in the old coordinates $y(t)=x(t) - x_0$; 6 - the same in the new coordinates $y(t)=x(t) - x_{01}$.

Соотношения (1)–(2) при постоянстве средовых характеристик $F(x_0(t))$ допускают замену $F(t,x(t)) \leftrightarrow f(y(t))$. При переменной среде $x_i = y_i + x_{0i}$ и $v_i = v_{iy} + v_{0i}$ прямая зависимость $F(t,x(t))$ от времени t переносится на изменчивость $F(x_0(t))$:

$$\frac{\partial F(t,x)}{\partial t} = \frac{\partial F(x_0(t))}{\partial t} = \frac{\partial F(x_0(t))}{\partial x_{01}} v_1 + \dots + \frac{\partial F(x_0(t))}{\partial x_{0i}} v_i + \dots + \frac{\partial F(x_0(t))}{\partial x_{0n}} v_n. \tag{4}$$

Математические формулы (1)–(4) не являются уравнениями, предполагающими наличие равенства между априорно независимыми переменными и функциями. Необходимо добавить в правую часть равенства (2) неизвестную функцию $G[y, f(y)]$ от функции $f(y(t))$ и смещенных переменных $y = x - x_0$, что дает два связанных дифференциальных уравнения в полных и частных производных для моделирования автономных систем регулирования:

$$a) \frac{df(y(t))}{dt} = G[y, f(y)], \quad b) \frac{\partial f(y)}{\partial y_1} v_1 + \dots + \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} v_i + \dots + \frac{\partial f(y)}{\partial y_n} v_n = G[y, f(y)]. \tag{5}$$

Функция $G[y, f(y)]$ раскладывается в ряд Тейлора, длина которого определяется сложностью решаемой задачи описания механизмов взаимодействия:

$$G[y, f(y)] = \frac{\partial G[y, f(y)]}{\partial f(y)} f(y) + \frac{\partial G[y, f(y)]}{\partial y} y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G[y, f(y)]}{\partial f^2(y)} f^2(y) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G[y, f(y)]}{\partial y^2} y^2 + \dots \tag{6}$$

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

Два первых слагаемых определяют линейную схему влияния $G[y, f(y)] = \alpha y + \beta f(y)$. Два последующих дают квадратичную форму влияния, которая описывает парные взаимодействия, например, в механизмах химических реакций и конкурентных отношениях видов в сообществах, что, в частности, приводит к логистическим кривым поведения.

Уравнения (5) описывают явления в чистом виде в относительных переменных, постулируя метатеоретические связи значений фазовых переменных $f(y(t))$, на основе которых, согласно (3), моделируются наблюдаемые закономерности $F(t, x(t))$, учитывающие изменчивую среду $F(x_0(t))$. Уравнение (5а) отражает холистический подход к изучению и моделированию поведения целостной системы $f(y(t))$, а уравнение (5б) – механический подход к исследованию механизма $f(y(t))$ взаимодействия ее частей с относительными характеристиками $y(t) = \{y_i(t)\}$, $v(t) = \{v_i(t)\}$.

Послойное метатеоретическое исследование природных или социальных явлений в относительных переменных $y(t)$ и функциях $f(y(t))$ выделяет ряд замечательных математических свойств для аналитических исследований, в частности, равенство производных скоростей и зарядов $v_i(y) \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} = \frac{\partial [v_i(y) f(y)]}{\partial y_i}$ в локальной области. Исходя из гипотезы, что уравнения справедливы в широкой окрестности касательного слоя в локальных координатах $y(t) = \{y_i(t)\}$, выводится уравнение для автономных систем [33]

$$f(y) = a_1 y_1 + \dots + a_i y_i + \dots + a_n y_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} y_i, a_i = \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} = \frac{\partial F(t, x(t))}{\partial x_i}. \quad (7)$$

Эта функция (уравнение Эйлера) отражает связи фазовых переменных в виде однородных функций $f(\lambda y) = \lambda f(y)$ первого порядка. Предполагается, что неизвестную функцию $G[y, f(y)]$, фигурирующую в соотношениях (5)–(6), также необходимо искать в классе суперпозиции однородных функций; $G[\lambda y, f(\lambda y)] = G[\lambda y, \lambda f(y)] = \lambda G[y, f(y)]$. Это означает, что вид функций не зависит от масштаба фазовых переменных, поэтому фазовые кривые при преобразовании масштаба не изменяются, только положение разномасштабных систем в фазовом пространстве на этих кривых будет иное. Таким образом, формулируется метазакон сохранения законов теории механизмов поведения, что существенно для географических исследований, где иерархия геосистем является важной особенностью, и на каждом уровне действуют одинаковые законы. Только эти законы реализуются в идеальном фазовом пространстве относительных переменных y , когда переход к исходным переменным $x = y + x_0$ превращает системные зависимости из однородных в неоднородные, учитывающие качество географической среды. Также заметим, что при таком подходе законы поведения не зависят от выбора размерности величин y фазового пространства.

Переход от выражения (7) к исходным переменным дает соотношение системной $F(x)$ и средовой $F(x_0)$ функций:

$$F(x) - \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(x)}{\partial y_i} x_i = F(x_0) - \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(x_0)}{\partial y_i} x_{0i}, y_i = x_i - x_{0i}. \quad (8)$$

В соответствии с этой формулой в постоянной среде x_0 при $x = x_0$ система находится в равновесии $F(x) = F(x_0)$ со средой. При изменяющихся значениях фазовых переменных x , x_0 и функций $F(x)$, $F(x_0)$ изменения в поведении систем, согласно уравнению (8), происходят симметрично и сбалансированно, когда минимизируются отклонения $y = x - x_0$.

В этом отношении интересен следующий поведенческий эффект. Запечатление (импринтинг) в этологии и психологии – это специфическая форма закрепления в памяти признаков внешних объектов x_0 при формировании или коррекции врождённых поведенческих актов следования зрелорождённых птенцов или детёнышей за родителями или другими увиденными в

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

начале самостоятельной жизни объектами среды. В опытах Р.Пеоша [13] механический робот (см. рис.1) совершал случайные движения $x_0(t)$ в экспериментальной зоне, где вылуплялись инкубаторные цыплята x , которые, благодаря импринтингу, признавали робота за свою "мать" и следовали за ним ($y=x-x_0 \rightarrow \min$), когда их выпускали из прозрачного бокса $x=x_0$. Это напоминает вращение Земли вокруг Солнца, перемещающегося вокруг центра галактики под действием сил притяжения. Цыплят, после трех дней совместного пребывания с роботом, убирали. В их отсутствии робот просто совершал непредсказуемые движения $x_0(t)$. Когда цыплят возвращали в прозрачный бокс x_0 без возможности следовать за роботом, робот сам проводил больше времени у ящика x_0 с цыплятами x , т.е. минимизировал расстояние $y=x-x_0$.

Проявляющийся в этом примере метатеоретическое равенство (8) связи объекта и его среды соотносится с принципом наименьшего принуждения Гаусса [32], согласно которому мера принуждения $y^2 \rightarrow 0$ и складывается $y=x-x_0$ из истинного x и свободного x_0 движения. Например, в эволюционном поведении ландшафта отклонения y оцениваются степенью факторального отличия каждой фации от зональной нормы x_0 (серийностью) и тенденцией, выраженной в снятии факторального принуждения $y \rightarrow 0$ с эквивиальным результатом $x=x_0$ с превращением в идеале всех фаций в коренные равнинные фации x_0 с учетом возможных климатических и хозяйственных трансформаций $x_0 \rightarrow x_{01}$ (см. рис.1).

В природе это наглядно прослеживается в средовых изменениях годового прироста деревьев, в экономике – в волатильности финансовых показателей, причины которых объясняются средствами технического анализа рядов данных $x(t)$ или фундаментального анализа разноразмерной финансово-экономической среды, которую необходимо принимать во внимание при разработке управленческих решений. Взаимная адаптация – основное правило взаимодействия природных и социально-экономических геосистем и их среды, нацеленное на раскрытие географического потенциала территории, адекватное заполнение пространства. Это правило наглядно отображено в концепциях сотворчества [25] и коэволюции [17] человека и природы. Ранее К.Зауэр [49] разработал морфологическую концепцию ландшафта, который рассматривался как средство приспособления человека к окружающей среде, формирования культурного ландшафта как результата деятельности человека на фоне природной среды. Культурный ландшафт приспособливает природный ландшафт с помощью культурных групп, и в итоге посредством культуры человек сам формирует окружающую его среду.

Теория и модели регулирования

Особенность моделей механизмов регулирования поведения систем – использование в фазовом пространстве представления данных в качестве фазовых переменных кроме относительных расстояний y вектора относительных скоростей $v=y'$, ускорений $a=y''$ и т.д. Умножение этих фазовых переменных на соответствующие заряды q дают представление об обобщенных силах взаимодействия: $F_y=q_y y$, $F_v=q_v y'$, $F_a=q_a y''$. Системные функции слоя $f(y)$ являются равнодействующей этих сил $f(y)=F_y+F_v+F_a$. При $f(y)=0$ действия этих сил сбалансированы, откуда получаются равенства, определяющие качество поведения систем; для парного воздействия:

$$a) q_v y' = -q_y y, \quad б) q_v y'' = -q_y y, \quad в) q_v y'' = -q_v y'. \quad (9)$$

Равенство (9а) широко распространено в научных приложениях. Оно отражает однородную связь фазовых переменных $q_v \lambda y' = -q_y \lambda y$, не зависящую от масштаба явления. Оно соответствует уравнению $y' = ky$, где $k = -q_y/q_v$ – коэффициент замещения зарядов разных сил. В этом уравнении расстояние y можно трактовать как расстояние между любыми галактиками и как изменяющееся расстояние до одной начальной, особой, сингулярной точке касания мирового многообразия, из которой начинался Большой взрыв. К числу таких уравнений относится космологический закон Хаббла расширения Вселенной – увеличения расстояния y между галактиками:

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

$y'=Hy$, где $k=H = 66 - 78$ км/с на мегапарсек – константа Хаббла, определяющая характерный возраст Вселенной $\tau=1/H$. В настоящее время считается, что такое поведение (разбегание) галактик определяется балансом действия сил со стороны темной энергии $F_v=q_v y'$ и силы гравитационного притяжения $F_y=q_y y$; последнее в данном случае напоминает закон Гука - малая деформация у упругого тела пропорциональна приложенной к этому телу силе F_y (q_y – коэффициент упругости). При предельных нагрузках $F_{ym}=q_y y_m$ с деформацией, превышающей y_m , физическое тело разрушается. Аналогично выделяется радиус сферы Хаббла $y_m = c/H$, определяемой предельной скоростью c – скоростью света [45]. Фазовая зависимость $y'(y)$ равенства $y'=ky$ представляет собой прямую линию с наклоном k , ограниченную сверху и снизу предельными значениями отклонений y от значения $y=0$ (центра слоя).

Нахождение системы в определенных границах обеспечивает ее целостность, устойчивость существования и поведения (см.рис.1). В рамках концепции коэволюции природы и человечества обсуждаются вопросы «предельной черты» – существования состояний биосферы, переступить которые человечество не должно ни при каких обстоятельствах [17]. Существование ограничений в поведенческой географии связано с представлением о территориальности – свойстве (познания и поведения) человека, общества и государства, демонстрируемое по отношению к окружающей его среде обитания, на которую он предъявляет права собственности, охраняет, защищает и использует частным образом для жизни и деятельности в соответствии с социальными нормами и правилам; нарушение границ территории другими субъектами деятельности не допускается. В этом определении сочетаются понятия количественной интертеории поведения и качественной (общей) интертеории деятельности, объединяющей знания от межличностных этических отношений людей до политических межгосударственных отношений. Это другой аспект, иной слой интертеоретического моделирования.

В науке существует множество примеров моделей поведения, соответствующих уравнению $y'=ky$, которое при $k>0$ описывает взрывной характер роста типа модели роста численности населения Мальтуса. Гораздо шире распространены модели варианта $k<0$ возвращения характеристик системы в устойчивое равновесное состояния $y=0$. Сюда относятся модели радиоактивного распада вещества, разрядки электрического конденсатора, выравнивания горного рельефа с созданием равнинного пенеплена в географическом цикле развития поверхности суши, закона Ньютона охлаждения физического тела, согласно которому температура тела будет приближаться по экспоненте к температуре окружающей среды, уравнения роста растений и животных до предельного размера, экономические модели Солоу и Рамсея взаимовлияния капиталовооруженности предприятий и потребления населения. В зависимости от величины k возможны варианты трендов развития, например, в эволюции организмов [21]: ароморфозы выражаются в прогрессивных эволюционных изменениях строения ($k>0$); идиоадаптации соответствуют малозначимым эволюционным изменениям, связанным с мелкими приспособлениями к конкретным условиям окружающей среды ($k=0$); общая дегенерация связана с регрессивными изменениями ($k<0$). Основной эволюционный механизм биологических видов — это естественный отбор, выживание организмов, наиболее приспособленных к окружающей среде. Наличие сходства в поведении физических и нефизических систем позволяет использовать для расчетов аналоговый компьютер (АВМ) — вычислительную машину, которая представляет значения и связи данных при помощи аналоговых физических параметров и внутренних настроек устройства АВМ.

Уравнение (9б) моделирует более сложную картину поведения через борьбу сдерживающих F_y и раскачивающих F_a сил взаимодействия: $y''=ky$, $k=-q_y/q_v$ - коэффициент замещения зарядов. При $k<0$ в системе возникают периодические колебания, ограниченные амплитудой движения типа колебания маятника, появления периодических циклов подъёмов и спадов производства мировой экономики, волн массового размножения организмов, заболеваемости населения и преступности, обусловленных внутренними движущими силами систем меха-

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

низмов взаимодействия. При $k > 0$ уравнение (96) описывает переходные процессы из одного состояния системы в другое во времени t и в пространстве ξ . В последнем случае интересна модель В.В.Суханова [27] распределения видового обилия по литорали гряды Курильского архипелага, отражающая в виде «цепной линии» изменение представительства видов северной (с о. Камчатка) и южной (с о. Хоккайдо) фауны на островах.

Отмеченные закономерности поведения оформляются в постулаты интертеории механизмов регулирования. Интертеория создается как аксиоматическая дедуктивная система исходных понятий и предложений – специальная интерпретация (\sim) терминов и аксиом общей теории систем (ОТС) [34; 35; 40]:

$$1) S \equiv C, 2) \Delta S \equiv C, 3) \Delta S_i \equiv D_i. \tag{10}$$

Здесь символ (\equiv) соответствует тождеству (изоморфизму) понятий; S – универсальной системе (универсуму), объединяющей системы S_i разного рода; ΔS – универсальному изменению S , включающему все изменения ΔS_i ; D – действию всех действий D_i систем S_i . Термином C обозначается качество объективного инвариантного существования, сохранения свойств систем при преобразованиях, например, истинности суждений в логических доказательствах или скорости света во всех физических системах отсчета. Специфика системной интертеории зависит от того, как понимается инвариантное качество, которое есть во всех универсальных моделях поведения систем данного рода и их изменениях ($S \equiv C, \Delta S \equiv C$).

Универсальная система $S \sim X$ – фазовое признаковое пространство $X = \{X_j\}$ состояния $x = \{x_i\} \in X$ поведения систем и производных x_i разного порядка (скорости, ускорения, градиентов и т.д.). Понятие «производная» трактуется в разных не только математических смыслах, но и, прежде всего, в понимании Лагранжа: происхождение биологических видов, производство в экономике, произведение в творчестве, произвол в политике и т.д.

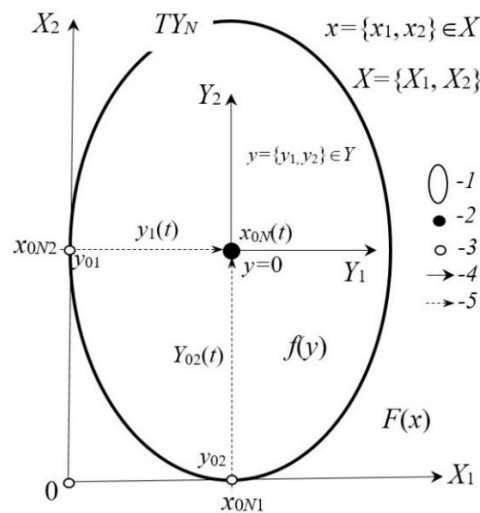


Рис.2. Схема строения отдельного слоя поведения $f(y)$ расслоенного $TU = \{TY_j\}$ фазового пространства X на многообразии $F(x)$ с переменными координатами точки касания $x_0(t)$ – центра локальных координат $y(t) = x(t) - x_0(t)$: 1 – границы ядра слоя с предельными отклонениями y_{1m} и y_{2m} ; 2 – переменное положение центра (инварианта) слоя $x_0(t)$; 3 – начальные положения (состояния) поведенческой системы; 4 – тотальные X и локальные Y фазовые координаты; 5 – частные тенденции поведения

Fig.2. The structure scheme of a separate layer of behavior $f(y)$ of the bundle $TU = \{TY_j\}$ of phase space X on manifold $F(x)$ with variable coordinates of tangent point $x_0(t)$ being the center of local coordinates $y(t) = x(t) - x_0(t)$. Symbols: 1 – boundaries of the layer core with limit deviations y_{1m} and y_{2m} ; 2 – the variable position of the center (invariant) of layer $x_0(t)$; 3 – initial positions (states) of the behavioral system; 4 – total X and local Y phase coordinates; 5 – particular trends in behavior.

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

Универсальная система $\Delta S \sim Y$ – фазовое $Y = \{Y_i\}$ векторное расслоенное пространство $TU = \{TY_j\}$ относительных признаков $y_j = \{y_{ji}\}$ поведения систем и производных признаков y_{ji} разного порядка. С учетом послылой дифференциации $TU = \{TY_j\}$ координаты локального фазового пространства обозначим $y = \{y_i\}$, а производные – y' , y'' и т.д. независимо от того – это набор (вектор) $y = \{y_i\}$ переменных или отдельная переменная величина $y = x - x_0$ в касательном слое с центром x_0 (см. рис. 2) расслоения многообразия $F(x) = f(y) + F(x_0)$ в фазовом пространстве признаковых координат $x \in X = \{X_i\}$. Заряды и импульсы $a = \{a_i\}$ формируют двойственное фазовое пространство.

Инвариантом C является сходная структура пространств X и Y , привязанная к началу системы тотальных $x = \{x_i\} = 0$ и локальных $y = \{y_i\}$ координат поведенческих характеристик объектов; начало локальных координат слоя $y = 0$ задается координатами центра слоя $x = x_0$ – значениями нормы (моды, типа) его существования. Локальное фазовое пространство Y – такое же, как тотальное пространство X , но очень маленькое, выраженное в относительных характеристиках $y = \{y_i\}$ геосистем. Подобие систем тотальных и локальных координат ($\Delta S \equiv S$) демонстрирует эффект самоорганизации, который в частном случае наблюдаем в соотношении прямой и обратной связей фазовых координат $y' = \pm ky$.

Точка x_0 многообразия $F(x_0)$ – своеобразное выражение идентичности системы, эпицентр существования и особенностей поведения системы, из которого следуют все свойства слоя. Универсальное изменение $\Delta S \equiv C$ в фазовом пространстве и слое интерпретируется как граница их ядра C , в частности, в слое – как предел (норматив) допустимых изменений $y_m = \pm C/k$ (см. рис.1 и 2).

К системным формулам $\Delta S_i \equiv D_i$ относятся уравнения вида (5) и (7). В последнем случае локальная функция $f(y)$ трактуется как производная функция $f(y) \sim df/dt$ типа отношений «стимул-реакция» в поле действия различных сил природы и общества, зависящих только от относительных характеристик y . Для перевода модели в исходные показатели используют типичные преобразования $F(x) = f(y) + F(x_0)$, $x = y + x_0$.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим закономерности поведения систем на примере жизненного цикла древостоев от формирования молодых насаждений до спелых и перестойных лесов как целого с учетом механизмов роста и самоизреживания древостоев разных пород в различной географической среде.

В качестве модели поведения рассматриваются уравнения баланса активизирующих $F_v = q_v y'$ и сдерживающих сил $F_y = q_y y$ сил ($F_v = F_y$) наподобие работы конденсатора, в частности, конденсации солнечной энергии в растительном покрове, изучаемой в рамках биогеофизики Земли [31]. Сравняются силы зарядки F_v и разрядки F_y энергии биомассы как одной из разновидностей геомасс ландшафта: $q_v y' = q_y y$, где q_v – заряд, равный энергии, необходимой для образования единицы биомассы; q_y – заряд, равный ежегодному расходу энергии, требуемой для жизнедеятельности единицы биомассы. Отсюда получаем равенство $y' = -ky$, где $k = -q_y/q_v$ – коэффициент замещения зарядов. В силу однородности этого уравнения соответствующий ему закон не изменяется при умножении переменных на масштабный коэффициент K : $(Ky)' = -kKy$.

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

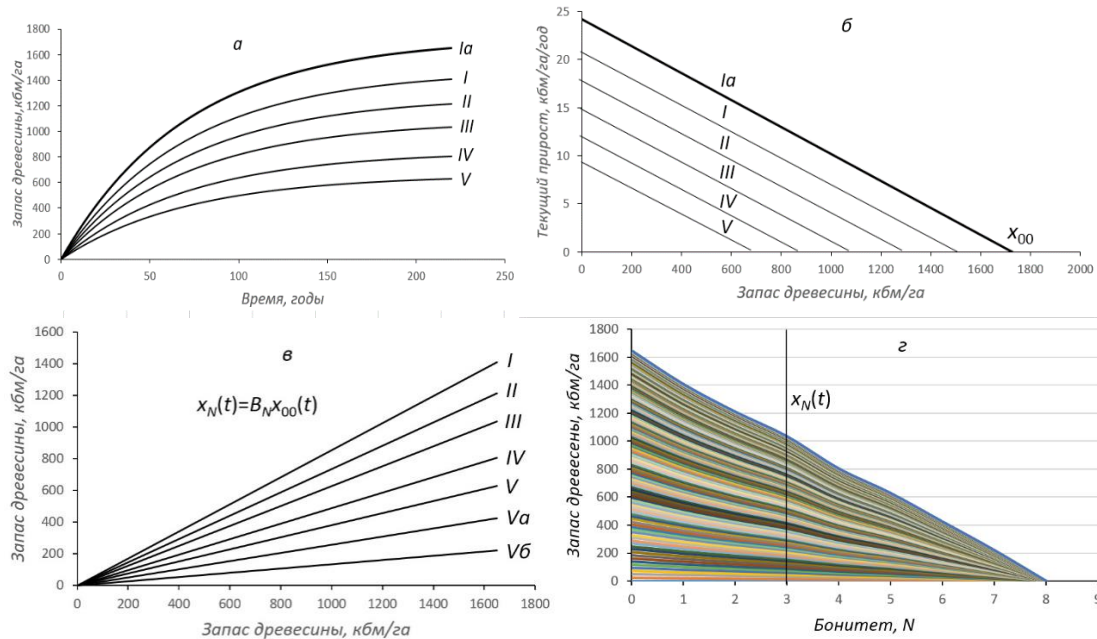


Рис.3. Временные кривые (а) и фазовые линии (б) изменения текущего прироста и запаса биомассы сосновых насаждений разных бонитетов Ia, I, II, III, IV, V; в - зависимости изменения запасов разных бонитетов от запаса биомассы лесов Ia бонитета; г - вариация запасов древесины во времени и по бонитету, вертикальная линия - срез (слой) изменения запаса насаждений $x_N(t)$ бонитета III (см. график а, линия III)

Данные: «Всеобщие таблицы хода роста сосновых насаждений», составленные проф. А.В.Тюриным [31]

Fig.3. Time curves (a) and phase lines (б) of changes in the current growth and biomass reserve of pine plantations of different site qualities Ia, I, II, III, IV, V; в - dependence of changes in the reserves of different site qualities on the stock of forest biomass of Ia site quality; г - variation of wood reserves over time and by site quality, vertical line - section (layer) of change in the stock of plantations $x_N(t)$ of site quality III (see graph a, line III)

Data: ‘General tables of the growth progress of pine plantations’ compiled by prof. A.V. Tyurin [31]

Решением уравнения $y' = -ky$ при начальных условиях $y(t) = y(0) = y_0$ является экспонента $y(t) = y_0 \exp(-kt)$, значение которой при $t \rightarrow \infty$ стремится к $y(t) = 0$, когда система находится в равновесном состоянии. Начальное отклонение $y(t) = y_0$ состояния от равновесного $y = 0$ равно $y(0) = y_0$.

Изменение запасов биомассы $x(t)$ в таблицах хода роста насаждений исчисляется в кубометрах объема древесины древостоя в расчете на 1 га площади леса; эта величина $x(t)$ изменяется с возрастом древостоя t (рис.3,а). Определим фазовую переменную $y(t)$ как разность $y(t) = x(t) - x_0(t)$ текущего запаса древостоя $x(t)$ и потенциального предельного запаса $x_0(t)$, зависящего от качества географической среды (бонитета) и ее изменчивости во времени. Тогда накопление запаса описывается дифференциальным уравнением $x' - x_0' = -k(x - x_0)$ с решением $x(t) = y(t) + x_0(t) = y_0 \exp(-kt) + x_0(t)$. Это уравнение отражает одну из форм симметрии изменения геосистемы и ее среды (8): $x' + kx(t) = x_0' + kx_0(t)$.

Поскольку в начале процесса $x(t) = x(0) = 0$, то $y_0 = -x_0(0)$:

$$x(t) = -x_0(0) \exp(-kt) + x_0(t). \tag{11}$$

Это уравнение показывает, как возрастает запас $x(t)$ со временем (рис.3,а) при разных условиях среды $x_0(t)$. Максимальный прирост запаса при постоянном x_0 наблюдается в начале роста $y'(t) = kx_0$. При $t \rightarrow \infty$ будет $x(\infty) = x_0(t)$ – максимальный запас насаждения, отражающий лесорастительные условия - бонитет Ia, I - V и др., индексируемый числами $N = 0$ для Ia, 1 для I и т.д. Постоянный максимальный запас $x_{0N} = x_{0N}(0)$ зависит от бонитета N , равен для сосновых лесов Ia 1728 км/га и снижается с величиной N : $x_{0N} = 1728 - 213,8N$. Коэффициент относительной скорости роста $k = 0,014/\text{год}$ примерно одинаков для всех бонитетов сосновых насаждений [31].

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

Фазовая картина зависимости $x'(x)$ при постоянных x_{0N} и k показана на рис.3,б: $x'_N(t) = k[x_{0N} - x_N(t)] = -ky_N(t)$. Она представлена параллельными линиями, соответствующими разным максимальным запасам x_{0N} и бонитетам N . Эти линии – слои зависимости $x_N(t)$ для разных бонитетов. Базой расслоения считаются дискретные точки x_{0N} оси ординат (рис.3,б) $x_{0N} = 1728-213,8N$, или $x_{0N} = x_{00} - \Delta x_{0N}$. Каждая линия фазового пространства соответствует зависимости запаса $x_N(t)$ от времени (см. рис.3,а). В каждом слое N согласно системе аксиом (9) есть свой инвариант состояния ($S \equiv C$) - x_{0N} , инвариант изменения (поведения) ($\Delta S \equiv C$) - $x'_N(t) = kx_{0N} = C_N$, откуда находится значение постоянного коэффициента $k = C_N/x_{0N}$ и закон текущих изменений ($\Delta S_i \equiv D_i$) - $y'_N(t) = -ky_N(t)$, определяемых силой сдерживания $-ky_N(t)$.

По причине однородности последнего равенства $\lambda y'_N(t) = -k\lambda y_N(t)$ оно выполняется для разного масштаба переменных, поэтому $x'_N(t) = B_N x'_0(t)$, $x_N(t) = x_{00}(t) = b_N x_N(t)$, где $B_N = x_{0N}/x_{00}$ – прямой и $b_N = 1/B_N$ – обратный бонитировочные коэффициенты. Постоянный коэффициент B_N переводит эталонную кривую роста $x_{00}(t)$ для насаждений Ia бонитета в кривую $x_N(t)$ для бонитета N (рис.3, в), а коэффициент b_N - обратно преобразует $x_N(t) \rightarrow x_{00}(t)$ в эталонный вид, что позволяет сравнивать различные кривые, сводить зависимости к однотипному виду (проводить мета-анализ) (см. рис.3). Аналогично учитывается полнота p при моделировании динамики лесонасаждения: $x_{Np}(t) = px_N(t) = pB_N x_{00}(t)$, где $x_N(t)$ – соответствует кривой роста нормального лесонасаждения ($p=1$). В итоге расчеты по данной модели сводятся к анализу хода роста эталонных лесов $x_{00}(t)$ (рис.3, з). Многообразии среды в лесоведении задается бонитировочными коэффициентами: $B_N = 1 - \phi N$, где $\phi = \Delta x_0/x_{00} = 0,124$ не зависит от бонитета.

В базовом соотношении $y' = -ky$ коэффициент k зависит от типа лесообразующей породы, например, для ели $k_e = 0,012$. Переход от k к k_e формально выражается поворотом фазовой линии $y'(y)$ вокруг точки $y=0$ (см. рис. 2). Это свойство и масштабная инвариантность законов выражают свойства симметрии связей: аффинной симметрии для пространства X и центроаффинной для пространства Y . Иными словами, тенденции изменения запаса лесов разных пород и местоположений подчиняются одним и тем же законам с точностью до аффинных преобразований (средового смещения, масштабного растяжения, видового поворота), поэтому эти тенденции можно сравнивать, приводить к общему виду.

При моделировании процесса самоизреживания древостоя ссылаемся на то же соотношение $y' = -ky$, где в данном случае принимается $y(t) = x(t) - x_0(t) = \ln P(t)/P_0(t)$, $x(t) = \ln P(t)$, $x_0(t) = \ln P_0(t)$; $P(t)$ – текущая плотность древостоя, $P(0)$ – начальная плотность, $P_0(t)$ – конечная, эквивалентная плотность древостоя (шт./га). Величина $x(t) = \ln[P(t)/P_0(t)]$ имеет смысл интегрированной безопасности для дерева: просуществовать до возраста t в условиях внутривидовой конкуренции.

Скорость изменения $x'(t)$ отражает риск существования, интенсивность самоизреживания древостоя. По аналогии с уравнением (9) находим

$$а) \ln P(t) = \ln[P(0)/P_0(0)] \exp(-kt) + \ln P_0(t), \quad б) P(t) = P_0(t) [P(0)/P_0(0)]^{\exp(-kt)}. \quad (12)$$

Уравнение (10,б) для описания изменения плотности древостоя $P(t)$ с возрастом лесонасаждения из физических соображений вывел Г.Ф.Хильми [1966]; оно также известно как уравнение Гомпертца. Показано [Хильми, 1966], что параметр $P_0(t)$ монотонно возрастает при переходе от лучших бонитетов к худшим. Для сосновых насаждений $\ln(P_{0N} - 206) = 0,490N + 3,57$, $R^2 = 0,98$. Коэффициент замещения $k = -\varepsilon/\sigma$ для одной породы постоянен, например, для сосновых насаждений $k = 0,019/\text{год}$. Здесь σ - заряд, определяющий потребность насаждения в световой энергии, а именно количество энергии, что поглощает одновидовое, сомкнутое ($p=1$) насаждение на гектаре леса за весь жизненный цикл; ε – заряд, определяющий количество солнечной энергии, падающей за год на единицу площади леса (световой поток) в конкретной природной зоне; $\tau = \sigma/\varepsilon = -1/k$ – характерное время, минимально не-

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

обходимое лесонасаждению для реализации жизненного потенциала в данной географической среде (для сосны $\tau=53$ года). По аналогии с запасом имеется возможность пересчитать показатели изреживания древостоев разных условий N местоположения и полноты p по эталонным лесам лучшего бонитета: $N=0$ – величину безопасности существования $x_{Np}(t)$ и густоту насаждения $P_N(t)$:

$$x_{Np}(t) = pB_N x_{00}(t), \ln[P_N(t)/P_{0N}] = pB_N \ln[P_{00}(t)/P_{00}], P_N(t) = P_{0N} [P_{00}(t)/P_{00}]^{pB_N}, B_N = \ln P_{0N} / \ln(P_{00}). \quad (13)$$

Моделирование самоизреживания демонстрирует необходимость замены переменных, чтобы на основе одностепенных дифференциальных уравнений получать специальные формулы для описания реального поведения систем разной сложности. Этот подход – типичный для оценки безопасности как одного из направлений поведенческой географии, где она смыкается с теорией возможностей, безопасности и риска, имеющих иную понятийную и аксиоматическую основу.

Механизм взаимодействия запасов биомассы различных пород в лесонасаждении в ходе сукцессионного цикла описывается в относительных показателях $y(t) = \{y_i(t)\}$, $y_i(t) = x_i(t) - x_{0i}(t)$ и скоростях $y'_i(t)$ их изменений в виде однородного уравнения (7) при $f(y) = y'_i(t)$:

$$y'_i(t) = a_{1i}y_1(t) + a_{2i}y_2(t) + \dots + a_{ji}y_j(t) + \dots + a_{ni}y_n(t), a_{ji} = -q_{yj}/q_{vi}. \quad (14)$$

Выделяется 6 стадий (фаз, геоситуаций) цикла – денудация, пионерность (иммиграция), колонизация, межвидовая конкуренция, биоценотическая реакция, стабилизация (климакс), обусловленные механизмами формирования сукцессий: подготовка пионерными видами условий для возобновления и роста коренных пород (содействие), толерантность этих пород к недостатку тепла, освещения и других ресурсов и противодействие внедрению прежних и новых видов (ингибирование) [41].



Рис. 4. Текущий запас главных лесообразующих пород (а) и их прогнозируемый запас через 50 лет (б): 1 – нет сведений; запас, м³/га: 2 – менее 50, 3 – 50–150, 4 – 150–250, 5 – 250–470, 6 – более 470; 7 – земли не лесного назначения; 8 – границы лесотаксационных кварталов

Данные лесоустройства Слюдянского лесхоза Иркутской области

Fig. 4. Current stock of main forest-forming species (a) and their predicted stock after 50 years (b): 1 – no information; reserve, m³/ha: 2 – less than 50, 3 – 50–150, 4 – 150–250, 5 – 250–470, 6 – more than 470; 7 – non-forest land; 8 – boundaries of forest areas

Forest management data of the Slyudyansky forestry of the Irkutsk region.

В силу однородности функций, удовлетворяющих уравнению (7), справедливо стандартное соотношение $x_{Npi}(t) = p x_{Ni}(t) = p B_N x_{00i}(t)$ для запасов лесов каждой i породы или группы пород (мелколиственные, светлохвойные и темнохвойные), отражающих принцип подобия хода роста насаждений в разных условиях [18]. Сначала по данным ГИС лесоустройства

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

по лесотаксационным выделам формируются эскизы таблиц хода роста эталонных нормальных ($p=1$) насаждений по группам пород i и группам типов леса: $x_{00i}(t)=x_{Npi}(t)/pB_N$ с учетом особенностей характеристик полноты p и бонитета B_N . По участкам выделов с помощью эталонных кривых производится временной сдвиг значения запаса $x_{00i}(t) \rightarrow x_{00i}(t+\Delta t)$, а затем они корректируются по ситуации $x_{Npi}(t+\Delta t) = pB_N x_{00i}(t+\Delta t)$. Таким образом на основе карт исходных таксационных значений запаса $x_{Npi}(t)$ строятся прогнозные карты $x_{Npi}(t+\Delta t)$ на $\Delta t=50$ лет вперед (рис.4). Такого рода функциональные модели $x_{Npi}(t)$ включают в себя образ прошлого, настоящего и будущего.

В общем случае в поведении системы что-то рефлекторно сохраняется, что-то изменяется под действием внутренних стимулов и окружающей среды. В основе механизма, определяющего такие реакции, лежат явления подавления или развития рефлекса цели, формализованные в потребностно-информационной модели П. В. Симонова [23], согласно которой реакция определяется тем же самым различием $y(t)=x(t)-x_0(t)$ представлений человека или общества о величине потребности $x_0(t)$ (желаемой цели) и возможности $x(t)$ ее удовлетворения. Соответственно формируется поведение в социальной и политической сферах, когда нужно отличать желаемое (возможное) от действительного.

Выводы

Поведенческая география, рассматриваемая в качестве раздела интертеории механизмов поведения прямого и обратного взаимодействий компонентов геосистем и с учетом особенностей географической среды их изменения в пространстве и во времени, позволяет считать эту интертеорию географической дисциплиной, изучающей с общих позиций поведение систем в природе, в обществе и на производстве. Интегральная геосистема поведения формируется в похожих по строению тотальном и локальных фазовых пространствах характеристик ее состояния и состояния ее частей как системная функция этих характеристик и их изменений в текущем времени и путевом пространстве. Различаются исходное фазовое пространство и расслоенное фазовое пространство, где каждый слой сопоставляется определенному типу поведения системы. Локальное пространство слоя определяется координатами, смещенными относительно характеристик географической среды. Траектории поведения систем задаются в виде фазовых кривых в этих пространствах. Объекты описываются в локальных пространствах, а затем модельное описание корректируется с учетом средовой определенности. Расчеты по модели проводятся как при постоянной, так и при изменчивой среде.

С метатеоретических позиций поведение в слое отражается производной Лагранжа и уравнением Эйлера. В поведенческой географии фазовым переменным и функциям этих соотношений придается специальный содержательный смысл, когда поведение сопоставляется с жизненным циклом геосистемы – направленным движением объекта изучения в пространстве и времени. Различаются два вида поведения: холистический, отражающий движение геосистемы в целом, и механический, учитывающий механизмы взаимодействия частей целого в схемах регулирования, что однозначно определяет предмет исследования интертеории поведения систем. Понятия и аксиомы интертеории выражают нормы и нормативы поведения и законы связи изменений с действием механизмов регулирования. Введение масштабных и иных множителей не изменяет истинности законов связи фазовых переменных, выражает их аффинную инвариантность (симметрию). Итоговое поведение определяется равнодействующей всех влияющих на геосистему сил, связанных с индивидуальными зарядами силы воздействия.

Самостоятельный поведенческий подход к сквозному моделированию действительности соотносится с другими методами системного моделирования, в частности, с описанием динамики систем, дополняющих друг друга. Тесная связь существует с методами теории деятельности, изучающей общественные системы отношений людей друг к другу и к действию.

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

тельности и формирующиеся на этой основе организации и их изменения под влиянием социальных действий. Выделяются стационарные и нестационарные, устойчивые и неустойчивые, автономные и неавтономные системы поведения – последние связаны с воздействием изменчивой окружающей среды и внешним управлением.

Логика построения и анализа моделей поведения компонентов геосистем продемонстрирована на примере жизненного цикла древостоев в показателях роста, конкуренции и самоизреживания насаждений. Предложен алгоритм прогнозного моделирования и картографирования лесов с поправкой на полноту и бонитет насаждений, основанный на подобии временных зависимостей изменения запасов древесины леса. Геосистемы изучаются «в чистом виде» для эталонных лесов, а потом соотносятся со своей географической средой, регламентирующей поведение геосистемы.

Поведенческие системы как любые механические системы допускают использование большого количества математических методов анализа для решения задач индикации, прогнозирования и оптимального управления. Это открывает неограниченные возможности для исследования и моделирования интегральных геосистем как механизмов регулирования территориального взаимодействия их природных и общественных составляющих.

Список источников

1. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. 264 с.
2. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте (основы теории и логико-математические методы). М.: Мысль, 1975. 288 с.
3. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1971. 240 с.
4. Бакланов П.Я. Геосистемный подход в географических исследованиях // Тихоокеанская география. 2020. №1. С. 7–12.
5. Беляев В.И. Теория сложных геосистем. Киев: Наукова думка, 1978. 156 с.
6. Беручашивили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. 182 с.
7. Большой толковый психологический словарь = The Penguin dictionary of psychology: основные термины и понятия по психологии и психиатрии: в 2 т. / А. Ребер., ред. М.: Вече: АСТ, 2003. Т. 2. 559 с. [Электронный ресурс], URL: https://www.psyoffice.ru/slovar-s55-en_1-p21.htm (дата обращения: 15.06.2022).
8. Высоцкий Г.Н. У окна вагона. Наблюдения и размышления. // Тр. Бюро по прикл. Ботанике. 1917. т. X. № 2. С. 220–247; № 7-10, С. 631–656.
9. Голд Дж. Психология и география: основы поведенческой географии. М., 1990. 304 с.
10. Дьяконов К.Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 127 с.
11. Дьяконов К.Н. Геофизика ландшафта. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0133933> (дата обращения: 15.06.2022).
12. Замятина Н.Ю., Митин И.И. Поведенческая география // Большая российская энциклопедия. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/3147409> (дата обращения: 15.06.2022).
13. Карпенко Ю. Опыты М.Эдмса и Р.Пеоша по психокинезу у животных. [Электронный ресурс], URL: <https://www.psychology-online.net/articles/doc-624.html> 2021(дата обращения: 15.06.2022).
14. Котляков В.М., Трофимов А.М., Селиверстов Ю.П., Солодуха Н.М. Моделирование экологических ситуаций // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1995. № 1. С. 5–20.
15. Кульман А. Экономические механизмы. М.: Универс, 1993. 192 с.
16. Ляпунов А.А. О некоторых особенностях строения современного теоретического знания // Алексей Андреевич Ляпунов. 100 лет со дня рождения. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2011. С. 145–162.
17. Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика: Человек, природа и будущее цивилизации. М.: URSS, 2022. 256 с.
18. Мясникова С.И., Черкашин А.К. Прогнозное геоинформационное моделирование и картографирование динамики запасов таежных лесов // Геодезия и картография. 2010. № 11. С. 30–33.
19. Природа России из окна поезда "Москва – Владивосток". [Электронный ресурс], URL: <https://www.youtube.com/watch?v=спусХUZT4WI> (дата обращения: 15.06.2022).
20. Рубцов В.А., Трофимов А.М. Казанская экономико-географическая школа «Математико-географического моделирования пространственных систем» // Ученые записки Казанского государственного университета. Кн. 4. Естественные науки. 2007. Т. 149. С. 204–214.
21. Северцов А.Н. Морфологические закономерности эволюции. М.; Л.: Изд-во АН, 1939. 610 с.
22. Сериков А.Е. Поведение человека и современные подходы к его пониманию // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия «Философия. Филология». 2013. № 2(14). С. 58–77.
23. Симонов П.В. Потребностно-информационная теория эмоций // Вопр. Психологии. 1982. № 6. С. 44–56.
24. Солнцев В.Н. Системная организация ландшафтов. М.: Мысль, 1981. 240 с.
25. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 317 с.
26. Столбов В.А., Шарыгин М.Д. Поведенческая география. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2009. 354 с.

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

27. Суханов В.В. Модель распределения видовой обилия по литорали островной гряды // Морская биогеография: предмет, методы, принципы районирования. М.: Наука, 1982. С. 52–75.
28. Сысоев В.В. Введение в физико-математическую теорию геосистем. М.: Ленанд URSS, 2020. 600 с.
29. Трофимов А.М. Моделирование геосистем - концептуальный аспект: развитие основных идей и путей математизации и формализации географии. Казань: Экоцентр, 1997. 143 с.
30. Трофимов А.М., Рубцов В.А., Ермолаев О.П. Региональный геоэкологический анализ. Казань, 2009. 428 с.
31. Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. Л.: Наука, 1966. 300 с.
32. Черкашин А.К. Геосистемы и географическая среда // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 5–15
33. Черкашин А.К. Особенности географического мета-анализа // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2(57). С. 6–21.
34. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии. Новосибирск: Наука, 1997. 502 с.
35. Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.
36. Черкашин А.К., Распуткина Е.А. Комплексная география как направление теоретических исследований и моделирования // Географический вестник, 2022. №1 (60). С. 6–22. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-1-6-22>
37. Черкашин А.К., Солодянкина С.В. Функциональная география как направление теоретических исследований и моделирования // География и природные ресурсы. 2018. №2. С. 181–190.
38. Юдин Э.Г. Поведение // Новая философская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: https://gufo.me/dict/philosophy_encyclopedia/ (дата обращения: 15.06.2022).
39. Argent N.M., Walmsley D.J. From the Inside Looking Out and the Outside Looking In: Whatever Happened to ‘Behavioural Geography’? // Geographical Research 47.2, 2009. p. 192–203.
40. Cherkashin A.K. Polysystem modelling of geographical processes and phenomena in nature and society // Mathematical modelling of natural phenomena, 2009. Vol. 4, N 5. p. 4–20.
41. Clements F. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1916. 512 p.
42. Gold J.R. Behavioural geography, International Encyclopedia of Human Geography, second edition, A. Kobayashi, ed., 2019, vol.1. Oxford: Elsevier. 21 P. [Электронный ресурс], URL: https://www.researchgate.net/publication/289042344_Behavioral_Geography (дата обращения: 15.06.2022).
43. Golledge R.G., Simpson R.J. Spatial behaviour: a geographic perspective, New York: Guilford Press, 1997. 620 p.
44. Golledge R.G. Behavioral geography and the theoretical/quantitative revolution, Geographical Analysis, 2008. 40. p. 239–257.
45. Harrison E.R. Masks of the Universe: Changing ideas on the nature of the Cosmos. - Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 342 p.
46. Husain M. Models in Geography. New Delhi: Rawat Publications, 2007. 346 p.
47. Montello D.R., ed. Handbook of Behavioral and Cognitive Geography, Cheltenham, Northampton: Edward Elgar Publishing, 2018. 432 p.
48. Rougerie G., Beruchashvili N.L. Geosystems et paysages. Bilan et Methodes, Paris, Armand Colin, 1991. 302 p.
49. Sauer C.O. The morphology of landscape. California: University California Publ., Geography, 1925. № 2. p. 19–53. Reprinted in: Human geography. An essential anthology. UK. Oxford: Blackwell publishing, 1996. p. 296–315.

References

1. Armand, A.D. (1988), *Samoorganizaciya i samoregulirovanie geograficheskikh sistem* [Self-organization and self-regulation of geographical systems], Nauka, Moscow, Russia.
2. Armand, D.L. (1975), *Nauka o landshafte (osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody)* [Landscape science (fundamentals of theory and logical and mathematical methods)], Mysl', Moscow, Russia.
3. Arnol'd, V.I. (1971), *Obyknovennye differentsial'nye uravneniya* [Ordinary differential equations], Nauka, Moscow, Russia.
4. Baklanov, P.Ya. (2020) “Geosystem approach in geographic studies” *Tihookeanskaya geografiya*, no. 1, pp. 7–12.
5. Belyaev, V.I. (1978), *Teoriya slozhnykh geosistem* [Theory of complex geosystems], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
6. Beruchashvili, N.L. (1986), *Chetyre izmereniya landshafta* [Four measurements of the landscape], Mysl', Moscow, Russia.
7. Reber, A. (ed.) (2003) *The Penguin dictionary of psychology*, Veche: AST, Moscow, Russia.
8. Vysockij, G.N. (1917), “At the window of the train. Observations and reflections”, *Tr. Byuro po prikl. botanike*, X, no. 2, pp. 220–247; no. 7-10, pp. 631–656.
9. Gold, Dzh. (1990), *Psihologiya i geografiya: osnovy povedencheskoj geografii* [Psychology and geography: foundations of behavioral geography], Translated by Fedulov, S.V., Progress Publishing, Moscow, Russia.
10. D'yakonov, K.N. (1975), *Vliyanie krupnykh ravninykh vodohranilishch na lesa pribrezhnoj zony* [Impact of large lowland reservoirs on coastal forests], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
11. D'yakonov, K.N. (2011), *Landscape geophysics*, [Online], available at: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0133933> (Accessed 15 June 2022).
12. Zamyatina, N.Yu. and Mitin, I.I. (2016), *Behavioral geography*, [Online], available at: <https://bigenc.ru/geography/text/3147409> (Accessed 15 June 2022).
13. Karpenko, Yu. (2021), *Experiments by M. Emems and R. Peosh on psychokinesis in animals*, [Online], available at: <https://www.psychology-online.net/articles/doc-624.html> (Accessed 15 June 2022).
14. Kotlyakov, V.M., Trofimov, A.M., Seliverstov, Yu.P. and Soloduha, N.M. (1995), “Environmental Modeling”, *Izv. RAN. Ser. Geogr.*, no. 1. pp. 5–20.
15. Kul'man, A. (1993), *Ekonomicheskie mekhanizmy* [Economic mechanisms], Univers, Moscow, Russia.
16. Lyapunov, A.A. (2011), “About some features of the structure of modern theoretical knowledge”, *Aleksey Andreevich Lyapunov. 100 let so dnya rozhdeniya* [Alexey Andreevich Lyapunov. 100 years since birth]. Akad. izd-vo «Geo», Novosibirsk, Russia, pp. 145–162.

*Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.*

17. Moiseev, N.N. (2022), *Ekologiya chelovechestva glazami matematika: Chelovek, priroda i budushchee civilizacii* [The ecology of mankind through the eyes of mathematics: Man, nature and the future of civilization], URSS, Moscow, Russia.
18. Myasnikova, S.I. and Cherkashin, A.K. (2010), "Forecast geo-information modeling and mapping of taiga forest reserves dynamics", *Geodesy and Cartography*, no. 11, pp. 30–33.
19. Nature of Russia from the window of the train "Moscow – Vladivostok" (2015), [Online], available at: <https://www.youtube.com/watch?v=cnycXUZT4WI> (Accessed 15 June 2022).
20. Rubcov, V.A. and Trofimov, A.M. (2007), "Kazan School of Economics and Geography "Mathematical and Geographical Modeling of Spatial Systems"", *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta, Kn. 4, Estestvennye nauki*, vol. 149, pp. 204–214.
21. Severcov, A.N. (1939), *Morfologicheskie zakonomernosti evolyucii* [Morphological patterns of evolution], Izd-vo AN, Moscow – Leningrad, Russia.
22. Serikov, A.E. (2013), Human behavior and modern approaches to understanding it", *Vestnik Samarskoj gumanitarnoj akademii. Seriya «Filosofiya. Filologiya»*, no. 2(14), pp. 58–77.
23. Simonov, P.V. (1982), "Need-information theory of emotions", *Vopr. Psichologii*, no. 6, pp. 44–56.
24. Solncev, V.N. (1981), *Sistemnaya organizaciya landshaftov* [Landscape System Organization], Mysl', Moscow, Russia.
25. Sochava, V.B. (1978), *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the doctrine of geosystems], Nauka, Novosibirsk, Russia.
26. Stolbov, V.A. and Sharygin, M.D. (2009), *Povedencheskaya geografija* [Behavioral geography], Permskij gos. un-t, Perm', Russia.
27. Suhanov, V.V. (1982), "Model of distribution of species abundance along the littoral of the island ridge", *Morskaya biogeografija: predmet, metody, principy rajonirovaniya*, Nauka, Moscow, Russia, pp. 52–75.
28. Sysuev, V.V. (2020), *Vvedenie v fiziko-matematicheskuyu teoriyu geosistem* [Introduction to Physical and Mathematical Theory of Geosystems], Lenand URSS, Moscow, Russia.
29. Trofimov, A.M. (1997), *Modelirovanie geosistem - konceptual'nyj aspekt: razvitie osnovnyh idej i putej matematizacii i formalizacii geografii* [Geosystem modeling – conceptual aspect: development of the main ideas and ways of mathematization and formalization of geography], Ekocentr, Kazan', Russia.
30. Trofimov, A.M., Rubcov, V.A. and Ermolaev, O.P. (2009), *Regional'nyj geoekologicheskij analiz* [Regional geoecological analysis], Kazan', Russia.
31. Hil'mi, G.F. (1966), *Osnovy fiziki biosfery* [Fundamentals of biosphere physics], Nauka, Leningrad, Russia.
32. Cherkashin, A.K. (2021), "Geosystems and Geographical Environment", *Geography and natural resources*, no. 1, pp. 5–15.
33. Cherkashin, A.K. (2021), "Features of geographic meta-analysis", *Geographical bulletin*, no. 2(57), pp. 6–21.
34. Cherkashin, A.K. (1997), *Polisistemnyj analiz i sintez. Prilozhenie v geografii* [Polysystem analysis and synthesis. Application in geography], Nauka, Novosibirsk, Russia.
35. Cherkashin, A.K. (2005), *Polisistemnoe modelirovanie* [Polysystem modeling], Nauka, Novosibirsk, Russia.
36. Cherkashin A.K. and Rasputina E.A. (2022), "Complex geography as a direction of theoretical research and modeling", *Geographical bulletin*, no. 1 (60), pp. 6–22. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-1-6-22>
37. Cherkashin A.K. and Solodyankina S.V. (2018), "Functional geography as a direction of theoretical research and modeling", *Geography and natural resources*, no. 2, pp. 181–190.
38. Yudin, E.G. *Behavior*, Novaya filosofskaya enciklopediya [Online], available at: https://gufo.me/dict/philosophy_encyclopedia/ (Accessed 15 June 2022).
39. Argent, N.M and Walmsley, D.J. (2009), "From the Inside Looking Out and the Outside Looking In: Whatever Happened to 'Behavioural Geography'?", *Geographical Research*, 47.2, pp. 192–203.
40. Cherkashin, A.K. (2009), "Polysystem modelling of geographical processes and phenomena in nature and society", *Mathematical modelling of natural phenomena*, Vol. 4, no. 5, pp. 4–20.
41. Clements, F. (1916), *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*, Carnegie Institution of Washington, Washington, USA.
42. Gold, J.R. (2009), "Behavioural geography", *International Encyclopedia of Human Geography*, second edition, A. Kobayashi (ed.), vol.1, Elsevier, Oxford. [Online], available at: https://www.researchgate.net/publication/289042344_Behavioral_Geography (Accessed 15 June 2022).
43. Golledge, R.G. and Stimpson, R.J. (1997), *Spatial behaviour: a geographic perspective*, Guilford Press, New York, USA.
44. Golledge, R.G. (2008), "Behavioral geography and the theoretical/quantitative revolution", *Geographical Analysis*, 40, pp. 239–257.
45. Harrison, E.R. (2003), *Masks of the Universe: Changing ideas on the nature of the Cosmos*, Cambridge University Press, Cambridge, GB.
46. Husain, M. (2007), *Models in Geography*, Rawat Publications, New Delhi, India.
47. Montello, D.R., (ed.) (2018), *Handbook of Behavioral and Cognitive Geography*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, Northampton, GB.
48. Rougerie, G. and Beruchashvili, N.L. (1991), *Geosystems et paysages. Bilan et Methodes*, Armand Colin, Paris, France.
49. Sauer, C.O. (1925), "The morphology of landscape", *Geography*, no. 2, pp. 19–53. (Reprinted in: Human geography. An essential anthology. UK. Oxford: Blackwell publishing, 1996. p. 296–315).

Статья поступила в редакцию: 24.05.2023, одобрена после рецензирования: 03.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 24 May 2023; approved after review: 3 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Теория и методология географии
Лесных С.И., Черкашин А.К.

Информация об авторах

Information about the authors

Светлана Ивановна Лесных

кандидат географических наук, старший научный сотрудник
лаборатории теоретической географии,
Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН;
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Svetlana I. Lesnykh

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Theoretical Geography, V.B. Sochava Institute of
Geography SB RAS;
11, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

e-mail: tyara@irigs.irk.ru

Александр Константинович Черкашин

доктор географических наук, профессор, заведующий
лаборатории теоретической географии,
Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН;
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Alexander K. Cherkashin

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the
Laboratory of Theoretical Geography, V.B. Sochava Institute of
Geography SB RAS;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

e-mail: akcherk@irnok.net

Вклад авторов

Лесных С.И. – сбор и обработка статистических данных, геоинформационное картографирование, написание текста статьи.

Черкашин А.К. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Svetlana I. Lesnykh – material collection and processing; writing the article.

Alexander K. Cherkashin – the idea; writing the article; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 911.52 + 551.43

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

СОВРЕМЕННОЕ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ В ЛАНДШАФТЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ (НА ПРИМЕРЕ ГРУППЫ БУГРОВЫХ УРОЧИЩ)

Виктор Валерьевич Занозин¹, Александр Николаевич Бармин², Валерий Владимирович Занозин³, Михаил Викторович Валов⁴

^{1, 2, 3, 4} Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, г. Астрахань, Россия

¹ victor_z94@mail.ru, Author ID: 791171, Scopus ID: 57208255626, SPIN-код: 5840-4892

² abarmin60@mail.ru, AuthorID: 86224, Scopus ID: 55221009800, SPIN-код: 4110-3342

³ vvezanozin-67@mail.ru, AuthorID: 128263, SPIN-код: 9388-9900

⁴ m.v.valov@mail.ru, AuthorID: 778729, Scopus ID: 57212871601, SPIN-код: 1040-4205

Аннотация: Современное рельефообразование, особенно экзогенное, всегда связано с ландшафтными особенностями того региона, в котором оно отмечается. Нередко этому способствует антропогенное воздействие на геосистемы различного ранга. Возникающие формы рельефа часто формируются в результате взаимодействия целого ряда факторов. В статье приведены результаты исследования отрицательных форм рельефа, в основном в виде провалов, провальных трещин и траншей, которые в последние годы формируются в непосредственной близости от бэровских бугров и окружающих их урочищ, расположенных в пределах центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга. Приводятся их морфологические и морфометрические показатели. Рассматриваются как природные предпосылки, так и антропогенные факторы возникновения данных форм рельефа. К естественным особенностям изучаемого подрайона ландшафта дельты Волги относятся находящиеся в целом на горизонтальной и субгоризонтальной поверхностях гряды, получившие в научной литературе название бэровские бугры или бугры Бэра, способствующие возникновению временного поверхностного стока. Другим фактором природного генезиса является наличие в рассматриваемой группе урочищ так называемых «шоколадных» глин хвалынского возраста, залегающих обычно на комплексе гранулометрически неоднородных пород. В некоторой степени возникновению исследуемых форм рельефа способствовали климатические флуктуации, фиксируемые в районе проведения исследований. К антропогенным предпосылкам следует отнести существенные изменения естественного рельефа в ходе хозяйственного использования ландшафта дельты Волги. В качестве рабочей гипотезы другой причиной возникновения исследуемых форм рельефа рассматривается снижение уровня грунтовых вод, обусловленных снижением объемов и продолжительности весеннего половодья в низовьях Волги. На основании полученных результатов, а также с учетом отсутствия в дельте Волги карстующегося субстрата и короткого периода формирования генетический тип формируемого рельефа определен как антропогенный псевдокарст.

Ключевые слова: ландшафт, псевдокарст, дельта Волги, урочище, рельеф

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева в рамках проектов «Анализ геодинимических и геоморфологических преобразований Прикаспийской низменности радиолокационными методами наземного и космического типа (на примере дельты Волги)» и «Проектирование электронного репозитория о геосистемах дельты Волги».

Для цитирования: Занозин В. В., Бармин А. Н., Занозин В. В., Валов М. В. Современное рельефообразование в ландшафте дельты Волги (на примере группы бугровых урочищ) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С. 27–40. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

MODERN RELIEF-FORMING PROCESSES IN THE VOLGA DELTA LANDSCAPE (A CASE STUDY OF A GROUP OF KNOLL TRACTS)

Viktor V. Zanozin¹, Alexander N. Barmin², Valery V. Zanozin³, Mikhail V. Valov⁴

^{1, 2, 3, 4} Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

¹ victor_z94@mail.ru, Author ID: 791171, Scopus ID: 57208255626, SPIN-код: 5840-4892

² abarmin60@mail.ru, AuthorID: 86224, Scopus ID: 55221009800, SPIN-код: 4110-3342

³ vvezanozin-67@mail.ru, AuthorID: 128263, SPIN-код: 9388-9900

⁴ m.v.valov@mail.ru, AuthorID: 778729, Scopus ID: 57212871601, SPIN-код: 1040-4205



*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.*

Abstract: Modern relief-forming processes, especially exogenous, are always associated with the landscape features of the region where they are observed. Anthropogenic impact on geosystems of different ranks often contributes to these processes. Emerging landforms often result from the interaction of a number of factors. The article presents the results of studies of negative landforms, mainly in the form of dips, fissures, and trenches, which in recent years began to form in the vicinity of the Baer knolls and their surrounding geosystems, located within the central subregion of the Volga Delta landscape. The paper provides their morphological and morphometric parameters. Both natural prerequisites and anthropogenic factors of the occurrence of these landforms are considered. Natural peculiarities of the studied Volga Delta landscape subregion include the presence of ridges on the horizontal and subhorizontal surface, called Baer knolls in the scientific literature, which contributes to the occurrence of temporary surface runoff. Another factor of natural genesis is the presence in the studied group of tracts of the so-called 'chocolate' clays of Khvalynsky age, usually deposited on a complex of granulometrically heterogeneous rocks. To some extent, climatic fluctuations recorded in the study area contributed to the emergence of the landforms. Anthropogenic preconditions include significant changes in natural relief during the economic use of the Volga Delta landscape. As a working hypothesis, another reason for the emergence of the studied landforms is seen in a decrease in the ground water level due to the reduced volume and duration of spring floods in the lower Volga. Based on the obtained results and taking into account the absence of karst substrate in the Volga Delta and a short period of formation, the genetic type of the formed relief is defined as anthropogenic pseudokarst.

Keywords: landscape, pseudokarst, Volga Delta, geosystems, relief

Funding: the study was financially supported by Astrakhan Tatishchev State University as part of projects 'Analysis of geodynamic and geomorphological transformations of the Caspian lowland by ground and space radar methods (a case study of the Volga Delta)' and 'Designing a digital repository of the geosystems of the Volga Delta'.

For citation: Zanozin, V.V., Barmin, A.N., Zanozin, V.V., Valov, M.V. (2023). Modern relief-forming processes in the Volga Delta landscape (a case study of a group of knoll tracts). *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 27–40. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

Введение

Современное рельефообразование является неотъемлемой частью развития ландшафтной сферы Земли. Во многом этому способствует взаимодействие различных компонентов и элементов геосистем, выступающих в роли рельефоформирующих факторов. Имея чаще всего естественное происхождение, они могут быть усилены или ослаблены антропогенным воздействием. Возникающие неровности земной поверхности характеризуются разнообразием своих морфологических и морфометрических показателей.

На протяжении последних нескольких лет в ходе исследования особенностей морфологической структуры центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга были зафиксированы отрицательные формы рельефа [16]. Это провалы, провальные трещины и траншеи, формирование которых происходит в группе урочищ бэровских бугров. Их внешние характеристики, с учетом литологических особенностей исследуемого региона, свидетельствовали о вероятной принадлежности к типу рельефа, который в научной литературе получил различное название: псевдокарст, кластокарст, глинистый карст или глинистый псевдокарст, лессовый псевдокарст и т.д. [17–19; 22; 27–28]. В ходе многолетней дискуссии о сущности и отличии карста и псевдокарста исследователи пришли к пониманию того, что последний представляет собой процесс, в результате которого возникают внешне схожие с карстовыми формы рельефа, но имеющие иное происхождение, часто не связанное с растворением горных пород [2; 9; 12–13].

Обнаруженные формы рельефа отмечались в определенных морфологических единицах данного ландшафта ранга урочище. Следовательно, в их формировании необходимо учитывать комплексное взаимодействие различных факторов. Следует отметить, что какие-либо сведения об исследуемых объектах в многочисленных публикациях, посвященных как отдельным компонентам природы дельты Волги, так и сформировавшемуся здесь ландшафту и его структуре, отсутствуют. Появление форм рельефа генетического типа, не характерного для региона исследований, представляет как научный, так и практический интерес. В первом случае он обусловлен своей новизной, а во втором – негативным воздействием на хозяйственную деятельность, которая будет усиливаться или ослабевать в зависимости от дальнейшего развития процесса. Цель выполненного исследования заключалась в установлении генетического типа обнаруженных форм рельефа. В задачи исследования входили фиксирование расположения возникающих форм рельефа, определение их морфологических и морфометрических показателей, установление предпосылок возникновения как природных, так

и антропогенных, указание направлений дальнейшего исследования нового для данного региона типа рельефа.

Район, материалы и методы исследований

Исследованные формы рельефа фиксируются в группе бугровых урочищ, распространенных в пределах центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга (рис. 1). В нее входят урочища бэровских бугров (или бугров Бэра), шлейфов, окружающих бугры и урочища межбугровых понижений высокого, среднего и низкого уровней. Урочища бэровских бугров, или бугров Бэра, получили широкое распространение как в Прикаспийской низменности, так и дельте Волги (рис. 2). Особенности их распространения, геологического строения, морфологии и происхождения посвящено большое количество публикаций [4–5;10;21;23–25].

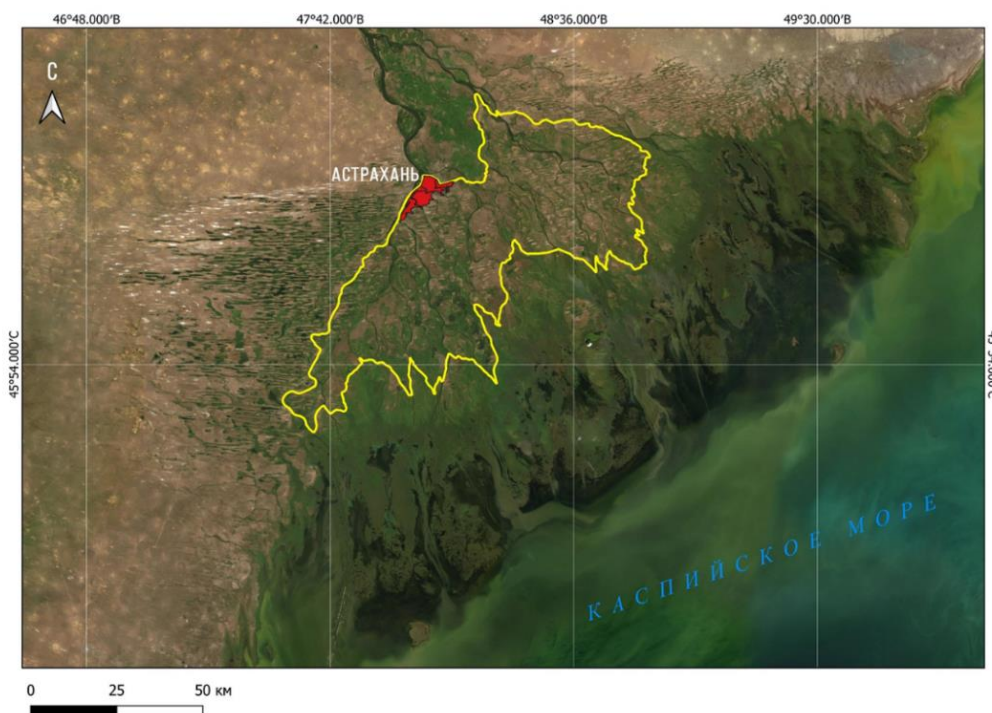


Рис. 1. Центральный подрайон ландшафта дельты Волги
Fig. 1. The central subregion of the Volga Delta landscape

Именно бэровские бугры придают своеобразный облик морфологической структуре центрального подрайона ландшафта дельты Волги, выступая в роли своеобразных ландшафтных реперов рассматриваемого региона.

В большинстве случаев бугры окружены шлейфами. Это полого-наклонные равнины, которые по своему происхождению представляют собой делювий, который накапливается у подножия бугров. Если верхняя часть шлейфа соприкасается непосредственно с телом бугра, то нижняя может взаимодействовать с любым урочищем, окружающим бэровский бугор. Чаще всего наиболее четко выделяется северная половина шлейфа, примыкающая к более крутому склону бугра. Пологий южный склон переходит в шлейф очень плавно, что нередко вызывает трудности в его диагностике. Определение ширины шлейфов всегда является проблематичным. Они могут залежать на русловых или кулгучных отложениях, могут быть покрыты ими, что и приводит к колебаниям данного морфометрического показателя. Бэровские бугры с окружающими их шлейфами плавно переходят в межбугровые урочища высокого, среднего и низкого уровней, которые в рельефе представлены пологонаклонными и пологовогнутыми равнинными участками.



Рис. 2. Бэровский бугор в центральном подрайоне ландшафта дельты Волги (бугор 2-й Сахминский, фото авторов).

Хорошо просматривается наиболее крутой восточный склон
 Fig. 2. Baer knoll in the central subregion of the Volga Delta landscape (2nd Sakhminsky knoll, photo by authors).
 The craged eastern slope is well visible.

Анализ пространственного размещения ПТК данной группы показывает три наиболее крупных места их концентрации. Первое располагается на западе исследуемого подрайона ландшафта дельты Волги, между рукавами Бахтемир и Волга. Кроме этого, наибольшая концентрация группы бугровых урочищ отмечается к югу и юго-востоку от г. Астрахани, а также к юго-востоку и югу от поселка Володарский. Помимо перечисленных участков концентрация бэровских бугров и сопутствующих им урочищ отмечается на юго-западе и северо-востоке центрального подрайона ландшафта дельты р. Волги [15].

Основным видом работ стали детальные полевые маршрутные исследования. Это во многом обусловлено отсутствием первичной информации о расположении объектов исследования, что требовало тщательного обследования перечисленной группы ПТК. Полевые маршруты выбирались также с учетом данных дистанционного зондирования Земли. В полевых условиях для зафиксированных форм рельефа определялись морфометрические и морфологические показатели, а также координаты местоположения. В ходе исследования объектов проводились фото и видео съемка.

Литологические особенности стенок провалов, поверхностных отложений выявлялись как в ходе полевых исследований, так и в последующей камеральной обработке взятых образцов. Гранулометрический состав пород в полевых условиях определялся с применением так называемого «сухого» и «мокрого» (по А.Н. Качинскому) методов. Полученные первичные данные уточнялись, для чего использовался стереоскопический микроскоп МС-1 вар.2 С Digital. Для определения углов наклона поверхности в полевых условиях был адаптирован электронный уровень Prolevel 40. Работа с базами пространственных данных, статистический анализ, процедуры полноценной визуализации и географический анализ осуществлялись с применением геоинформационного метода исследования (ГИС).

Результаты исследования

Объекты исследования в большинстве случаев представляют собой вертикальные провалы глубиной до 3–4 м (рис. 3). Форма входного отверстия различная: цилиндрическая, овальная, в форме многоугольника или имеет нечеткую конфигурацию. Вокруг многих горловин фиксируются трещины отседания шириной до 1,5–2 см, что свидетельствует о горизонтальном росте исследуемых форм рельефа. Ширина провалов по длинной оси колеблется от нескольких десятков сантиметров до 3–5 м.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.



Рис. 3. Провал псевдокарстового происхождения глубиной около 3,5 м, сформировавшийся в межбугровом понижении высокого уровня (длина рейки 120 см, фото авторов)
Fig. 3. A pseudokarst hole with a depth of about 3.5 m, formed in a high-level knoll depression (length of the stick is about 120 cm, photo by authors).

Ограничивающая их от окружающего пространства бровка горловины имеет в большинстве случаев четко выраженный характер, реже – переход слегка плавный. При глубинах до одного метра и понижающимся к центру днищем провалы приобретают чащеобразную форму, нередко вытянутую по длинной оси. Если стенки провала строго вертикальны, он принимает форму входного отверстия. Когда они вогнуты относительно его центра, провал приобретает сосудобразные очертания. Ровные стенки, резко уходящие от бровки в стороны, обеспечивают исследуемым объектам форму усеченного конуса. Необходимо отметить, что в ходе достаточно интенсивного развития форма провалов может меняться. Поверхность стенок провалов осложнена многочисленными трещинами шириной до 0,5–1,5 см, которые наблюдаются при осмотре провалов в полевых условиях, и микротрещин, которые отмечаются у взятых образцов при их осмотре под микроскопом. В результате поверхность стенок приобретает блоково-мозаичный характер. Дно провалов обычно неровное, что свидетельствует о разрушении блока породы после обрушения, которое происходит очень быстро. Доказательством этого могут служить четкая бровка горловины и часто фиксируемые на дне вегетирующие и даже цветущие растения, например, тюльпаны двуцветковые (*Tulipa biflora* Pall.). У многих провалов по краям дна отмечаются отверстия подземных эрозионных каналов диаметром до 30–40 см, уходящих в толщу окружающей провал породы в сторону и вниз, что свидетельствует об их более сложном устройстве. В ходе полевых исследований были зафиксированы также провальные трещины и траншеи, которые при ширине от нескольких десятков сантиметров до 2–3 м и аналогичной глубине достигают нескольких десятков метров в длину (рис. 4).

Провальные траншеи формируются на базе трещин или в результате постепенного слияния провалов. В плане они имеют вид прямых или ломаных линий. Несколько реже в рельефе отмечаются останцы эрозионных ходов с перемычками. Они также возникают при сближении располагающихся вблизи провалов по мере их роста в ширину.

В ходе проведенных исследований составлена картосхема, на которой отражены особенности местоположения исследуемых форм рельефа, а также их некоторые морфометрические показатели (рис. 5).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

Рассматривая генезис исследуемых объектов, необходимо отметить, что в дельте Волги отрицательные формы рельефа получили широкое распространение. Однако подавляющее большинство из них создано постоянными (руслowymi) водотоками различных параметров на горизонтальной и субгоризонтальной поверхностях и имеют линейный характер.



Рис. 4. Формирующаяся провальная траншея в составе трещины, расположенной в межбугровом понижении низкого уровня (фото авторов)
Fig. 4. The forming failure trench is part of the fracture located in a low-level knoll depression (photo by authors).

Это многочисленные русловые борозды, впадины, межгрядные понижения, которые постоянно или периодически заливаются в период половодья и паводков и существенно усложняют морфологическую структуру сформировавшегося здесь ландшафта. Формы рельефа, обусловленные деятельностью плоскостного склонового стока, могли развиваться только в тех природных комплексах, в которых сложились соответствующие условия. Таковыми являются группа бугровых урочищ, образующих единую парагенетическую природную систему. Расположение исследуемых объектов в данной группе ПТК представлено на рис. 6.

Движение воды в данной группе направлено от вершин бугров Бэра к урочищам межбугровых понижений низкого уровня. Разреженный растительный покров бугров способствует некоторой концентрации плоскостного стока, в результате чего возникающие временные водные потоки формируют в средней и нижней частях склонов многочисленные эрозионные борозды. Их наличие на поверхности бугров отражено в различных публикациях, они фиксируются в ходе полевых работ и просматриваются на космических снимках.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

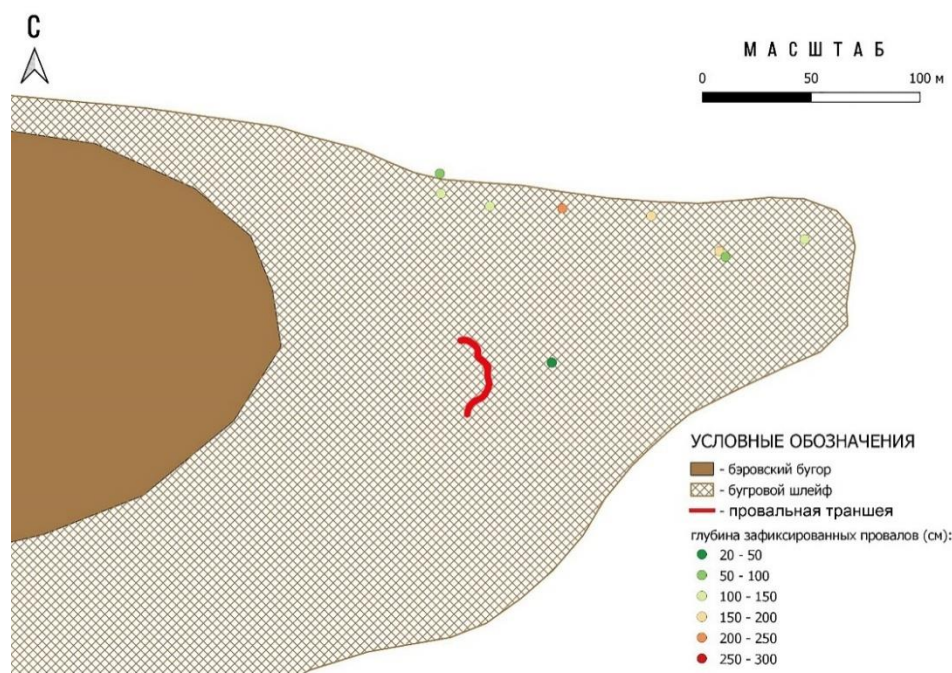


Рис. 5. Фрагмент картосхемы размещения псевдокарстовых форм рельефа в границах центрального подрайона ландшафта дельты Волги
 Fig. 5. Map fragment of the pseudokarst landforms in the central subregion of the Volga Delta landscape.

В ходе исследований было установлено, что формирование борозд наиболее характерно для бугров со слабо нарушенной антропогенным воздействием поверхностью. Например, распашка поверхности данных урочищ в сельскохозяйственных целях всегда препятствует направлению естественного стока и, как результат, возникновению борозд. Необходимо также учитывать и литологические особенности бугров. Склоновый сток лучше формируется у гряд с суглинистой поверхностью, в то время как ряд бугров в дельте Волги сложен супесями и песками, что также подтвердилось в ходе проведенных исследований.

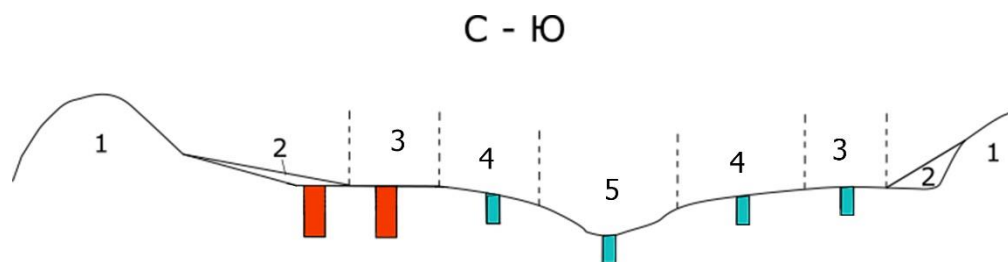


Рис. 6. Схема размещения псевдокарстовых форм рельефа в группе бугровых урочищ центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга: 1 – бэровский бугор; 2 – шлейф, окружающий бугор; 3 – межбугровые урочища высокого уровня; 4 – межбугровые урочища среднего уровня; 5 – межбугровые урочища низкого уровня. Красным цветом показаны места наиболее вероятного расположения форм псевдокарста, зеленым – менее вероятного

Fig. 6. Illustration of pseudokarst relief forms in the group of knoll geosystems of the central subregion of the Volga Delta landscape. Legend: 1 – Baer knoll; 2 – knoll plume; 3 – a high-level knoll depression; 4 – a medium-level knoll depression; 5 – a low-level knoll depression. The most likely location of pseudokarst forms is shown in red; the less likely – in green.

Однако объем влаги, перемещающийся по бороздам, явно недостаточен для формирования исследуемых форм рельефа. Растекаясь после прохождения борозды, водные потоки обычно поглощаются делювиальным шлейфом, нередко оставляя в рельефе слабо просматриваемые конусы выноса. Растительность урочищ шлейфов, окружающих бугры, и межбугровых понижений усиливает хаотичность и снижает энергию той части склонового стока, который достигает подножий бугров. Рассматриваемая группа бугровых урочищ располагает

ется в зоне аридного климата с незначительным годовым количеством осадков, что явно недостаточно для существенной рельефообразующей деятельности воды. Таким образом, у группы бугровых урочищ в их естественном, первичном состоянии отсутствует один из главных факторов формирования рассматриваемых форм рельефа – необходимое количество влаги.

Несколько иначе процесс формирования поверхностного стока отмечается в рассматриваемой группе урочищ, существенно нарушенных деятельностью человека, что было установлено в ходе выполненных исследований. Мощное антропогенное воздействие практически на все природные комплексы дельты Волги, начавшееся в середине 70-х гг. прошлого столетия и продолжающееся с меньшей интенсивностью в настоящее время, затронуло и исследуемую группу ПТК. Отложения нижних частей склонов бугров, а также шлейфов, окружающих бугры, использовались для обваловки полей, рисовых чеков, при прокладке дорог, соединяющих сельскохозяйственные угодья. В результате на дневной поверхности оказывалась глинистая, реже суглинистая основа шлейфов, нередко являющаяся продолжением ядра бугров. Такие участки покрыты нередко плотной глинистой коркой, выполняющей экранирующую функцию для водных потоков (рис. 7).

Аналогичное происходило и при полном разрушении небольших по размерам бугров, когда в рельефе оставался лишь возвышающийся над окружающей местностью останец. Тепло относительно крупных гряд также подвергалось воздействиям в виде выемки грунта при создании оросительных систем, силосных ям и иных объектов, предназначение которых в настоящее время трудно установить. Сегодня они представлены линейно вытянутыми отрицательными формами рельефа, направление которых часто совпадает с направлением стока. Площадь водосбора на таких участках резко возрастает, а водный поток быстро перемещается по водоупорной поверхности нарушенных шлейфов, достигая их окраины. Здесь поверхность становится горизонтальной, субгоризонтальной или даже слегка вогнутой, хотя в группе ненарушенных человеком бугровых урочищ уклон продолжается вплоть до межбугровых урочищ низкого уровня. Вина этому – вновь антропогенный фактор: планиция поверхности происходила в ходе её подготовки под сельскохозяйственные угодья. Способствовали этому и откосы не функционирующих в настоящее время оросительных или дренажных систем, нередко препятствующих движению поверхностных потоков.



Рис. 7. Нарушенный антропогенной деятельностью шлейф, сформировавшийся вокруг бэрковского бугра, покрыт плотной суглинистой коркой, усиливающей плоскостной сток

Fig. 7. Disturbed by anthropogenic activities, the knoll plume is covered with a dense loamy crust, which enhances the planar runoff

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

В ходе хозяйственного использования на поверхности бугров возникают многочисленные грунтовые дороги, которые продолжаютя и в остальных урочищах данной группы. Их поверхность в некоторых случаях очень твердая, так как представлена уплотненными глинами и суглинками, а также аллювиальными отложениями поверхности межбугровых урочищ. Сами дороги, как правило, располагаются на 20–40 см ниже окружающего пространства. Возникает коллектор дождевых и талых вод, по которому они быстро достигают как окраины шлейфа, так и межбугровых понижений (рис. 8).

Возникновение провалов происходит как на горизонтальной, так и слегка вогнутой поверхности. При наличии небольших неровностей вода к их центру поступает по мелким и коротким бороздкам. Проникновению влаги вглубь способствуют вертикальная и горизонтальная трещиноватости глинистых пород, возникающие как следствие диагенеза и сокращения объема глинистых осадков в процессе их литификации в условиях засушливого климата [3; 20].

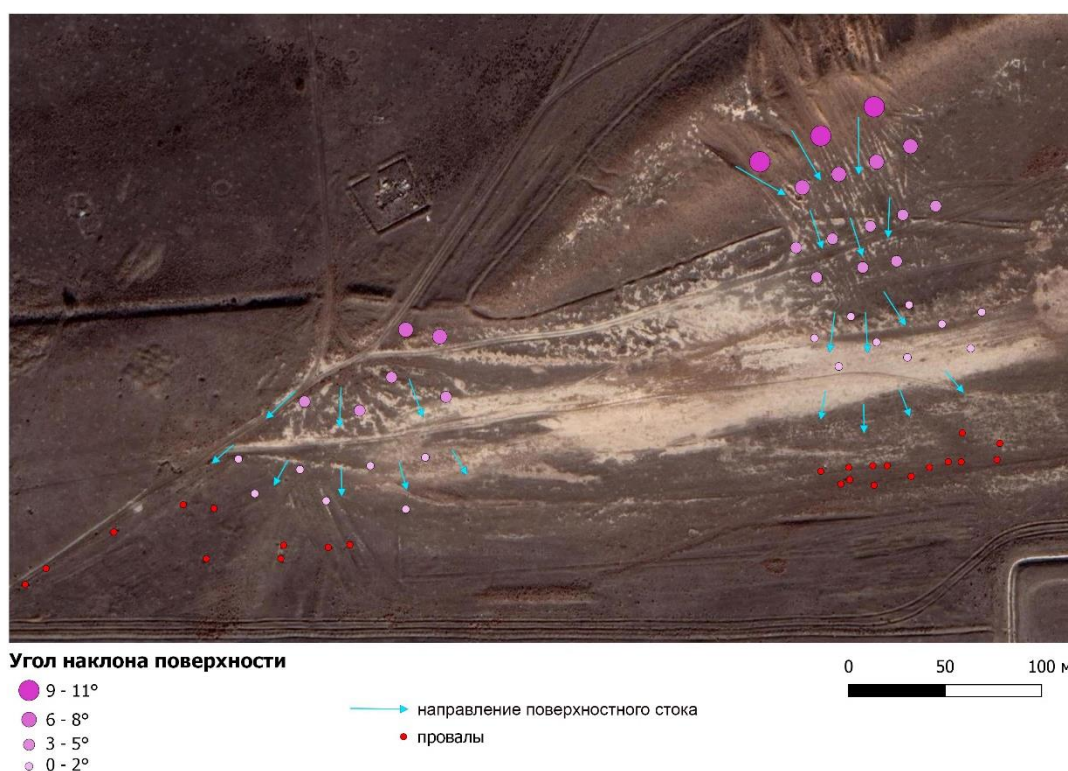


Рис. 8. Схема формирования поверхностного стока в группе бугровых урочищ, подвергшихся антропогенной трансформации (изображение взято с Google Earth)

Fig. 8. Illustration of surface runoff formation in a group of knoll geosystems with anthropogenic transformation (the image was taken from Google Earth)

В ходе проведенных исследований было зафиксировано, что трещины могут возникнуть как в толще глинистых отложений, так и наилка черного цвета мощностью до 30–40 см, что наиболее характерно для урочищ межбугровых понижений. Здесь илистые отложения могут также залегать непосредственно на песчано-супесчаном субстрате. Наиболее интенсивно трещины в этом случае формируются на участках с грунтовыми дорогами. После попадания воды в систему трещин их росту способствуют эрозионная деятельность потока, а также химическая и механическая суффозии. Первый тип суффозии обусловлен наличием в хвалынских, или шоколадных, глинах водорастворимых сульфатов и хлоридов, гипса и карбонатов, которые встречаются в виде выделений различной формы и хорошо просматриваются на стенках формирующихся провалов в виде присыпки. Развитию механической суффозии способствуют неоднородность состава в целом глинистой толще пород, в которых происходит формирование исследуемых форм рельефа, а также особенности ее текстуры.

В основной массе глинистых минералов присутствуют легкая и тяжелые фракции песчано-алевритовой составляющей, при этом мелкоалевритовая фракция может достигать 35%. Песчано-алевритовый материал может равномерно распределяться по всей толще глинистых отложений или же в результате чередования с глинистыми отложениями происходит возникновение чаще горизонтально-слоистой текстуры, что также нарушает монолитность толщи пород [6; 25–26].

Проходящая сквозь глинистую толщу вода достигает песчаных отложений различного механического состава с преобладанием мелкозернистых песков, с включением глин, суглинков и водорастворимых соединений, в основном хлоридов и сульфатов. Данные отложения в большинстве случаев имеют слоистое залегание, что обуславливает появление зоны контакта пород, различных по плотности и составу. Таким образом вновь создаются условия как для подземной эрозии, так и химической и механической суффозии и возникновению полостей обрушения, а в дальнейшем провалов. Формирование горизонтальных каналов в нижней части провалов как следствие подземной эрозии и их дальнейшее обрушение обуславливают, по всей вероятности, возникновение провальных трещин, эволюционирующих в дальнейшем в провальные траншеи, что наиболее характерно для межбугровых урочищ среднего и низкого уровней.

Проводимые исследования показали, что ряд условий, необходимых для возникновения провалов, таких как антропогенные нарушения рельефа, особенности глинистых отложений, в исследуемом регионе отмечаются уже на протяжении, как минимум, двадцати – тридцати лет, однако рассматриваемые формы рельефа возникли в пределах последних пяти лет. Ответ на данный вопрос требует своего подтверждения путем проведения дальнейших исследований. В последние десятилетия в дельте Волги фиксируется значительное снижение как уровней отметок, так и продолжительности весеннего половодья [8]. Сельское хозяйство в регионе, где преобладают залежные земли [14], традиционно было ориентировано на орошаемое земледелие, однако в современных условиях – на так называемое капельное орошение, для которого характерно гораздо меньшее использование объемов воды по сравнению с прежними агротехнологиями. Это привело к снижению уровня грунтовых вод, косвенным подтверждением чего служат многочисленные сухие как оросительные, так и дренажные системы, ранее сформированные в пределах центрального подрайона ландшафта дельты Волги. Изменение уровня режима обусловило нарушение относительно спокойных гидродинамических условий в гранулометрически неоднородных пластах пород, подстилающих как глинистые, так и илистые отложения группы бугровых урочищ, и спровоцировало начало как суффозионных процессов, так и подземной эрозии.

В некоторой степени причиной формирования исследуемых объектов можно считать отмечаемые изменения климатических условий в дельте Волги. Со второй половины XX в. существует тенденция увеличения количества лет с аномально высоким количеством осадков, что в совокупности с существующим трендом на повышение температуры позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение количества более теплых и влажных лет [7]. Весь комплекс факторов обусловил возникновение форм рельефа, которые по своему генезису и морфологии можно отнести к так называемому псевдокарсту. Быстрое возникновение, как и, возможно, дальнейшее резкое угасание свидетельствуют об его антропогенной природе [1].

Проведенные исследования и их продолжение имеют большое практическое значение. Возникающие формы рельефа, с учетом скоротечности их возникновения, создают определенные проблемы для движения автотранспорта, в том числе по грунтовым дорогам, препятствуют работе техники на сельскохозяйственных угодьях. Фиксируются случаи попадания в провалы молодняка крупного рогатого скота. Данные исследования с большой долей вероятности позволяют выявить специфику возникновения провальных явлений на территории г. Астрахани.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено, что на протяжении последних лет в центральном подрайоне ландшафта дельты р. Волга происходит образование форм рельефа, по своему генезису и морфологии соответствующих псевдокарсту. Скоротечность возникновения свидетельствует о большой роли антропогенной составляющей в их появлении и дальнейшем развитии. Исследуемые отрицательные формы рельефа представлены в основном провалами, провальными трещинами и траншеями, реже – останцами эрозионных ходов, возникающих при слиянии провалов. Образование исследуемых форм рельефа происходит в группе бугровых урочищ, в которую входят бэровские бугры, окружающие их делювиальные шлейфы, а также межбугровые урочища различного уровня. Рассматриваемые формы возникают, как правило, в антропогенно нарушенных геосистемах. Все предпосылки формирования можно разделить на две группы: природные и антропогенные. К природным относятся существующие положительные формы рельефа – бугры Бэра, что обуславливает развитие временного поверхностного стока. В эту группу факторов входят и шоколадные глины, выполняющие роль свода над формируемыми под ними полостями обрушения. Данные полости возникают за счет процессов химической и механической суффозии, а также подземной эрозии, происходящих в гранулометрически неоднородных пластах пород, в основном представленных песками. В качестве антропогенных факторов выступают техногенные нарушения рельефа, обуславливающие концентрацию поверхностного стока, а также выход на дневную поверхность шоколадных глин или суглинков, что снижает водопроницаемость поверхности и ускоряет скорость временных водотоков и, как следствие, объем собираемой влаги. Рабочая гипотеза антропогенной причины возникновения провалов предусматривает вероятное снижение уровня грунтовых вод в районе исследования, связанное со снижением объемов и особенно продолжительности весеннего половодья. Планируется дальнейшее исследование антропогенного псевдокарста в дельте Волги. В ходе полевых работ фиксируются координаты и основные параметры вновь обнаруживаемых провалов. Эти данные затем используются для обновления соответствующей картосхемы, что в перспективе позволит более глубоко понять механизм образования исследуемых форм рельефа. Предполагается определение роли биогенного фактора в формировании псевдокарста, выявление негативных последствий его возникновения. К числу перспективных направлений проводимого исследования следует отнести определение соотношения роли суффозионных процессов и подземной эрозии в формировании изучаемых форм рельефа. Работы по выявлению форм псевдокарстового рельефа планируется провести в Западном и Восточном ильменно-бугровых ландшафтах, в морфологическую структуру которых также входят исследуемые урочища.

Список источников

1. Андрейчук В.Н. Определение антропогенного карста. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 89 с.
2. Андрейчук В.Н. Проблема псевдокарста // Проблема псевдокарста: т. докладов совещания. Пермь, 1992. С. 3–6.
3. Архипов С.А. К литолого-фациальной характеристике хвалыньских шоколадных глин и условиям их образования // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 1958. № 22. С. 19–25.
4. Бадюкова Е.Н. Новые данные о морфологии и строении бэровских бугров // Геоморфология. 2005. №4. С. 25–38.
5. Белевич Е.Ф. О происхождении бугров Бэра // Геоморфология. 1979. № 2. С. 57–68.
6. Букина Т.Ф. Гранулометрический состав и условия формирования четвертичных отложений левобережья Волги на участке от с. Березовка до с. Хмелевка (Саратовский район) // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. 1980. № 21. С. 64–77.
7. Валов М.В., Колотухин А.Ю., Бармин А.Н., Зимовец П.А., Занозин В.В. Оценка режимов природной тепло- и влагообеспеченности дельты реки Волги // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7 (73). № 1. С. 212–225.
8. Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Татаринцев С. А., Синцов А. В. Дельта реки Волги: статистические тренды водного режима // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2021. Вып. 4 (20). С.35–42.
9. Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. научн. тр. / Перм. гос. ун-т; Ин-т карстоведения и спелеологии; Межд. акад. наук экологии, безопасности человека и природы. Вып. 13. Уральское отд-ние. Пермь; 2000. 335 с.
10. Головачев И.В. О буграх Бэра и их происхождении // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 4 (67). С.139–149.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

11. Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата / Т.А. Янина, Н.С. Болиховская, Е.И. Полякова, А.А. Свиточ, Е.Н. Бадюкова, Р.Р. Макшаев, Д.М. Лобачева, Е.И. Штыркова. М.: Изд-во Моск. ун-та, ООО «Красногорская типография», 2019. 168 с.
12. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Понятие “псевдокарст” и его сущность // Проблема псевдокарста: тез. докл. совещ. / Кунгур. лаб.-стационар ГИ УрО РАН. Пермь, 1992. С.6–9.
13. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Карст и псевдокарст - их отношения и типология // Гидрогеология и карстование. 2000. Вып. 13.С. 185–194.
14. Занозин В.В., Бармин А.Н. Анализ современного использования природно-территориальных комплексов ландшафта дельты реки Волга в сельскохозяйственных целях // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 2. С. 186–195.
15. Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин Вик. В. Анализ пространственного размещения и площадных показателей группы бугровых урочищ центральной части ландшафта дельты р. Волги // Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: докл. и крат. сообщения. Ижевск, 2021. С. 95–96.
16. Занозин В.В., Занозин В.В. Некоторые особенности формирования глинистого карста в центральном подрайоне ландшафта дельты Волги // Географические науки и образование: мат. XV Всер. науч.-практ. конф.. Астрахань, 2022. С.92–94.
17. Лаврусевич А.А. Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на территориях пораженных лесовым псевдокарстом // Инженерные изыскания. 2010. № 10. С. 20–23.
18. Лаврусевич А.А., Цуцупа Т. А., Салдин В. А., Лаврусевич И. А. Фитогенный псевдокарст и условия его формирования // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2021. № 1. С. 39–47
19. Максимович Г.А. Основы карстования. Т.1. // Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. С. 12.
20. Приклонский В.А., Горькова И.М., Окينا Н.А. и др. Инженерно-геологические особенности хвалыньских глинистых пород в связи с условиями их формирования // Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР им. Ф.П. Саваренского. 1956. Т.13. 152 с.
21. Рычагов Г.И. Бэровские бугры // Тр. Прикаспийской экспедиции. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1958. С. 190–223.
22. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2006. С. 232–233.
23. Рычагов Г.И. Новые данные о генезисе и возрасте бэровских бугров // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009. № 5. С. 59–68.
24. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С. Бэровские бугры - загадка Северного Прикаспия // Природа. 2004. № 2. С. 32–38.
25. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С. Бэровские бугры Нижнего Поволжья. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2006. 160 с.
26. Свиточ А.А., Макшаев Р.Р., Ростовцева Ю.В., Ключиткина Т.С., Березнер О.С., Трегуб Т.Ф., Хомченко Д.С. Шоколадные глины Северного Прикаспия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. 140 с.
27. Knebel W. Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene // Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien. Heft 15 Braunschweig: Friederich: Vieweg und Sohn, 1906. 222 p.
28. Richthofen von F. China: Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien. Berlin: Verlag von Dietrich Reimer, 1877. Band 1. Vol. 1. 726 p.

References

1. Andrejchuk, V.N. (1991), *Opređenje antropogenogo karsta* [Determination of anthropogenic karst]. Sverdlovsk: UrO AS USSR, USSR, 1991.
2. Andrejchuk, V.N. (1992), “Problem of pseudokarst”, *Tezisy dokladov soveshchaniya. Theses of reports of meeting*, Perm, 1992, pp. 3–6.
3. Arhipov, S.A. (1958), “On the lithological and facial characteristics of Khvalynsky chocolate clays and the conditions of their formation”, *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, no. 22, pp. 19–25.
4. Badyukova E.H. (2005), “New data on morphology and structure of Baer's Mounds”, *Geomorphology*, no. 4, pp. 25–38.
5. Belevich, E.F. (1979), “About the Baer's Knolls origin”, *Geomorphology*, no. 2, pp. 57–68.
6. Bukina, T.F. (1980), “Granulometric composition and formation conditions of Quaternary sediments of the left bank of the Volga in the area from Berezovka village to Khmelevka village (Saratov district)”, *Voprosy geologii Yuzhnogo Urala i Povolzh'ye*, no. 21, pp. 64–77.
7. Valov, M.V., Kolotukhin, A.Yu., Barmin, A.N., Zimovets, P.A. and Zanozin, V.V. (2021), “Estimation of Regimes of Natural Heat and Moisture Supply in the Volga River Delta”, *Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, vol. 7(73), no 1, pp. 212–225.
8. Valov, M. V., Kolotukhin, A. Yu., Barmin, A. N., Tatarintsev, S. A. and Sintsov, A. V. (2021), “Volga river Delta: statistical trends of water regime”, *Proceedings of the T.I.Vyazemsky Karadag scientific station - Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences*, vol. 4(20), pp. 35–42.
9. Hydrogeology and karstology: Interuniversity collection of scientific works (2000), Perm State University, Institute of karstology and speleology; International Academy of Sciences of Ecology, Human and Nature Safety, vol. 13, Ural Branch, Perm, Russia.
10. Golovachev, I.V. (2017), “Baer hillocks and their origins”, *Geology, geography and global energy*, no. 4(67), pp. 139–149.
11. Yanina, T.A., Bolikhovskaya, N.S., Polyakova, E.I., Svitoch, A.A., Badyukova, E.N., Makshaev, R.R., Lobacheva, D.M. and Shtyrkova E.I. (2019), *Evoluciya prirodnoj sredy v usloviyah izmenenij klimata* [Evolution of natural environment under climate change], in Yanina, T.A. (ed.), Krasnogorsk Printing House LLC, Moscow, Russia.
12. Dublyanskaya, G.N. and Dublyansky, V.N. (1992), “The concept of "pseudokarst" and its essence”, *Problem of pseudokarst: proceedings of the meeting*, Kungur. lab.-stationary GI UrO RAS, Perm, pp. 6–9.
13. Dublyanskaya, G.N. and Dublyansky, V.H. (2000), “Karst and pseudokarst - their relations and typology”, *Hydrogeology and Karstology*, vol. 13, pp. 185–194.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

14. Zanozin, V.V. and Barmin, A.N. (2020), "Analysis of the modern use of natural territorial complex of the Volga river Delta landscape for the agricultural purposes", *Izvestia VUZOV. Geodesy and aerophotosurveying*, vol. 64 (2), pp. 186–195.
15. Zanozin, V.V., Barmin, A.N. and Zanozin, Vik.V. (2021), "Analysis of spatial distribution and area indices of a group of hillocks of the central part of the Volga River delta landscape", *Thirty-sixth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes*, Izhevsk, Russia, pp. 95–96.
16. Zanozin V.V. and Zanozin V.V. (2022), "Some peculiarities of clay karst formation in the central sub-region of the Volga delta landscape", *Geograficheskie nauki i obrazovanie*, [Geographical Sciences and Education], *Proc. of XV All-Russian Scientific and Practical Conference*, Astrakhan, Russia, pp. 92–94.
17. Lavrusevich, A.A. (2010), "Some peculiarities of engineering geological surveys in areas affected by loess pseudokarst", *Engineering surveys*, vol.10, pp. 20–23.
18. Lavrusevich, A.A., Tsutsupab, T.A., Saldinc, V.A. and Lavrusevich, I.A. (2021), "Phytogenic pseudokarst and conditions of its formation", *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocriology*, vol. 1, pp. 39–47.
19. Maksimovich, G.A. (1963), "Fundamentals of karstology", in *Problems of karst morphology, speleology and hydrogeology of karst*, vol.1, Perm: Perm Book Publishing House, pp. 12.
20. Prilonsky, V.A., Gorkova, I.M., Okina, N.A. et al. (1956), "Engineering-geological features of Khvalyn clayey rocks in connection with conditions of their formation", *Proceedings of the Laboratory of Hydrogeological Problems of the USSR Academy of Sciences named after F.P. Savarensky*, vol. 13, 152 p.
21. Rychagov, G.I. (1958), "Baer knolls", *Proc. of Prikaspiyskaya Expedition*, Moscow: Moscow University Press, pp. 190–223.
22. Rychagov, G.I. (2006), *Obshchaya geomorfologiya* [General geomorphology], 3ed ed., Moscow State University: Nauka, Moscow, Russia.
23. Rychagov, G.I. (2009), "New data on the genesis and age of the Baer knolls", *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geogr. Ser. 5. Geography*, no. 5, pp. 59–68.
24. Svitoch, A.A. and Klyuvitkina, T.S. (2004), "Baer hillocks: an enigma of the Northern Periacaspian area", *Priroda*, vol.2, pp. 32–38.
25. Svitoch, A.A. and Klyuvitkina, T.S. (2006), *Berovskie bugry Nizhnego Povolzh'ya* [Baer hillocks of the Lower Volga region], Rosselkhozakademia Publishing House, Russia.
26. Svitoch, A.A., Makshaev, R.R., Rostovceva, Yu.V., Klyuvitkina, T.S., Berezner, O.S., Tregub, T.F. and Homchenko, D.S. (2017), *SHokoladnye gliny Severnogo Prikaspiya* [Chocolate clays of the Northern Caspian Sea Region], Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia.
27. Knebel, W. (1906), *Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene*, Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien, Vieweg und Sohn, Braunschweig, Germany.
28. Richthofen von F. (1877), *China: Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien*, Verlag von Dietrich Reimer, band 1. vol. 1, Berlin, Germany.

Статья поступила в редакцию: 04.05.2023, одобрена после рецензирования: 23.05.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 4 May 2023; approved after review: 23 May 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Виктор Валерьевич Занозин

кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности,

Астраханский государственный университет

им. В. Н. Татищева;

414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: victor_z94@mail.ru

Information about the authors

Viktor V. Zanozin

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology, Nature & Land Management, & Safe Vital Activities, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

Александр Николаевич Бармин

доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета,

Астраханский государственный университет

им. В. Н. Татищева;

414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: abarmin60@mail.ru

Alexander N. Barmin

Doctor of Geographical Sciences, Full Professor, Dean of the Faculty of Geology & Geography, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

Валерий Владимирович Занозин

кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики,

Астраханский государственный университет

им. В. Н. Татищева;

414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: vvzanzozin-67@mail.ru

Valery V. Zanozin

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Cartography, GIS Technologies, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

Михаил Викторович Валов

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Mikhail V. Valov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology, Nature & Land Management, & Safe Vital Activities, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

e-mail: m.v.valov@mail.ru

Вклад авторов

Занозин Виктор Валерьевич – идея исследования, идея статьи, обработка и анализ полевых данных, написание статьи.

Бармин Александр Николаевич – написание статьи, редактирование статьи.

Занозин Валерий Владимирович – обработка и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Валов Михаил Викторович – обработка и анализ полевых данных, написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Viktor V. Zanozin – the idea of the article; processing and analysis of field data; writing the article.

Alexander N. Barmin – writing and editing of the article.

Valery V. Zanozin – processing and analysis of field data; writing and editing of the article.

Mikhail V. Valov – processing and analysis of field data; writing the article.

The authors declare no conflict of interest.

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научная статья

УДК 314.728+911.6

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-41-51

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МИГРАЦИИ В СИБИРИ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Чернышев Константин Анатольевич¹, Мирязов Тимур Робертович², Петров Евгений Юрьевич³

^{1,2} Институт демографических исследований ФНИСЦ РАН, г. Москва, Россия

³ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

¹ kochern81@gmail.com, Scopus Author ID: 57190411299; Research ID: H-6630-2016, AuthorID: 623010

² miryazov_timur@mail.ru; Scopus Author ID: 57209221088; Research ID: AAY-1530-2021, AuthorID: 1025136

³ petrov@data.tsu.ru, Scopus Author ID: 57224334888, Research ID: C-9821-2017; AuthorID: 1109731

Аннотация. Распространённость социальных сетей и возможность извлечения в обобщённом виде данных из профилей пользователей дают возможность существенно дополнить официальные статистические данные. В данной статье мы вносим вклад в разработку подходов, использующих информацию социальных сетей для изучения миграции, связанной с получением высшего образования. Предметом работы являются внутрисибирские образовательные миграции в Сибири. Цель исследования – изучение маршрутов миграции абитуриентов сибирских вузов, а также проведение регионализации территории Сибири по тяготению к городам–университетским центрам. Для проведения исследования была сделана выгрузка профилей пользователей наиболее распространённой в России социальной сети «ВКонтакте». На основе соотнесения сведений о местах рождения или окончания школы с информацией о местах получения высшего образования, указанных пользователями, проанализирована территориальная структура мест выхода 484,6 тыс. пользователей, получающих или получавших в прошлом высшее образование в вузах Сибири. В рамках исследования были определены зоны тяготения сибирских городов-центров высшей школы. Границы таких зон в основном совпадают с границами субъектов РФ. Однако в некоторых сибирских регионах окраинные муниципалитеты попадают в зону тяготения административных центров соседних субъектов РФ. Наиболее широкой географией абитуриентов отличается Томск. В этом городе, судя по данным «ВКонтакте», численность уроженцев и выпускников школ других регионов РФ преобладает над числом выходцев из Томской области. Кроме того, были выявлены 15 внутрисубъектных городов-центров, уроженцы и выпускники школ которых предпочитали получать высшее образование в местных вузах, а не в «столицах» субъектов РФ. Такие центры имеются в 5 сибирских регионах, наиболее крупный из них – Новокузнецк. Результаты показывают возможности использования данных социальных сетей для изучения и совершенствования региональной политики в сфере образования.

Ключевые слова: социальные сети, ВКонтакте, образовательная миграция, внутренняя миграция, Сибирь

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-28-00766, <https://rscf.ru/project/22-28-00766/>

Для цитирования: Чернышев К. А., Мирязов Т. Р., Петров Е. Ю. Образовательные миграции в Сибири: исследование на основе данных социальной сети // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.41–51. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-41-51

ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-41-51

EDUCATIONAL MIGRATION IN SIBERIA: RESEARCH BASED ON SOCIAL NETWORK DATA

Konstantin A. Chernyshev¹, Timur R. Miryazov², Evgeniy Yu. Petrov³

^{1,2} Institute for Demographic Research of the Federal Center of Theoretical and Applied Sociology of the RAS, Moscow, Russia

³ Tomsk State University, Tomsk, Russia

¹ kochern81@gmail.com, Scopus Author ID: 57190411299; ResearchID: H-6630-2016, Author ID: 623010

² miryazov_timur@mail.ru; Scopus Author ID: 57209221088; ResearchID: AAY-1530-2021, Author ID: 1025136

³ petrov@data.tsu.ru, Scopus Author ID: 57224334888, ResearchID: C-9821-2017; Author ID: 1109731

Abstract. The prevalence of social networking services and the possibility of extracting data in a generalized form from user profiles make it possible to significantly supplement official statistics. In this article, we contribute to the development of approaches that use social media information to study migration associated with higher education. The subject of the work is internal Russian



educational migrations in Siberia. We aim to study the migration routes of applicants to Siberian universities as well as to regionalize the territory of Siberia in relation to the cities being university centers. For the study, user profiles were downloaded from the most commonly used social network in Russia, VKontakte. Basing on the correlation of information about the places of birth or school graduation with information about institutions of higher education indicated by users, we analyzed the territorial structure of the places of origin of 484.6 thousand users who are receiving or received higher education in Siberian universities in the past. As part of the study, we determined the gravity zones of Siberian cities being centers of higher education. The boundaries of such zones basically coincide with the boundaries of the constituent entities of the Russian Federation. However, in some Siberian regions, outlying municipalities fall into the gravity zone of the administrative centers of neighboring entities. Tomsk is distinguished by the widest geographical representation of the applicants. In this city, judging by the data of VKontakte, natives and school graduates from other regions of the Russian Federation prevail over immigrants from the Tomsk region. In addition, 15 intra-regional city centers were identified, whose natives and school graduates preferred to receive higher education in local universities, rather than in the 'capitals' of the constituent entities of the Russian Federation. There are such centers in 5 Siberian regions, the largest of them is Novokuznetsk. The results show the possibilities of using social network data to study and improve regional education policy.

Keywords: social networks, VKontakte, educational migration, internal migration, Siberia

Funding: the reported study was funded by the Russian Science Foundation, project No. 22-28-00766 'Regionalization of the educational space of Russia (based on the study of digital footprints of migrants)'.

For citation: Chernyshev, K.A., Miryazov, T.R., Petrov, E.Yu. (2023). Educational migration in Siberia: research based on social network data. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 41–51. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-41-51.

Проблема исследования

Относительно новым источником информации для изучения миграционных процессов выступают данные социальных сетей, распространённость которых в последние годы заметно возросла. Благодаря большому числу пользователей, которые делятся информацией о себе в цифровой форме, исследователям стали доступны уникальные данные о маршрутах передвижения населения, способные дополнить традиционные статистические источники. Люди, регистрируясь и проводя время в социальных сетях, оставляют «цифровой след», который, помимо прочего, может содержать названия населённых пунктов, мест учёбы, работы или географические координаты («геотеги»). Это позволяет привязать информацию о пользователях к территории, оценить число мигрантов и проследить их маршруты миграции [21; 23]. Территориальную привязку можно определить у пользователей Twitter, LinkedIn, Facebook⁴ и распространённой в России сети «ВКонтакте».

Одним из типов перемещений людей, изучение которого может быть осуществлено в том числе на основе данных социальных сетей, является миграция, связанная с получением высшего образования. Исследователи учебной миграции большее внимание уделяют трансграничным международным перемещениям, которые лучше регистрируются и рассматриваются исследователями и как экспорт образовательных услуг, и как переток кадров высокой квалификации между государствами [9; 13]. Данная проблематика может анализироваться в контексте теории человеческого капитала, с фокусом на проблемах беженцев, иммиграционной политике принимающих стран [22].

Исследователи, изучающие учебную миграцию в России, используют сведения, полученные из официальных источников. К ним относятся сведения Минобрнауки РФ, собираемые с подведомственных учреждений, а также данные текущего миграционного учёта. Так, иностранцы при въезде в Россию заполняют миграционную карту, в графе которой «цель визита» можно выбрать вариант «учёба». При постановке или снятии с миграционного учёта международных или внутренних мигрантов также оформляются соответствующие документы (уведомление о прибытии или убытии иностранного гражданина, листки статистического убытия или прибытия), где «учёба» может указываться как обстоятельство, вызывавшее необходимость переселения. К сожалению, причины миграции не всегда указываются верно, а обобщённые данные не позволяют выделить в потоке учебных мигрантов, получающих именно высшее образование. Данные о миграции населения ежегодно публикуются Росстатом в статистическом бюллетене «Численность и миграция населения» [18]. Кроме того, маршруты межрегиональной образовательной миграции могут анализироваться на основе сопоставления баз данных по результатам сдачи ЕГЭ и итогам приёма в вузы [4].

⁴ Компания Meta Platforms Inc. признана экстремистской организацией и запрещена на территории России

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

Ещё одним недостатком официальных данных является представление информации только по крупным территориям. В результате изучение образовательной миграции, как правило, осуществляется в разрезе стран мира, реже субъектов РФ, и практически никогда – в разрезе муниципальных образований. Примером подобного исследования образовательной миграции является создание «Миграционного атласа Российской Федерации» [10], создатели которого проанализировали численность и долю мигрантов, прибывших в Россию на учёбу за разные периоды времени, а также динамику изменения данных показателей образовательной миграции в разрезе стран мира и субъектов РФ.

В России широко представлены работы по изучению миграционных планов выпускников школ и возможных направлений образовательной миграции, в основу которых положены результаты социологических опросов [3; 7; 12; 15]. Косвенно отток молодого населения в результате образовательной миграции оценивается через статистические данные о возрастном профиле мигрантов или методом передвижки возрастов [2; 16].

Наиболее заметной работой, где использовались данные социальной сети «ВКонтакте», была подготовка веб-атласа «Виртуальное население России», создатели которого осуществили территориальную привязку информации о 88 млн пользователей (данные 2015 г.) [1; 6]. Одно из направлений данного проекта включало изучение миграции населения, а собранные базы данных и на сегодняшний день используются для изучения межмуниципальных миграций и определения центров миграционного притяжения [14]. Однако из-за изменения политики приватности «ВКонтакте» повторить столь объёмную выгрузку, соблюдая законодательство РФ о защите персональных данных, невозможно. В нашей работе на основе новой выгрузки «открытых» профилей из «ВКонтакте» предлагается проанализировать данные о местах выхода образовательных мигрантов из России, обучавшихся в сибирских вузах, осуществить визуализацию зон тяготения городов-центров высшей школы.

Данные и методы исследования

Пользователи при регистрации в социальной сети указывают о себе информацию, достаточную для изучения образовательной миграции и выявления зон тяготения городов-университетских центров. Определение места выбытия осуществляется на основе записи в поле «родной населённый пункт» («home_city»), а в его отсутствии – в поле «школа» («school_city»), которую окончил пользователь. Место получения высшего образования выявлялось на основе записи в поле «город вуза» («universities_city»). Данные собирались при помощи Платформы по сбору и обработке данных социальных сетей Университетского консорциума исследователей больших данных Томского государственного университета. Используются данные всех пользователей старше 17 лет, по профилю которых в социальной сети можно выяснить место рождения (или окончания школы) и вуз (филиал вуза) на территории России. Учебное заведение в настоящее время может не функционировать как вуз, но если пользователь указал его в качестве места получения высшего образования, то оно учитывалось при формировании базы данных. Итоговая база охватывала 3,656 млн уникальных пользователей «ВКонтакте», из которых в сибирских вузах обучались почти 484,6 тыс. чел. В качестве городов-центров высшей школы учитывались города, вузы которых в поле «univ_city_name» указали не менее 300 пользователей социальной сети.

Основными территориальными единицами анализа являются муниципальные образования (в данной работе рассматриваются муниципальные районы, городские и муниципальные округа) сибирских субъектов РФ. Информация пользователей о «родном» населённом пункте была привязана к конкретным муниципальным образованиям на основании набора данных платформы ИНИД (инфраструктура научно-исследовательских данных) «Населённые пункты России: численность населения и географические координаты» [11].

Осуществление регионализации такой крупной территории связано с вопросом определения границ Сибири. Имеются примеры исследований внутрисибирской миграции [5; 20],

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

где в качестве основных территориальных единиц анализа выступают федеральные округа, несмотря на изменчивость и неоднозначный состав данного типа территориальных образований, при формировании которых нарушались целостность территориальных общностей людей и устойчивость хозяйственных связей [19].

Выгрузка профилей пользователей из сети «ВКонтакте» была осуществлена в 2022 г. (после передачи двух субъектов РФ в состав Дальневосточного федерального округа). В нашей работе макрорегион рассматривается в границах Сибирского федерального округа 2000–2018 гг., т.е. включая забайкальские субъекты РФ исходя из выявленного их более выраженного тяготения к сибирским, а не дальневосточным центрам. По этой же причине исключены из рассмотрения западносибирские субъекты Уральского федерального округа (Тюменская область, Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский-Югра автономные округа).

Результаты и обсуждение

Очевидным направлением потоков абитуриентов как для рассматриваемого макрорегиона, так и для большей части России является перемещение в «столицы» субъектов РФ в соответствии со сложившейся территориальной организацией высшей школы. К иерархическим центрам первого порядка опорного каркаса системы высшего образования А.П. Катровский и Т.В. Ватлина относят крупнейшие региональные центры, где функционируют вузы, имеющие федеральное, федерально-отраслевое или федерально-региональное значение. Среди «столиц» сибирских субъектов РФ к таким центрам относятся Новосибирск, а также другие крупнейшие города – Томск, Красноярск и Иркутск [8].

Исходя из указанных критериев в сибирских субъектах РФ было выявлено 39 городов-центров получения высшего образования. Из них 27 городов доминируют по числу уроженцев или выпускников школ в каких-либо муниципалитетах, т.е. выполняют районообразующие функции (табл. 1). Тогда как в 12 городах-вузовских центрах большинство пользователей социальной сети в качестве места получения высшего образования указывали не местные вузы (филиалы), а учебные заведения регионального центра. К этой группе относятся Усолье-Сибирское, Усть-Кут, Славгород, Новоалтайск, Северск, Канск, Минусинск, Тайга, Киселёвск, Ленинск-Кузнецкий, Бердск, Куйбышев. Вузы этих городов в своих профилях указали 5958 пользователей «ВКонтакте», несмотря на наличие собственных вузов (сейчас или в прошлом) эти города не выполняют районообразующие функции в сфере высшего образования. Роль их при формировании потоков образовательной миграции минимальна, а более трёх четвертей обучающихся – местные жители.

Наибольшее количество рассматриваемых профилей пользователей «ВКонтакте» приходится на главные города и центры высшей школы Сибири – Новосибирск, Красноярск, Омск, Томск. Подготовленная база данных позволила разделить пользователей социальной сети на группы исходя из указанного ими родного населённого пункта. В среднем 56% студентов и выпускников вузовских центров Сибири, среди родившихся или закончивших школы в России, приходится на указавших в качестве родного тот город, где находится учебное заведение. Стремление к получению высшего образования в родном городе понятно. Остальные 44 % пользователей являются мигрантами, т.е. выходцами не из городов, где расположены вузы обучения. Соотношение между межрегиональными и внутрирегиональными мигрантами в Сибири примерно равное.

Прослеживается прямая связь между размерами городов-центров и долей мигрантов среди обучающихся, при этом для межрегиональной миграции корреляция сильнее. В крупный центр с развитой сферой высшего образования люди готовы приехать издалека. Подобная связь существует с административным статусом города-центра. Среди региональных центров не соответствует данному представлению выборка пользователей «ВКонтакте», указавших обучение в вузах Омска. В этом городе сосредоточено две трети населения области, поэтому доля приехавших из других частей Омской области невысока. В Норильске 90%

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

среди обучающихся – местные уроженцы или выпускники школ. Незначительная часть образовательных мигрантов, особенно межрегиональных, насчитывается в вузах небольших городов, не имеющих статуса центра субъекта РФ.

Наиболее заметную роль в формировании потоков межрегиональной миграции, связанной с получением высшего образования, имеют Новосибирск и Томск – крупные города с развитой сферой высшего образования. В вузах этих городов, а также Норильска (по причине особого географического положения) контингент межрегиональных мигрантов, в первую очередь, из несибирских регионов намного превышает численность внутрирегиональных мигрантов. Напротив, менее 10% составляет доля студентов и выпускников школ из других регионов России в вузах городов, не являющихся центрами субъектов РФ, а также в Барнауле и Чите.

Таблица 1

Территориальная структура выхода российских студентов в городах-центрах высшей школы регионов Сибири по данным «ВКонтакте»

The territorial structure of the origin of Russian students studying in the cities that are centers of higher education in the regions of Siberia, according to VKontakte data

Город-центр высшего образования	Местные уроженцы или выпускники школ	Мигранты			Всего профилей
		внутри-региональные	межрегиональные		
			из Сибири	из других регионов РФ	
Барнаул	18754	14312	2093	882	36041
Бийск	3872	1309	159	110	5450
Рубцовск	1639	501	11	43	2194
Улан-Удэ	9095	4739	1981	554	16369
Горно-Алтайск	1087	477	441	38	2043
Чита	7918	4298	515	756	13487
Иркутск	19615	16077	5222	2914	43828
Ангарск	2257	322	52	57	2688
Братск	4127	1116	242	134	5619
Усть-Илимск	1087	201	28	25	1341
Кемерово	15338	10151	2101	934	28524
Анжеро-Судженск	798	119	8	10	935
Белово	1230	241	19	12	1502
Междуреченск	741	73	19	15	848
Новокузнецк	12817	3908	538	313	17576
Прокопьевск	2183	290	37	31	2541
Юрга	925	67	58	27	1077
Красноярск	34569	18641	7475	2309	62994
Ачинск	1269	282	27	30	1608
Лесосибирск	969	646	22	16	1653
Норильск	2620	68	54	181	2923
Новосибирск	59991	11459	17515	23231	112196
Омск	40526	5021	3696	5447	54690
Тара	446	156	3	17	622
Томск	18264	6290	14345	11882	50781
Кызыл	867	354	45	25	1291
Абакан	3732	2161	1774	174	7841
Города без районобразующих функций	4603	1025	200	130	5958
Всего профилей	271339	104304	58680	50297	484620

Выходцы из сибирских регионов явно преобладают в структуре межрегиональных образовательных мигрантов в Абакане и Горно-Алтайске – центрах, расположенных на границах своих республик. Среди пользователей «ВКонтакте», указавших обучение в Абакане, немало выходцев из Красноярского края (Минусинск, Шарыпово), а также Тывы (Кызыл). Межрегиональные мигранты, обучавшиеся в университете Горно-Алтайска, чаще всего указывали в качестве своей родины населённые пункты Алтайского края (Бийск, Барнаул и др.).

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

Доля внутрирегиональных образовательных мигрантов наиболее велика в Барнауле и Иркутске – центрах регионов, имеющих значительный миграционный потенциал населения, проживающего за пределами административных центров, а также в Лесосибирске, где велика доля уроженцев соседнего города Красноярского края – Енисейска.

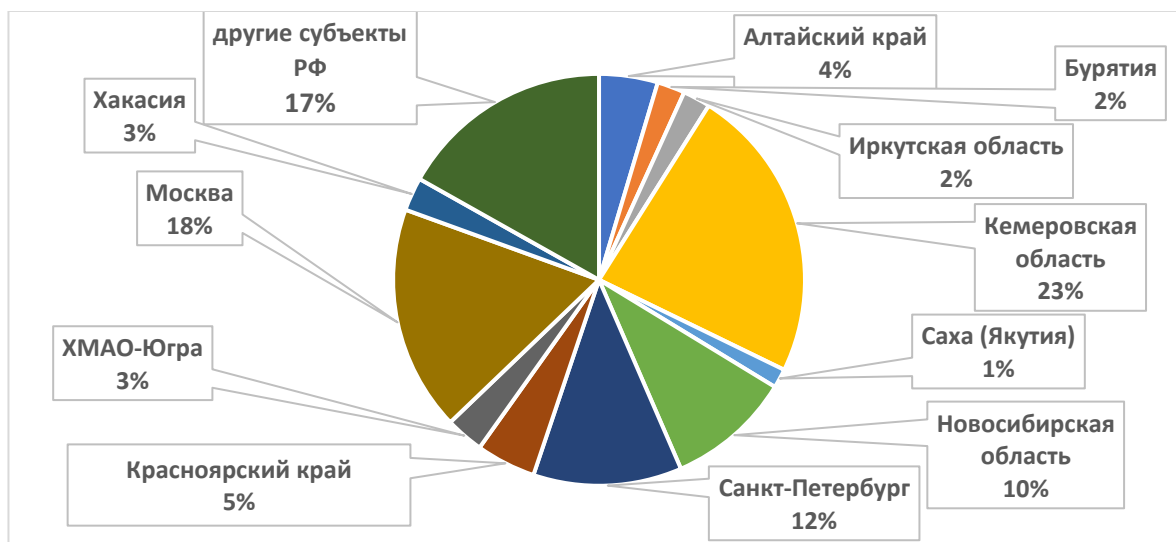


Рис.1. Регионы выхода студентов в вузах Томска по данным социальной сети «VKонтakte» (межрегиональная миграция)
Fig.1. Regions of origin of students of Tomsk universities according to the social network VKontakte (interregional migration)

Среди сибирских центров высшего образования, согласно данным «VKонтakte», мигранты составляют большинство в Абакане, Иркутске и Томске. Последний город отличается наибольшей долей межрегиональных мигрантов. Это единственный сибирский образовательный центр, где, судя по данным «VKонтakte», среди обучавшихся уроженцы и выпускники школ других регионов РФ преобладают над выходцами из Томска и Томской области, причём межрегиональных мигрантов в 4,2 раза больше, чем внутриобластных. География регионов выхода пользователей «VKонтakte», указавших обучение в Томских вузах, представлена на рис. 1. Наиболее заметны в структуре Томского студенчества и выпускников вузов города выходцы из соседних сибирских субъектов РФ (Кемеровская, Новосибирская области), а также многонаселённых регионов Европейской России (Москва, Санкт-Петербург).

Подготовленная база данных пользователей сети «VKонтakte» также позволила определить для каждого сибирского муниципалитета (района, округа) главный город-центр высшей школы, куда направлялось большинство образовательных мигрантов. Это дало возможность картографировать зоны влияния вузовских центров Сибири. Результаты проведённого анализа с визуализацией на тематической карте представлены на рис. 2.

Наиболее цельной с точки зрения территориальной организации высшей школы является Новосибирская область. «Столица» данного субъекта является основным центром получения высшего образования для выходцев из всех муниципалитетов области, несмотря на то, что в качестве центров высшей школы региона пользователи «VKонтakte» указывали Бердск и Куйбышев. Для остальных сибирских регионов характерна более сложная территориальная организация высшего образования: тяготение отдельных муниципалитетов к центрам соседних субъектов РФ или наличие внутрирегиональных центров высшего образования.

Муниципальные образования, выходцы из которых выбирают для получения высшего образования города-центры в соседних субъектах РФ, в основном расположены на окраине своих регионов (табл. 2.). Среди муниципальных образований регионов Сибири наиболее значительное притяжение центра соседнего субъекта РФ характерно для Тайгинского района Кузбасса, Северобайкальского района Бурятии и Орджоникидзевогo района Хакасии, тяготеющих соответственно к Томску, Иркутску и Красноярску. Предполагаем, что есть не-

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

сколько факторов, обусловивших выбор абитуриентами муниципальных образований вузов соседних регионов. В сибирских условиях большое значение имеет территориальная доступность городов-центров высшего образования, в том числе наличие железнодорожных магистралей, связывающих с главными городами-центрами высшего образования (Тайшетский район и др.). Имеют значение исторически сложившиеся связи по получению образования в сочетании с недостаточной развитостью высшей школы в региональной столице (муниципалитеты Хакасии, Алтая). Интересен пример населённого преимущественно бурятами Могойтуйского района Забайкалья, выходцы из которого предпочитают получать высшее образование в Улан-Удэ: вероятно, важен национальный фактор. Помимо названных причин абитуриенты, выбирая вуз, подвержены влиянию традиционных факторов миграции: социально-экономические различия регионов, более высокая привлекательность для молодёжи крупных городов и др. [17].



Рис. 2. Зоны тяготения центров получения высшего образования в Сибири
Fig. 2. Gravity zones of higher education centers in Siberia

Внутрирегиональными центрами тяготения образовательных мигрантов являются 15 городов (округов или соответствующих районов), уроженцы и выпускники школ которых, согласно данным «ВКонтакте», предпочитали получать высшее образование в местных вузах и филиалах, а не в «столицах» регионов. Наибольшее количество таких центров имеется в Кемеровской области: Прокопьевск, Анжеро-Судженск, Белово, Междуреченск, Юрга, Новокузнецк, причём последний доминирует также в четырёх близлежащих муниципальных образованиях. Другие внутрирегиональные города-центры притяжения мигрантов: Рубцовск и Бийск в Алтайском крае, Ангарск, Братск и Усть-Илимск в Иркутской области, Ачинск, Лесосибирск и Норильск в Красноярском крае, Тара в Омской области.

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

Таблица 2

Муниципалитеты Сибири, тяготеющие к центрам высшего образования в соседних субъектах РФ
 Siberian municipalities gravitating toward centers of higher education in neighboring entities of the Russian Federation

Районы/округа	Количество профилей	Административный центр региона		Основной город-центр получения высшего образования	
		Город	Число профилей	Город	Число профилей
Могойтуйский район Забайкальского края	367	Чита	114	Улан-Удэ	152
Тайшетский район Иркутской области	1193	Иркутск	455	Красноярск	482
Муйский район Республики Бурятия	299	Улан-Удэ	60	Иркутск	72
Северобайкальск и Северо-Байкальский район Республики Бурятия	932	Улан-Удэ	129	Иркутск	259
Абаза и Таштыпский район Республики Хакасия	583	Абакан	196	Красноярск	198
Орджоникидзевский район Республики Хакасия	242	Абакан	46	Красноярск	125
Саяногорск Республики Хакасия	1493	Абакан	316	Красноярск	608
Сорск Республики Хакасия	227	Абакан	46	Красноярск	92
Ширинский район Республики Хакасия	439	Абакан	137	Красноярск	192
Турочакский район Республики Алтай	158	Горно-Алтайск	34	Барнаул	51
Тайгинский район Кемеровской области	656	Кемерово	61	Томск	212
Чеди-Хольский кожуун Республики Тыва	52	Кызыл	11	Красноярск	13

Заключение

Данные, извлекаемые из социальных сетей, являются новым, дополняющим традиционную статистику источником информации. Эти сведения могут быть использованы для изучения образовательной миграции и выявления зон влияния городов-центров высшей школы. Следует учитывать, что «цифровые» данные отражают миграционные и образовательные характеристики не реального, а «виртуального» населения.

Для исследования была использована база данных, содержащая информацию по более чем 300 муниципальным районам и городским округам на территории Сибири.

В целом, полученная на основе цифровых данных картина подтвердила сложившиеся представления об иерархии и влиянии сибирских центров высшей школы, наиболее крупными из которых являются города-миллионники. Территориально разнообразную структуру контингента абитуриентов имеет Томск. Важную роль в формировании зон тяготения вузовских центров играет их географическое положение и место в региональных системах расселения. В пяти сибирских субъектах РФ выявлены внутрорегиональные центры притяжения абитуриентов. Муниципальные образования, в которых большинство уроженцев и выпускников школ предпочитают получать высшее образования в соседних субъектах РФ, чаще всего находятся на окраине своих регионов.

В будущем возможны проведение углублённого анализа принимаемых абитуриентами решений о поступлении в учебные заведения городов-центров, а также расширение поля исследований с целью изучения распределения выпускников учебных заведений. Использование данных социальных сетей позволит совершенствовать региональную политику в сфере образования.

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

Список литературы

1. *Виртуальное население России*. URL: <http://webcensus.ru> (дата обращения: 24.12.2022).
2. *Габдрахманов Н.К.* Молодежная миграция как индикатор региональной аттрактивности // *Географический вестник = Geographical bulletin*. 2020. № 1 (52). С. 96–107. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-1-96-107
3. *Гайнанов Д.А., Атаева А.Г., Мигранова Л.И., Атнабаева А.Р.* Влияние образовательного выбора школьников на качество человеческого капитала региона // *Регион: Экономика и Социология*. 2022. № 4 (116). С. 107–132. DOI: 10.15372/REG20220405
4. *Дождиков А.В., Корнилова Е.В.* Образовательная миграция абитуриентов между регионами Российской Федерации как источник данных для планирования развития системы высшего образования // *Высшее образование в России*. 2023. № 32 (3). С. 67–83. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-3-67-83
5. *Зайончковская Ж.А.* Федеральные округа на миграционной карте России // *Регион: экономика и социология*. 2012. № 3. С. 3–18.
6. *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
7. *Карачурина Л.Б., Флоринская Ю.Ф.* Миграционные намерения выпускников школ малых и средних городов России // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2019. № 6. С. 82–89.
8. *Катровский А.П., Ватлина Т.В.* Пространственная организация высшей школы: многообразие подходов к изучению. География высшей школы регионов России: монография / под ред. А.П. Катровского и Т.И. Яськовой. Смоленск, 2020. С. 12–34.
9. *Лебедева Т.В.* Образовательная миграция в Российскую Федерацию: роль в обеспечении экономики кадрами высокой квалификации: монография. М: ИНФРА-М, 2022. 189 с. DOI: 10.12737/1893954
10. *Миграционный атлас Российской Федерации* / С.В. Рязанцев, В.С. Белозеров, Н.А. Щитова [и др.]; М.: ФНИСЦ РАН, 2022. 232 с. DOI: 10.51285/978-5-905790-56-0
11. *Населенные пункты России: численность населения и географические координаты*. URL: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/160/> (дата обращения: 24.06.2022)
12. *Ойдун Т.М., Троишкина И.Н.* Профессиональные предпочтения выпускников школ столиц республик Тыва, Алтай и Хакасии как основа формирования человеческого капитала регионов (2021 г.) // *Новые исследования Тувы*. 2022. № 2. С. 198–210. DOI: 10.25178/nit.2022.2.14
13. *Рязанцев С.В., Ростовская Т.К., Скоробогатова В.И., Безвербный В.А.* Международная академическая мобильность в России. Тенденции, виды, государственное стимулирование // *Экономика региона*. 2019. № 15(2). С. 420–435. DOI: 10.17059/2019-2-9
14. *Смирнов А.В.* Прогнозирование миграционных процессов методами цифровой демографии // *Экономика региона*. 2022. № 18(1). С. 133–145. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-1-10
15. *Флоринская Ю.Ф.* Выпускники школ из малых городов России: образовательные и миграционные стратегии // *Проблемы прогнозирования*. 2017. № 1. С. 114–124.
16. *Чернышев К.А.* Образование как фактор миграционной подвижности: опыт оценки и принятия управленческих решений на региональном уровне // *Вопросы управления*. 2014. № 6. С. 173–179.
17. *Чернышев К.А., Петров Е.Ю.* Подходы к делимитации образовательного пространства Восточной Сибири на основе изучения цифровых следов мигрантов // *Территориальная организация природы и общества сибирского макрорегиона в условиях глобальной нестабильности* / отв. ред. Т.И. Заборцева. Иркутск, 2022. С. 151–153.
18. *Численность и миграция населения Российской Федерации*. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13283> (дата обращения: 24.02.2023)
19. *Шарыгин М.Д.* Современные проблемы территориальной организации российского общества // *Известия Русского географического общества*. 2007. Т. 39. № 1. С. 30–36.
20. *Шворина К.В., Фалейчик Л.М.* Основные тренды миграционной мобильности населения регионов Сибирского и Дальневосточного федеральных округов // *Экономика региона*. 2018. Т. 14, вып. 2. С. 485–501 DOI: 10.17059/2018-2-12
21. *Spyratos S, Vespe M, Natale F, Weber I, Zagheni E, Rango M.* Quantifying international human mobility patterns using Facebook network data. *PLoS ONE*, 14(10), 2019, 1–22. DOI: 10.1371/journal.pone.0224134
22. *The Atlas of Migration in Europe: A Critical Geography of Migration Policies*. London, 2019. 180 p. DOI: 10.4324/9780429402036
23. *Zagheni E, Weber I, Gummadi K.* Leveraging Facebook's Advertising Platform to Monitor Stocks of Migrants. *October 2017. Population and Development Review*. V. 43 I. 4. P. 721–734. DOI: 10.1111/padr.12102

References

1. *Virtual population of Russia*. URL: <http://webcensus.ru> (Accessed: 24.12.2022)
2. *Gabdrakhmanov, N.K.* (2020), *Molodezhnaja migracija kak indikator regional'noj attraktivnosti* [Youth migration as an indicator of regional attractiveness], *Geographical bulletin*, no. 1(52), pp. 96–107. doi: 10.17072/2079-7877-2020-1-96-107
3. *Gainanov, D.A., Ataeva, A.G., Migranova, L.I., Atnabaeva, A.R.* (2022), *Vlijanie obrazovatel'nogo vybora shkol'nikov na kachestvo chelovecheskogo kapitala regiona* [The Impact of Schoolchildren's Educational Choices on the Quality of The Human Capital in The Region], *Region: Economics and Sociology*, no. 4(116), pp. 107–132. doi: 10.15372/REG20220405
4. *Dozhdikov, A.V., Kornilova, E.V.* (2023), *Obrazovatel'naja migracija abiturientov mezhdju regionami Rossijskoj Federacii kak istochnik dannyh dlja planirovanija razvitija sistemy vysshego obrazovanija* [Educational Migration of Applicants Among Regions of the Russian Federation as a Data Source for Planning the Higher Education System Development], *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, no. 32(3), pp. 67–83. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-3-67-83.
5. *Zaionchkovskaya, Z.A.* (2013), *Federal districts on the migration map of Russia*, *Regional Research of Russia*, no. 3, pp. 328–334. doi: 10.1134/S2079970513040126

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

6. Zamyatina, N.Yu., Yashunsky, A.D. (2018), Virtual'naja geografija virtual'nogo naselenija [Virtual geography of virtual population], *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, no. 1, pp. 117–137. doi: 10.14515/monitoring.2018.1.07
7. Karachurina, L.B., Florinskaya, Y.F. (2019), Migracionnye namerenija vypusnikov shkol malyh i srednih gorodov Rossii [Migration Intentions Of School Graduates In Small And Midsize Towns Of Russia], *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, no. 6, pp. 82–89.
8. Katrovsky, A.P., Vatlina, T.V. (2020), Prostranstvennaja organizacija vysshej shkoly: mnogoobrazie podhodov k izucheniju [Spatial organization of higher education: diversity of approaches to study]. In: *Geografija vysshej shkoly regionov Rossii* [Geography of Higher Education in the Regions of Russia]. Smolensk. Ed. by A.P. Katrovsky and T.I. Yaskova, pp.12–34.
9. Lebedeva, T.V. (2022), *Obrazovatel'naja migracija v Rossijskuyu Federaciju: rol' v obespechenii jekonomiki kadrami vysokoj kvalifikacii* [Educational migration to the Russian Federation: its role in supporting economy with highly qualified personnel], Moscow: INFRA-M. 189 p. doi: 10.12737/1893954
10. *Migracionnyj atlas Rossijskoj Federacii* [Migration Atlas of the Russian Federation]. (2022), ed. by Ryazantsev, S.V., Belozеров, V.S., Shchitova, N.A. et al., Moscow: Perspektiva Publishing. 232 p. doi: 10.51285/978-5-905790-56-0
11. Russian settlements: population and geographic coordinates. URL: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/160/> (Accessed: 24.06.2022)
12. Oidup, T.M., Troshkina, I.N. (2022) Professional'nye predpochtenija vypusnikov shkol stolits respublik Tyva, Altaia i Khakasii kak osnova formirovaniia chelovecheskogo kapitala regionov (2021 g.) [Vocational choices of secondary school graduates in the capitals of Tuva, Altai and Khakassia as a basis of building human capital in the region (2021)]. *New Research of Tuva*, no. 2, pp. 198–210. DOI: <https://www.doi.org/10.25178/nit.2022.2.14>
13. Ryazantsev, S.V., Rostovskaya, T.K., Skorobgatova, V.I., Bezverbny, V.A. (2019), Mezhdunarodnaja akademicheskaja mobil'nost' v Rossii. Tendencii, vidy, gosudarstvennoe stimulirovaniia [International Academic Mobility in Russia: Trends, Types, State Stimulation], *Ekonomika regiona*, no. 15(2), pp. 420–435. doi: 10.17059/2019-2-9
14. Smirnov, A.V. (2022), Prognozirovaniie migracionnyh processov metodami cifrovoj demografiju [Digital Demography Methods for Forecasting Migration Processes], *Ekonomika regiona*, no. 18(1), pp. 133–145. doi: 10.17059/ekon.reg.2022-1-10
15. Florinskaya, Y.F. School Graduates from Small Towns in Russia: Educational and Migration Strategies *Studies on Russian Economic Development*, 2017, vol. 28, no. 1, pp. 87–96. doi: 10.1134/S1075700717010038
16. Chernyshev, K.A. (2014), Obrazovanie kak faktor migracionnoj podvizhnosti: opyt ocenki i prinjatija upravlencheskih reshenij na regional'nom urovne [Education as a factor of migratory mobility: the experience of evaluating and making managerial decisions at the regional level], *Voprosy upravleniya*, no. 6, pp. 173–179.
17. Chernyshev, K.A., Petrov, E.Yu. (2022), Podhody k delimitacii obrazovatel'nogo prostranstva Vvostochnoj Sibiri na osnove izuchenija cifrovyyh sledov migrantov [Approaches to delimiting the educational space of Eastern Siberia based on the study of digital traces of migrants]. In: *Territorial'naja organizacija prirody i obshhestva sibirskogo makroregiona v uslovijah global'noj nestabil'nosti* [Territorial Organization of Nature and Society of the Siberian Macroregion in the Conditions of Global Instability]. Irkutsk. Edited by T.I. Zabortseva, pp. 151–153.
18. Population and migration of the Russian Federation. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13283> (Accessed: 24.02.2023)
19. Sharygin, M.D. (2007), Sovremennye problemy territorial'noj organizacii rossijskogo obshhestva *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*, vol. 39, no. 1, pp. 30–36.
20. Shvorina, K.V., Faleychik, L.M. (2018), Osnovnye trendy migracionnoj mobil'nosti naselenija regionov Sibirskogo i Dal'nevostochnogo Federal'nyh okrugov [Main Directions of Migration Mobility of the Population in the Siberian and Far Eastern Federal Districts], *Ekonomika regiona*, no. 14(2), pp. 485–201. doi 10.17059/2018-2-12
21. Spyrtatos, S., Vespe, M, Natale, F, Weber, I, Zagheni, E, Rango, M. (2019), Quantifying international human mobility patterns using Facebook network data, *PLoS ONE*, no. 14(10), pp. 1–22. doi: 10.1371/journal.pone.0224134
22. *The Atlas of Migration in Europe: A Critical Geography of Migration Policies* (2019), London, Routledge. 180 p. doi: 10.4324/9780429402036
23. Zagheni, E, Weber, I., Gummadi, K. (2017), Leveraging Facebook's Advertising Platform to Monitor Stocks of Migrants. *Population and Development Review*, no. 43(4), pp. 721–734. doi: 10.1111/padr.12102

Статья поступила в редакцию: 03.07.2023; одобрена после рецензирования: 18.10.2023; принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 3 July 2023; approved after review: 18 October 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Экономическая, социальная и политическая география
Чернышев К.А., Мирязов Т.Р., Петров Е.Ю.

Информация об авторах

Константин Анатольевич Чернышев

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник
отдела геоурбанистики и пространственной демографии,
Институт демографических исследований Федерального
научно-исследовательского социологического центра РАН;
119333, Россия, г. Москва, ул. Фотиевой, 6, корп. 1
e-mail: kochern81@gmail.com

Тимур Робертович Мирязов

младший научный сотрудник отдела геоурбанистики и про-
странственной демографии,
Институт демографических исследований Федерального
научно-исследовательского социологического центра РАН;
119333, Россия, г. Москва, ул. Фотиевой, 6, корп. 1
e-mail: miryazov_timur@mail.ru

Евгений Юрьевич Петров

лаборант суперкомпьютерного центра,
Томский государственный университет;
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, 36

Information about the authors

Konstantin A. Chernyshev

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, De-
partment of Urban Geography and Spatial Demography, Institute
for Demographic Research of the Federal Center of Theoretical
and Applied Sociology of the Russian Academy of Sciences;
6, bld. 1, Fotievoy st., Moscow, 119333, Russia
e-mail: kochern81@gmail.com

Timur R. Miryazov

Junior Researcher, Department of Urban Geography and Spatial
Demography, Institute for Demographic Research of the Federal
Center of Theoretical and Applied Sociology of the Russian
Academy of Sciences;
6, bld. 1, Fotievoy st., Moscow, 119333, Russia

Evgeniy Yu. Petrov

Laboratory Assistant, Supercomputer Center, Tomsk State Uni-
versity;
36, prospekt Lenina, Tomsk, 634050, Russia
e-mail: petrov@data.tsu.ru

Вклад авторов

Чернышев К. А. – идея, обработка материала, написание статьи, редактирование карты.

Мирязов Т. Р. – написание статьи, создание карты.

Петров Е. Ю. – сбор материала, написание статьи.

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

Contribution of the authors

Konstantin A. Chernyshev – the idea; data processing; writing the article; editing the map.

Timur R. Miryazov – writing the article; creating the map.

Evgeniy Yu. Petrov – material collection; writing the article.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 913(4/9)

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-52-70

**ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
ЛИТВЫ В 2004–2019 ГГ.**Андрей Станиславович Зиновьев¹, Юрий Александрович Ступин²^{1, 2}Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия¹a.zinovyev@spbu.ru, ScopusAuthorID: 57204029906, AuthorID: 250516²y.stupin@spbu.ru, Scopus AuthorID: 6506606369

Аннотация. Неравномерность социально-экономического развития является объективным свойством пространства. Для постсоциалистических стран Центрально-Восточной Европы этот вопрос имеет особую актуальность, в том числе в контексте наложения институтов ЕС на пространственные структуры, сформировавшиеся в период централизованного планирования. В работе проанализирован ряд социально-экономических показателей по развитию 60 местных самоуправлений Литвы с 2004 по 2019 г. С целью выявления ключевых трендов неравномерности пространственного развития рассчитывалось стандартное отклонение отобранных показателей от среднего показателя по стране, разделенных на пять групп: превышающих более чем на 60% и на 20–60%, пониженных более чем на 60% и на 20–60%, наиболее близких к среднему показателю от -20 до 20%. К периферии были отнесены те территории, где значения показателей ниже среднего по стране были более чем на 60%, на 20–60%, а также наиболее близкие к среднему от -20 до 20%. Полупериферией считались муниципальные образования с показателями выше средних по стране на 20–60%, а ядром – более чем на 60%. Отмечается волатильный характер динамики изучаемых процессов, связанный с новым институциональным дизайном функционирования государства после вступления в ЕС и внешней конъюнктурой. Территориальная структура социально-экономических процессов в Литве имеет крайне поляризованный характер. Выделяются крупнейшие агломерации страны (Вильнюс, Каунас, Клайпеда) и приморская курортная зона (Паланга, Неринга), являющиеся центрами притяжения населения и инвестиций. Практически вся остальная территория страны представляет собой периферию, однако довольно пеструю. Степень периферизации муниципалитетов зависит от географического положения относительно главных центров, степени сохранности и востребованности рынком советского индустриального наследия, природно-рекреационного потенциала. Лишь 18% муниципалитетов Литвы характеризуются определенной стабильностью или улучшением показателей, а 80% подвержены разной степени периферизации, особенно стагнируют самоуправления по всему периметру приграничья.

Ключевые слова: неравномерное развитие, Литва, центр-периферийная структура, ЕС

Благодарности: авторы благодарят лаборанта кафедры социально-экономической географии зарубежных стран МГУ имени М.В. Ломоносова Ф.М. Чернецкого за помощь в подготовке картосхем.

Для цитирования: Зиновьев А.С., Ступин Ю.А. Оценка неравномерности социально-экономического развития Литвы в 2004–2019 гг. // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.52–70. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-52-70

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-52-70

**ASSESSMENT OF THE UNEVEN SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF
LITHUANIA IN 2004-2019**Andrey S. Zinovyev¹, Yurii A. Stupin²^{1, 2}St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia¹a.zinovyev@spbu.ru, ScopusAuthorID: 57204029906, AuthorID: 250516²y.stupin@spbu.ru, Scopus AuthorID: 6506606369

Abstract. The unevenness of socio-economic development is an objective property of space. For the post-socialist countries of Central and Eastern Europe, this issue is of particular relevance, including in the context of the imposition of EU institutions on spatial structures formed during the period of central planning. The paper analyzes a number of socio-economic indicators for 60 Lithuanian municipalities from 2004 to 2019. In order to identify key trends in the unevenness of spatial development, the standard deviation of the selected indicators from the national average was calculated, with the results further categorized into five groups: exceeding by more than 60% and by 20-60%, lower by more than 60% and by 20-60%, and the closest to the average from -20 to 20%. The periphery was considered to include those territories where the indicator values were below the national average by more than 60%, by 20-60%, and also those closest to the average from -20 to 20%. The semi-periphery comprised municipalities with



indicators above the national average by 20-60%, while the core – by more than 60%. The dynamics of the studied processes are volatile in nature, which is associated with the new institutional design of the functioning of the state after joining the EU and with the external environment. The territorial structure of socio-economic processes in Lithuania is extremely polarized. The country's largest agglomerations (Vilnius, Kaunas, Klaipeda) and the seaside resort area (Palanga, Neringa) stand out as centers of population and investment attraction. Almost all the rest of the country is a periphery, but rather motley. The degree of peripherization of municipalities depends on the geographical location relative to the main centers, the degree of preservation of and market demand for the Soviet industrial heritage, and the natural and recreational potential. Only 18% of Lithuanian municipalities are characterized by a certain stability or improvement in performance, while 80% of them are subject to varying degrees of peripheralization, especially municipalities along the entire border perimeter.

Keywords: uneven development, Lithuania, core-periphery pattern, EU

Acknowledgements: the authors express their gratitude to F.M. Chernetsky, a laboratory assistant at the Department of Socio-Economic Geography of Foreign Countries, Lomonosov Moscow State University, for his help in preparing maps

For citation: Zinovyev, A.S., Stupin, Yu.A. (2023). Assessment of the uneven socio-economic development of Lithuania in 2004-2019. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 52–70. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-52-70

Введение и постановка проблемы

Последствия глобализации, взрыв популизма, пандемия COVID-19 – эти социально-экономические неурядицы и политические противоречия требуют переосмысления и обсуждения вопроса о генезисе современных пространственных отношений и той роли, которую в них играет неравномерность развития. Проблема неравномерного развития, казалось бы, прошедшая пик своей популярности в конце 1970-х – начале 1980-х гг. (см. например [7; 14]), вновь возвращается и занимает важное место в научных, управленческих и политических дискуссиях [4; 8; 13; 15; 20]. Фундаментальная особенность пространства, признанная в географических исследованиях как неравномерность развития, проявляет себя на различных иерархических уровнях: от глобального до локального. Подобная полимасштабность явления приводит к наложению разноуровневых процессов, что усугубляет качество жизни для определенных сообществ больше, чем для других.

На глобальном уровне И. Валлерстайн сформулировал концепцию мировых систем [1]. Он ввел понятие полупериферии, которая рассматривается как промежуточное звено между ядром и периферией, сочетает в себе черты обоих и эксплуатируется ядром, но при этом эксплуатирует периферию. Полупериферия – наиболее динамичное звено во всей системе, которая обуславливает изменения в территориальной организации в кризисные периоды.

К глобальной полупериферии, в частности, относятся постсоциалистические страны Центрально-Восточной Европы (ЦВЕ), испытавшие на себе сначала последствия резкого перехода от командной экономики к рыночной, а затем, как полноценные участники мировой экономики, и последствия глобальных кризисов. Именно внутри этих стран проблема неравномерного развития остро проявляет себя на региональном и локальном уровнях через процессы поляризации [11]. В частности, страны Балтии демонстрируют крайнюю степень демографической, экономической и социальной поляризации [19]. В этих странах можно наблюдать растущее территориальное неравенство между концентрацией экономического роста и социального развития в столичных центрах и постепенной деградацией уровня и качества жизни в сельской периферии и в старопромышленных районах, где отмечаются деиндустриализация, упадок социальной инфраструктуры и сокращение населения [5]. Политика сплочения Европейского союза (ЕС), которая определила все три балтийских государства в целом как регионы уровня NUTS 2, способствовала «пространственно слепому» подходу к региональной политике, не учитывающей различия местных условий для обеспечения конкурентоспособности территорий [12].

Цель данной статьи – выявить основные тенденции пространственной неравномерности социально-экономического развития Литвы за последние два десятилетия, с момента вступления страны в Европейский союз.

Материалы и методы

В общественно-географических исследованиях не существует единой устоявшейся системы индикаторов, позволяющей комплексно оценивать пространственную неравномерность развития. Так, в известной монографии О.В. Грицай, Г.В. Иоффе и А.И. Трейвиша в качестве основных критериев выделяются: общий уровень экономического развития, степень участия в территориальном разделении труда, отношение к инновационному процессу [2]. Один из авторов «новой экономической географии» Пол Кругман объясняет сложившееся пространственное неравенство наличием конкурентных преимуществ у одних территорий по сравнению с другими. К таковым он относит т.н. факторы «первой природы» (наличие природных ресурсов и географическое положение) и «второй природы» (агломерационный эффект, человеческий капитал, институты). На современном этапе большую значимость приобретают именно факторы «второй природы», т.е. те, которые создаются человеком [9]. Очевидно, что неравномерное развитие – это кумулятивный процесс, имеющий непредсказуемый и нелинейный характер [18]. Его конкретные выражения и географические последствия будут меняться во времени.

Поэтому пространственную неравномерность развития как явление можно изучать с помощью различных показателей, выбор которых зависит от избранной исследователем мировоззренческой установки, подхода, поставленной цели и доступности данных. В данной работе акцент делается на социально-экономической составляющей пространственной неравномерности развития Литвы, что обуславливает выбор индикаторов. Определенные ограничения также вносит доступность данных на муниципальном уровне (LAU 1) в номенклатуре территориальных единиц для целей статистики в ЕС⁶.

За основу была взята методика выделения периферийных территорий, используемая литовским географом Гинтаре Почюте-Серейкене, которая была адаптирована исходя из задач данного исследования [16; 17]. Методически работа состоит из нескольких последовательных аналитических этапов. На предварительном этапе из совокупности доступных на муниципальном уровне статистических данных были отобраны для дальнейшего анализа восемь социально-экономических показателей: коэффициент естественного прироста (убыли), коэффициент механического прироста (убыли), коэффициент демографической нагрузки, уровень безработицы, добавленная стоимость на одного занятого, уровень прямых иностранных инвестиций на одного жителя, площадь введенных в действие новых жилых домов, стоимость 1 акра земли под жилую застройку.

Задачей следующего этапа являлось выявление динамики отобранных статистических показателей после вступления Литвы в ЕС в разрезе 60 муниципальных образований⁷. Чтобы показать произошедшие изменения за этот период, оценивалась скорость динамики показателей за пятнадцатилетний период с 2004 по 2019 г.⁸ Анализ производился по трем реперным точкам: год вступления в ЕС – 2004; год проведения переписи населения, а также первый год после восстановления экономики страны от последствий мирового кризиса 2008–2009 гг. – 2011; последний год до социально-экономических потрясений, связанных с пандемией COVID-19, – 2019⁹.

⁶ Значительная часть социально-экономической статистики по Литве после вступления в ЕС аккумулируется на уровне NUTS 3, который делит страну на 10 укрупненных территориальных единиц, бывших до 2010 г. уездами.

⁷ Источником всей статистической информации является официальный портал Государственного агентства по статистике Литвы (<https://osp.stat.gov.lt/>). Данные по стоимости 1 акра земли под жилую застройку взяты из отчетов Государственного предприятия «Центр регистров» (<https://www.registrucentras.lt/>)

⁸ За исключением показателя стоимости 1 акра земли под жилую застройку, в силу отсутствия полных данных, анализировалась средняя за период 2015–2019 гг. цена.

⁹ При отсутствии показателей на указанные годы они были взяты максимально приближенными к этим датам

В указанный период действовало постановление Правительства Литвы №428 от 8 апреля 2003 г.¹⁰, в соответствии с которым вводился критерий выделения проблемных территорий, требующих применения особых инструментов поддержки. Согласно постановлению этот критерий устанавливался для ряда социально-экономических показателей, стандартное отклонение которых от среднего уровня по стране было ниже на более чем 60%. Это побудило авторов использовать схожую методику и рассчитать стандартное отклонение выбранных показателей муниципалитетов от среднего по стране с разбивкой на пять групп: превышающих более чем на 60% и на 20–60%, пониженных более чем на 60% и на 20–60%, наиболее близких к среднему от -20 до 20%.

На завершающем этапе оценивались тенденции изменений рассматриваемых показателей по временным промежуткам 2004–2011 гг. и 2011–2019 гг. После оценки трендов социально-экономической динамики и в зависимости от стабильности отнесения к той или иной группе муниципалитеты были разделены на три категории: центральные, полупериферийные и периферийные. Периферийными считались территории разной степени интенсивности негативной динамики – не только те, где значения показателей были ниже среднего по стране более чем на 60%, но и муниципальные образования, значения показателей которых попали в группы ниже среднего на 20–60%, а также наиболее близкие к среднему от -20 до 20%. К полупериферии отнесены самоуправления с показателями, которые стабильно выше средних по стране на 20–60%, а центральными признавались те, чьи показатели более чем на 60% превышали среднестрановой уровень. Наиболее объективными индикаторами процессов централизации/периферизации выступают демографические показатели, демонстрирующие устойчивость трендов в разрезе муниципалитетов, в то время как экономические показатели изменяются во времени под влиянием особенностей политики государства и внешней конъюнктуры, что позволяет уточнить субъективные причины выявляемых тенденций.

Результаты исследования

Ключевые тренды социально-экономического развития Литвы

Вступление Литвы в ЕС и первые 15 лет её пребывания в его составе с точки зрения социально-экономических изменений были неоднозначными, чередовались периоды подъема и спада, связанные с изменением институциональных рамок и внешней конъюнктуры.

Показатели, характеризующие демографическую ситуацию, в основном демонстрируют негативные тенденции (см. рис.1). Обращаясь к анализу динамики численности населения Литвы с 2004 г., мы можем обратить внимание на стремительное ее сокращение, вызванное значительным оттоком населения в более благополучные в социально-экономическом отношении страны ЕС. Результатом этих процессов стало снижение численности населения Литвы на без малого 18%. Однако причины сокращения населения в центрах и на периферии могут различаться. В крупных городах и их агломерационных зонах это прежде всего связано с эмиграцией и субурбанизацией. На периферии ключевыми причинами депопуляции являются низкая рождаемость и повышенный миграционный отток как за рубеж, так и в главные центры страны. Впрочем, депопуляция в Литве – не уникальное явление, а скорее является частью общего тренда в странах ЦВЕ [3].

На протяжении всего изучаемого периода в Литве наблюдается естественная убыль населения, усилившаяся в первые годы после вступления в ЕС (падение до -4,8‰ в 2007 г.), однако впоследствии стабилизировавшаяся на уровне -3,5 – -4,0‰.

Показатели нетто-миграции довольно волатильны в эти 15 лет. Интенсивный эмиграционный процесс стартовал в стране сразу после обретения независимости, оставаясь практически на протяжении всего времени отрицательным, чередуя бурные волны отъезда (-24,8‰ в 2010 г.) из Литвы с более стабильными промежутками. Впрочем, с 2018 г. намети-

¹⁰ Утратило силу 21.12.2021.

лась пусть и незначительная, но положительная динамика нетто-миграции, что объясняется как возвращением не адаптировавшихся в странах Западной и Северной Европы литовцев, так и замещающим высвободившиеся рабочие места притоком белорусов и украинцев.

Подобная ситуация с естественным и механическим движением не могла не привести к проблеме старения населения, что для ряда территорий на северо-востоке и юге страны стало настоящей демографической катастрофой. Коэффициент демографической нагрузки с 2004 по 2019 г. вырос в 1,5 раза. Количество лиц старше 65 лет на 100 детей младше 15 лет составляет 131 чел. в среднем по Литве.

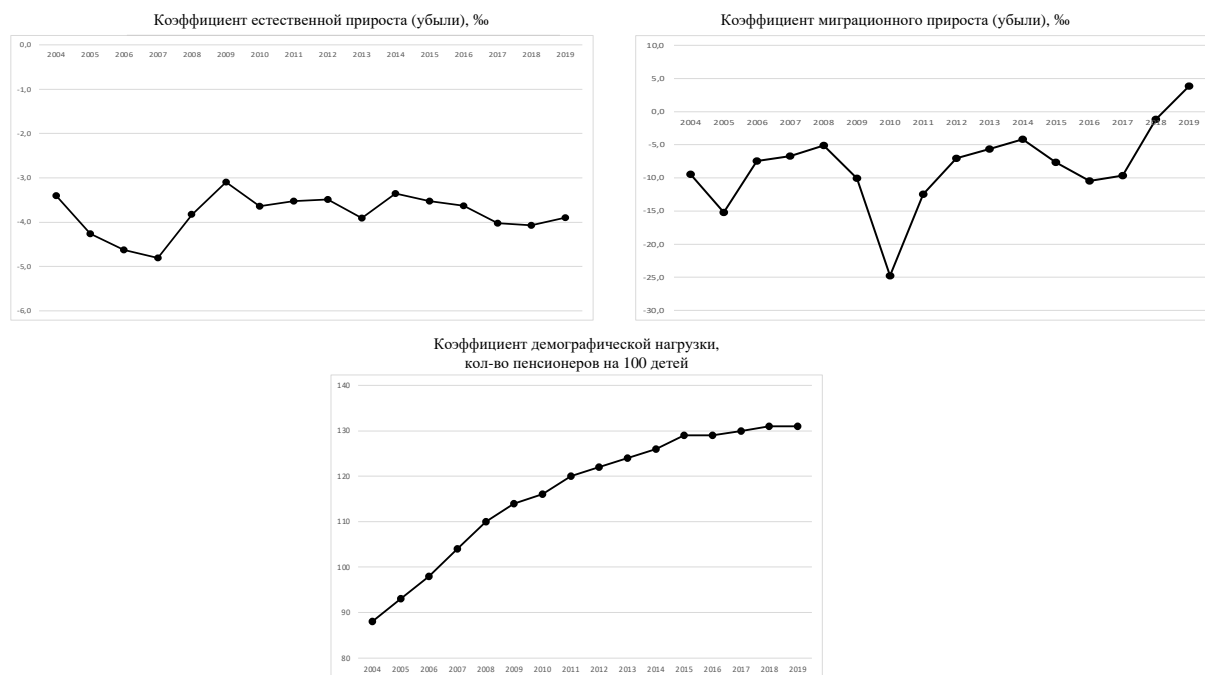


Рис. 1. Динамика основных демографических показателей Литвы после вступления в ЕС

Fig.1. Lithuania's main demographic indicators dynamics after accession to the EU

Перенос акцент на экономические изменения, следует подчеркнуть, что по анализируемым показателям отмечен устойчивый рост, в первую очередь, за счет уровня прямых иностранных инвестиций и добавленной стоимости, создаваемой занятым населением (см. рис. 2). Между тем динамика показателей безработицы и ввода новых жилых домов была крайне чувствительна к бурно меняющейся экономической конъюнктуре.

Кривая безработицы показывает минимальные значения этого показателя для Литвы на уровне 3–4% накануне мирового кризиса 2008–2009 гг. Затем следуют резкий рост до 15,9% в 2010 г. и дальнейшее восстановительное снижение до 8–8,5%, что схоже с уровнем середины 1990-х гг.

За 15 лет в 6,5 раз увеличился общий приток иностранных инвестиций в Литву с 1152 евро на одного жителя в 2004 г. до 7405 евро на одного жителя в 2019 г. Учитывая рассмотренные выше демографические тренды, можно предположить, что подушевое увеличение инвестиций может быть связано с уменьшением численности населения. Однако, несмотря на это, сумма вложенных денег и количество инвесторов продолжают увеличиваться.

Положительный рост отмечен и при анализе добавленной стоимости, создаваемой занятым населением. За исследуемый период значения выросли почти в 3 раза: в 2004 г. добавленная стоимость, созданная занятым населением, составляла 6 тыс. евро в расчете на одного жителя, тогда как в 2019 г. средний уровень этого показателя по стране достигал 17,4 тыс. евро.

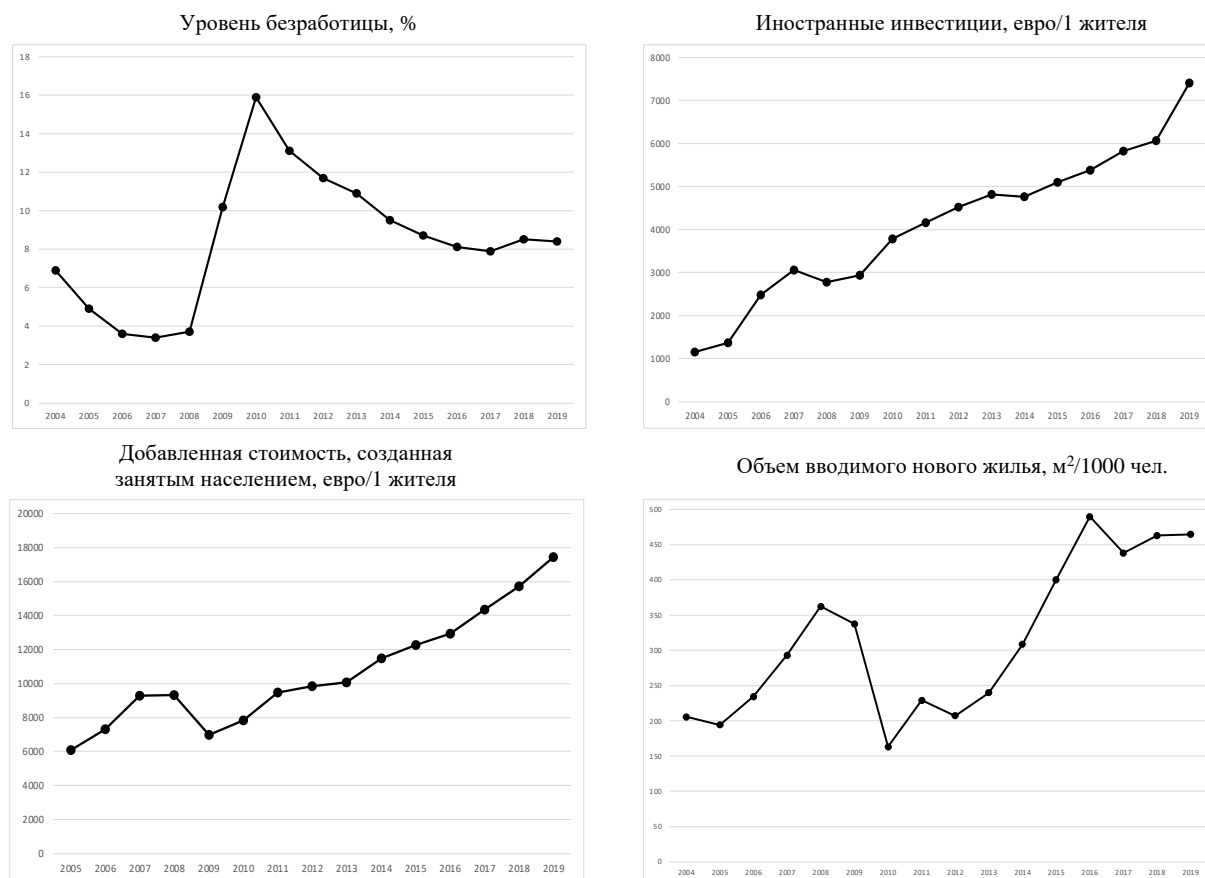


Рис. 2. Динамика основных экономических показателей Литвы после вступления в ЕС
Fig.2 Lithuania's main economic indicators dynamics after accession to the EU

Динамика ввода нового жилья также, как безработица, реагирует на мировой экономический кризис, ярко проявивший себя именно в сфере жилищного девелопмента. Строительный бум 2007–2009 гг. сменился откатом к показателям рубежа XX и XXI вв. (163,1 м² на 1000 чел. в 2010 г.), но затем вырос почти в 3 раза (464,4 м² на 1000 чел. в 2019 г.).

Неравномерность демографического развития

Динамика естественной убыли населения является значимой составляющей депопуляционных процессов в Литве. Различия между этим показателем в отдельных муниципальных образованиях весьма значительны: значения лучших и худших показателей могут отличаться почти в 4 раза, как, например, в 2011 г. между Нерингой (5,8‰) и Игналинским муниципалитетом (-17‰).

Ситуация с естественным движением населения в муниципалитетах Литвы ухудшается (см. рис.3). В течение всего рассматриваемого периода стабильно положительные или близкие к нулю значения показывали лишь 3 муниципалитета (Вильнюс, Неринга и Клайпедское районное самоуправление). 21 муниципальное образование постоянно входило в группу со сниженным более чем на 60% от среднего значения по стране (Ширвинтское, Швенченское, Укмергское, Алитусское районное, Лаздайское, Варенское, Бирштонас, Кайшядорисское, Пренайское, Расейняйское, Биржяйское, Купишкисское, Акмянское, Юрбаркасское, Аникшяйское, Игналинское, Молетское, Утинское и Зарасайское). Заметный нисходящий тренд продемонстрировали 10 муниципалитетов: три из них (это городские самоуправления) – русскоязычный, бывший город-спутник АЭС Висагинас, а также Алитус и Паневежис, еще четыре муниципалитета на западе страны (Шилутский, Скуодасский, Ретавский и Тельшяй-

ский) и по одному на юго-западе (Казлу-Рудский), в центре (Кедайняйский) и на севере (Йонишкисский). Остальные муниципалитеты значимо не меняют наметившийся негативный тренд.

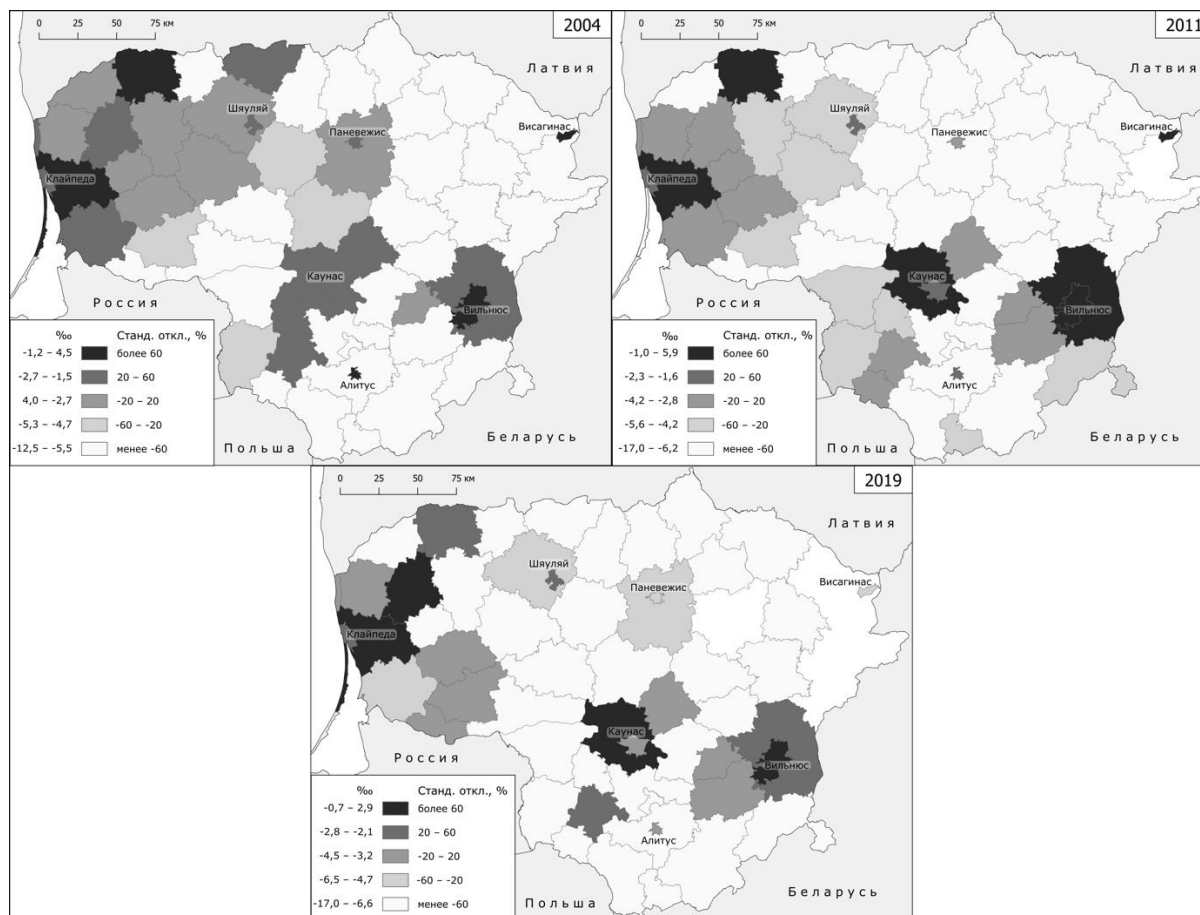


Рис. 3. Коэффициент естественного прироста (убыли) по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.

Fig.3 Population natural increase (loss) rate in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

Выявились следующие территориальные различия: крупнейшие города Литвы, их хинтерланды, а также муниципалитеты Западной Литвы имеют наилучшие показатели естественного движения населения. Наибольшая убыль наблюдается на северо-востоке, юге и юго-западе страны.

В связи с практически повсеместной естественной убылью важное значение приобретает миграция, поскольку таким образом она во многом определяет степень периферийности территории. Показатель нетто-миграции и его изменение во многом позволяют наметить тенденции регионального развития, так как в основном вымываются молодые когорты трудоспособных жителей, создавая дефицит рабочей силы.

Основная отмечаемая тенденция в динамике муниципалитетов по данному показателю – это нарастающая поляризация, поскольку большая часть самоуправлений стремится в наиболее отстающую группу, а меньшая – в самую привлекательную для мигрантов (см. рис.4). Средние группы в основном выступают как транзитные на пути к одному из полюсов.

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

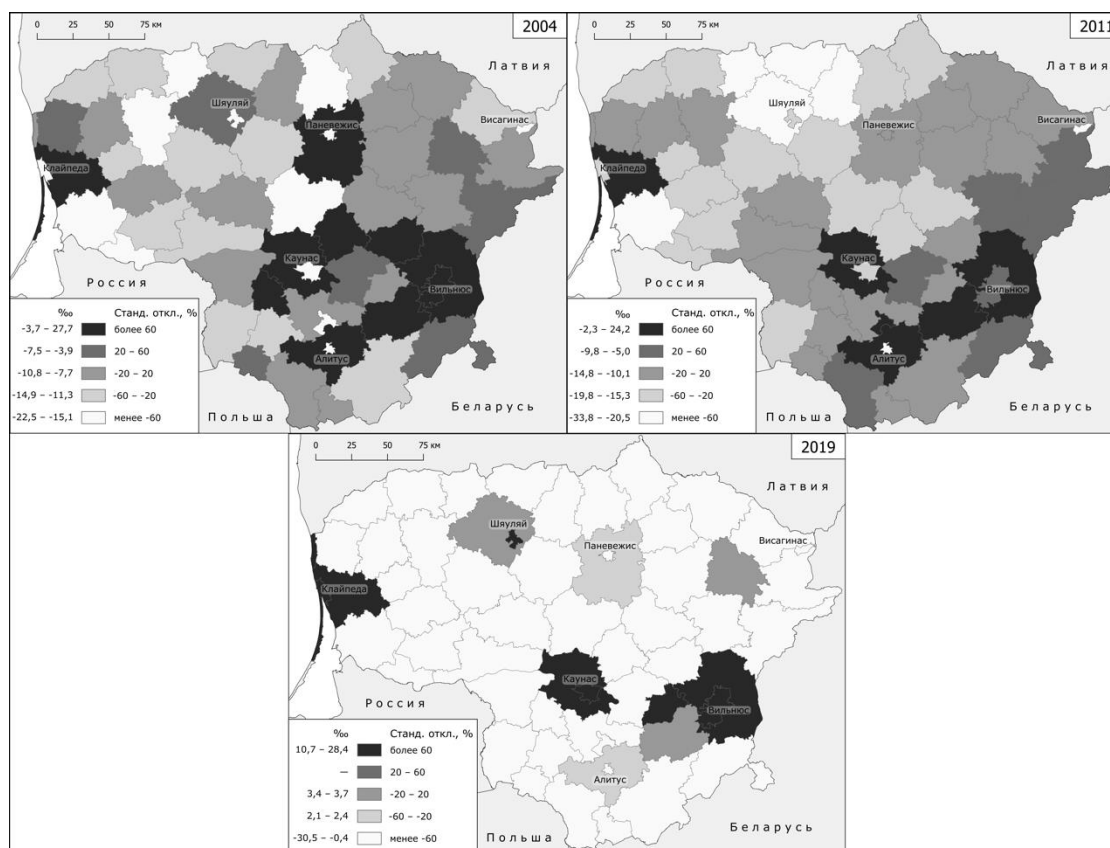


Рис. 4. Коэффициент миграционного прироста (убыли) по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.

Fig.4 Migration gain (loss) rate in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

В течение выбранных для анализа 15 лет устойчивые позиции в лидирующей группе сохраняли лишь четыре муниципалитета: пригородные Вильнюсский, Каунасский и Клайпедский, а также имеющая льготный налоговый режим Неринга на Куршской косе. Показатели большинства самоуправлений снижались. Наиболее стремительное падение продемонстрировали Ширвинтский, Йонавский и Казлу-Рудский муниципалитеты. Стабильно быстро теряли население в этот период Алитус, Висагинас, Шилутский и Акмянский муниципалитеты. Крупные города, такие как Каунас, Клайпеда и Шяуляй, из доноров международной миграции в начале периода превратились в реципиентов внутренней миграции и благодаря этому сменили отрицательные значения показателя на положительные.

Зональные различия по данному показателю как таковые не прослеживаются, однако четко видны ареалы субурбанизации и курортные города, выступающие как магниты для жителей крупнейших городов.

Помимо убыли населения важной особенностью сжимающихся территорий является старение населения. Территориальные различия в старении населения Литвы также велики (см. рис. 5). Самые высокие показатели демографической нагрузки наблюдаются на северо-востоке и юге Литвы, которые, как отмечалось ранее, являются наиболее депопулирующими районами страны. В ряде муниципалитетов старшие возрастные когорты составляют более четверти населения (Игналинский – 27,7%, Аникщяйский – 26,9%, Зарасайский – 25,3%).

Группа с близкими к средним показателям по стране доминировала на протяжении всего периода. В разные годы в нее входило от 26 до 38 муниципалитетов. В группу муниципалитетов, превышающих среднестрановой показатель на 60% и более, за 15 лет не попало ни одно самоуправление. Лишь небольшое количество муниципалитетов входило в самую худшую группу, в течение анализируемого периода на постоянной основе в неё входил только Игналинский муниципалитет, где в 2019 г. на 100 детей приходится 251 чел. пенсионного

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

возраста. Наиболее негативную динамику продемонстрировал Алитус, где число пенсионеров на 100 детей выросло в 4 раза за 15 лет.

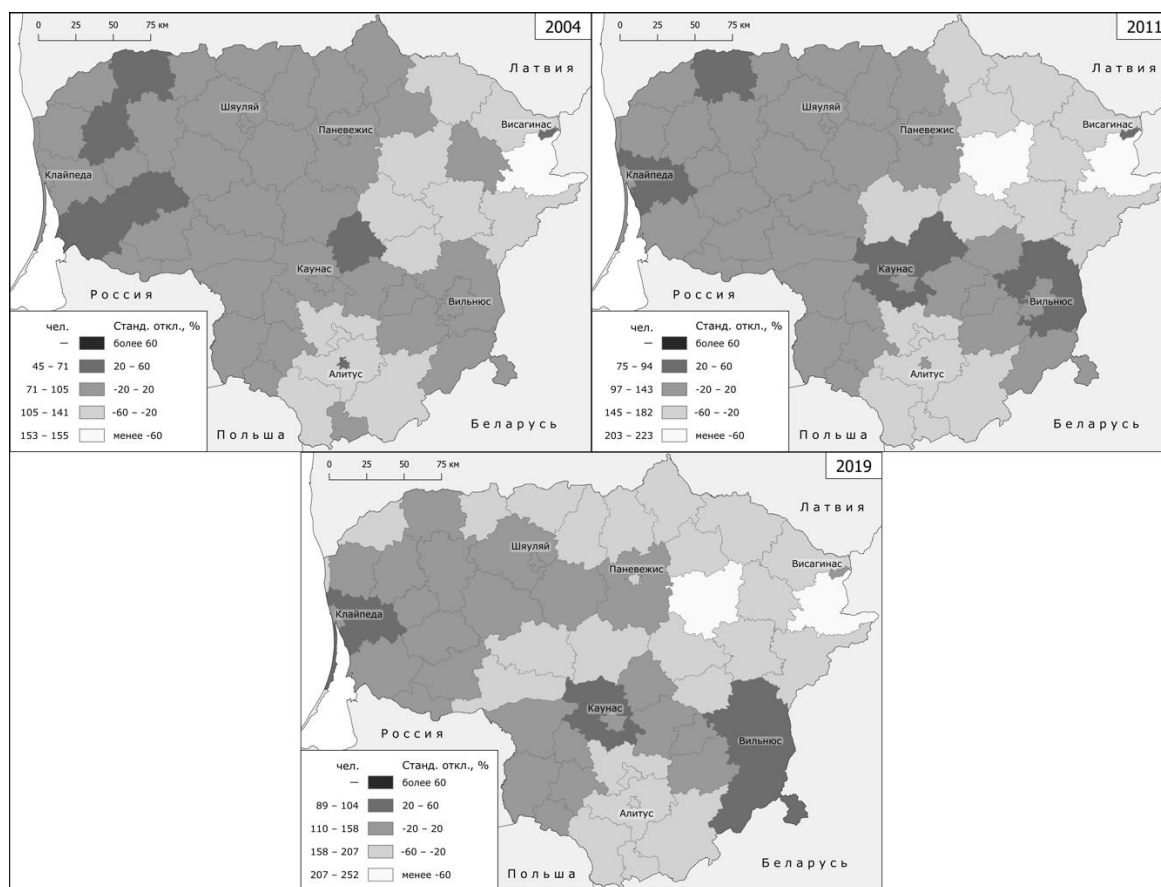


Рис. 5. Коэффициент демографической нагрузки по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.
Fig.5 Demographic load coefficient in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

Обобщая демографическую ситуацию в Литве, можно выделить очаги муниципалитетов, образующих центры притяжения населения: это крупнейшие города страны за исключением Паневежиса, муниципалитеты в их агломерационной зоне и курортные города (Паланга, Неринга). Вся остальная территория страны находится в демографической яме, наиболее неблагоприятная демографическая ситуация отмечается в Акмянском, Биржайском, Игналинском и Аникшчяйском муниципалитетах.

Неравномерность экономического развития

Значительные скачки уровня безработицы связаны с последствиями мирового экономического кризиса 2008–2009 гг. и последовавшего за ним восстановительного экономического подъема. Рекордно низкое значение уровня безработицы было зафиксировано накануне кризиса в 2007 г. – 3,4%, пик же пришелся на 2010 г. – 15,9%. Впоследствии безработица стабилизировалась на уровне примерно 8%. Наибольшая доля муниципальных образований в рассматриваемый период была отнесена к группе со значениями наиболее близкими к среднему по стране (см. рис. 6). На эту группу приходилось 30% (18 муниципалитетов в 2004 г.), 68% (41 муниципалитет в 2011 г.), 53% (32 муниципалитета в 2019 г.), что свидетельствует о том, что тенденции изменения уровня безработицы в муниципальных образованиях тесно связаны с общей ситуацией в стране. Анализ показал, что муниципальных образований с очень большим положительным отклонением от среднего практически нет, только в 2004 г. два муниципалитета (Тракайский и Электренайский) отличались самыми низкими значениями

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

ми показателя уровня безработицы, который не превышал 2,5%, тогда как в то время в среднем по Литве он составлял 6,9%. На противоположном полюсе размер группы наиболее отставших самоуправлений колебался от 17 (2004 г.) до 2 (2019 г.) муниципалитетов. В 2011 таких самоуправлений, где уровень безработицы был бы на 60% выше, чем в среднем по стране, вовсе не было.

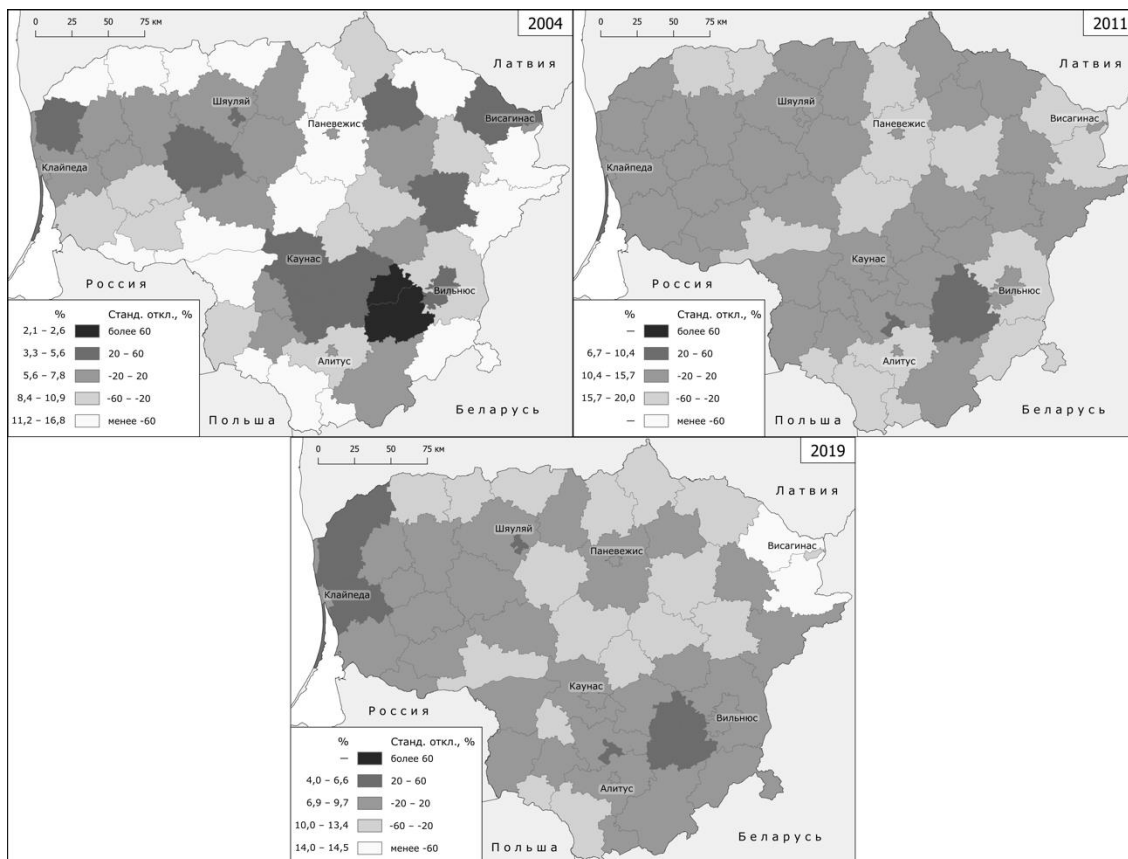


Рис. 6. Уровень безработицы по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.

Fig.6 Unemployment rate in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

Ухудшение ситуации было наиболее заметно в Зарасайском муниципалитете, а также в Купишкисском и Молетском самоуправлениях. Обратный процесс позитивной динамики уровня безработицы был характерен во многом для периферийных муниципалитетов, где велик отток населения, а в составе населения преобладают пенсионеры, исходя из чего количество безработных стало сокращаться.

Наиболее напряженная ситуация с безработицей наблюдается по всему периметру приграничных муниципалитетов (17 из 23 имеют показатели ниже средних по Литве), а также в ряде самоуправлений в центре страны. Низкий уровень безработицы отмечается в курортных городских самоуправлениях Бирштонаса и Неринги, а также во входящих в агломерационную зону крупнейших городов страны Кретингском, Тракайском, Электренайском муниципалитетах и в Шяуляе.

Распределение прямых иностранных инвестиций по стране крайне неравномерно и поляризовано: некоторые самоуправления (Вильнюс, Клайпеда и Мажейкяйский муниципалитет) концентрируют львиную долю инвестиций, в то время как другие самоуправления (Бирштонас, Шилальский, Ретавасский муниципалитеты и др.) не получали инвестиций несколько лет или сумма вложений была небольшой. На объемы прямых иностранных инвестиций в муниципалитеты напрямую влияло наличие актуальных для современного этапа развития мировой экономики промышленных предприятий. При расчете отклонения от

Экономическая, социальная и политическая география
 Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

среднего большинство (около 90%) муниципальных образований вошли в отстающие от средних значений по стране группы. Лишь небольшая часть муниципалитетов – в основном крупные города – были привлекательны для иностранных компаний (см. рис.7).

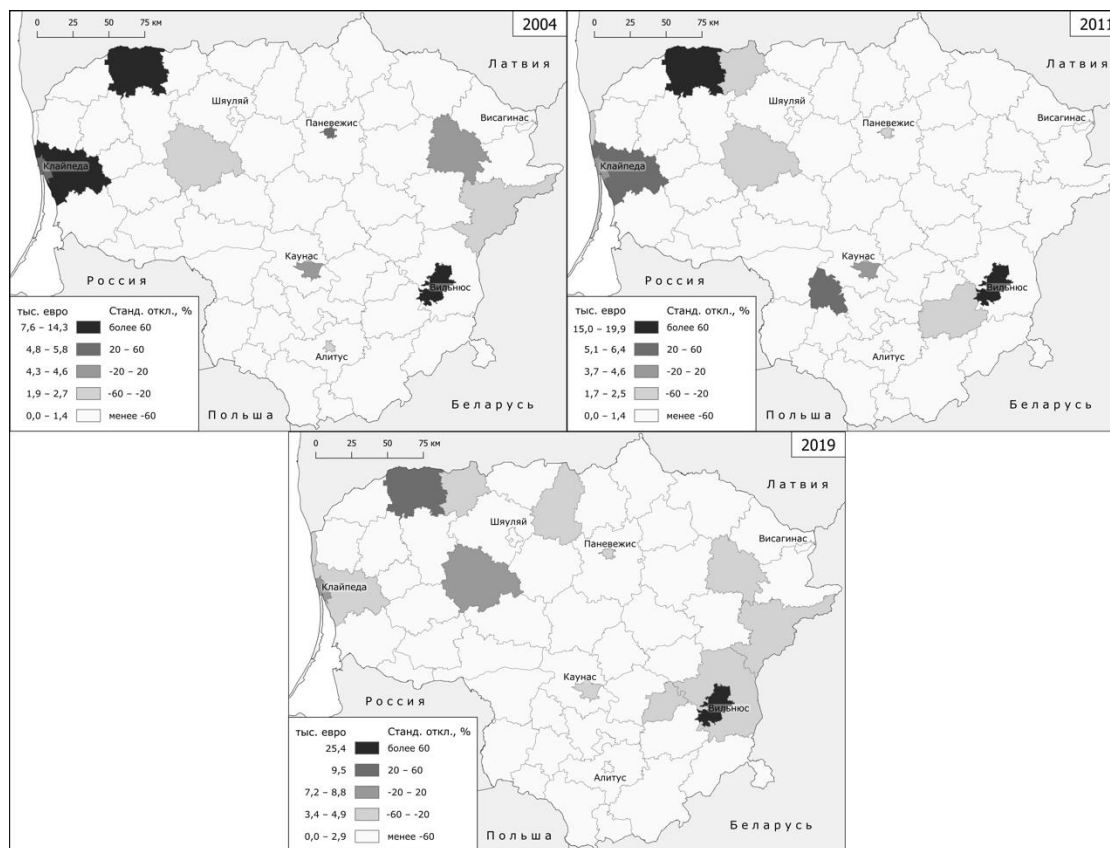


Рис. 7. Уровень прямых иностранных инвестиций в расчете на одного жителя по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.

Fig.7 Level of foreign direct investment per inhabitant in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

Более 40 муниципалитетов стабильно на протяжении всего изучаемого периода оставались в группе отстающих более чем на 60% от средних показателей по Литве. В большинстве муниципальных образований, входящих в эту группу, объемы прямых иностранных инвестиций увеличились, но не так значительно, как в ведущих муниципалитетах-реципиентах, которые повысили средний показатель по стране. Однако были муниципалитеты, где приток прямых иностранных инвестиций уменьшился (например, Паневежис, Клайпедское районное самоуправление).

По результатам анализа добавленной стоимости, созданной занятым населением, доминируют группы, относящиеся к отстающим от среднего по стране показателя – около 80% (см. рис.8). Наибольшую добавленную стоимость вносят работники Вильнюса, Каунаса, Клайпеды, Мажейкяйского и Клайпедского районного муниципалитетов. Наиболее близкая к среднестрановым показателям группа в рассматриваемый период содержала 6–7 муниципалитетов, в основном городские самоуправления.

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

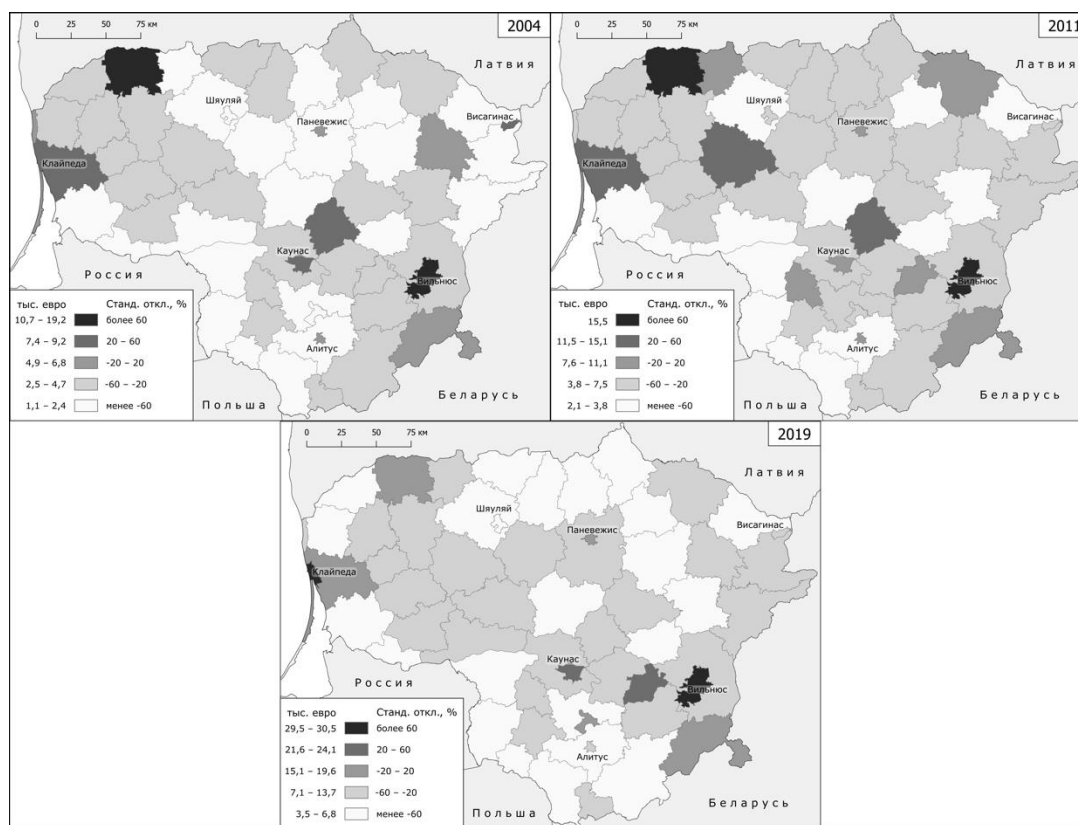


Рис. 8. Уровень добавленной стоимости, созданный занятым населением, в расчете на одного жителя по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011, 2019 гг.

Fig.8. Added value created by employed population per inhabitant in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, 2019

Заметные позитивные изменения произошли в Электренайском муниципалитете и, напротив, негативная динамика отмечена в Йонавском самоуправлении, Висагинасе и в Мажекяйском муниципалитете. Остальные муниципальные образования принципиально не меняли своего положения.

Большинство муниципалитетов производят объем добавленной стоимости ниже среднего по Литве, в положительную сторону выделяются лишь крупнейшие города, курорты и крупные промышленные центры.

Уровень ввода нового жилищного строительства свидетельствует о привлекательности муниципального образования для жителей страны и перспективах для девелоперов.

Ускоренный рост жилищного строительства наблюдается в пригородных районах крупнейших городов в результате субурбанизационных процессов (Вильнюсский, Каунасский, Клайпедский, Тракайский), а также в столице страны Вильнюсе и приморском курорте Паланге (см. рис. 9). При этом для большинства остальных муниципальных образований страны характерны низкие значения показателя, особенно для приграничных.

Ввод нового жилья дополним анализом значения показателя стоимости земли в селитебных зонах. Картосхема, показывающая разницу в стоимости земли под жилую застройку, коррелирует с картосхемами, на которых показан объем нового жилищного строительства. Самые дорогие земли под жилую застройку были в муниципальных образованиях, наиболее привлекательных для покупателей и девелоперов (см. рис. 10).

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

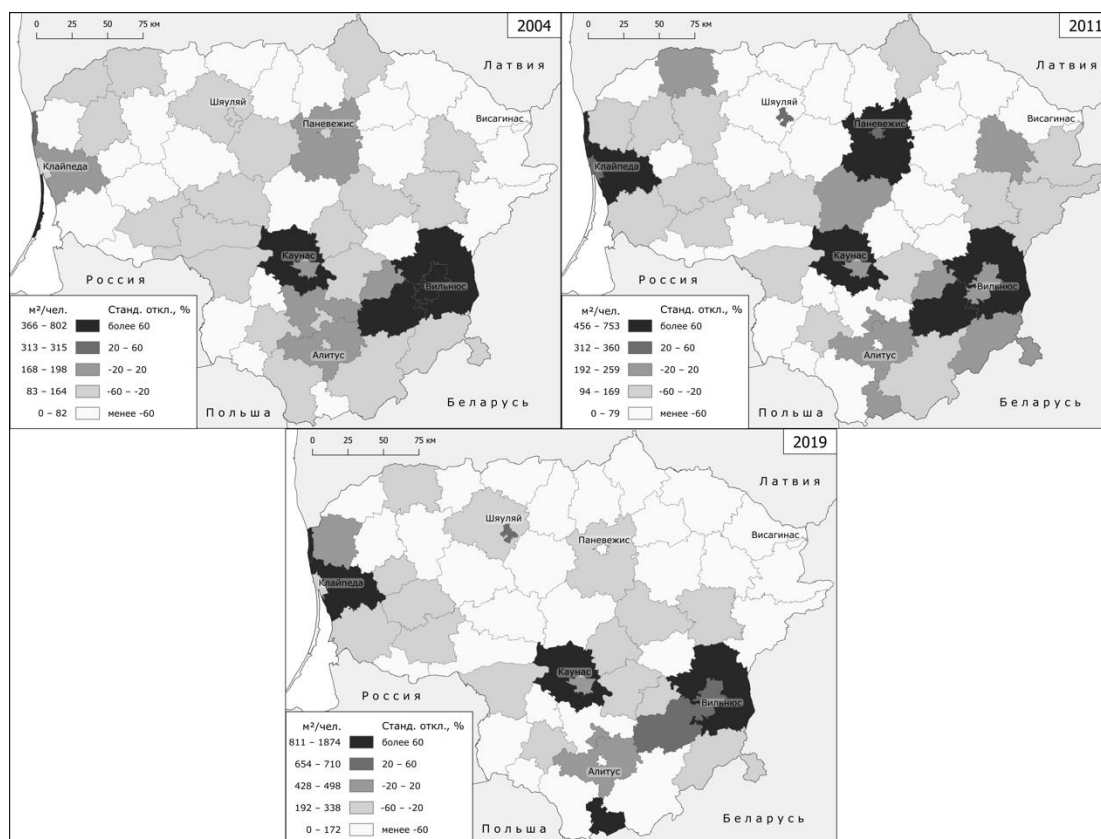


Рис. 9. Площадь вводимого нового жилья в расчете на одного жителя по муниципалитетам Литвы в 2004, 2011 и 2019 гг.

Fig.9 Area of new housing commissioned per inhabitant in Lithuanian municipalities in 2004, 2011, and 2019

Более половины муниципальных образований оказались в группе, где стоимость 1 акра земли под жилую застройку составляет ниже среднестрановой более чем на 60%. В этих самоуправлениях земля под жилую застройку оценивается до 272 евро, что более чем в 19 раз ниже стоимости земли в самом дорогом самоуправлении страны Вильнюсе. 20% самоуправлений имеют значения выше среднего по Литве, но и среди них имеются существенные различия: средняя цена за акр земли под жилую застройку у 7 муниципалитетов находится в диапазоне 1500–2000 евро, а еще у 4 самоуправлений (Вильнюс, Каунас, Клайпеда и Паланга) – 4200–5200 евро за акр. Данные по муниципалитету Неринги за 2015–2019 гг. отсутствуют в связи с тем, что сделки с землей под жилую застройку на территории национального парка, находящегося под защитой ЮНЕСКО, в этот период не осуществлялось. Но можно предположить, что курортное самоуправление Неринга входит в категорию наиболее дорогих муниципалитетов по стоимости акра земли под жилую застройку.

Муниципалитеты крупнейших городов, субурбанизированные пригородные районы вокруг них и курортные зоны значимо выделяются с точки зрения стоимости земли под жилую застройку.

По экономическим показателям большая часть Литвы демонстрирует периферийные тенденции. Только крупнейшие города (Вильнюс, Каунас, Клайпеда) и тяготеющие к ним муниципалитеты, а также курортные Паланга и Неринга выделяются на общем фоне как центры роста. В этих самоуправлениях значения большинства экономических показателей превышали средние по стране.

Наибольшая экономическая периферизация была характерна для северных, северо-восточных, южных и юго-западных частей страны и некоторых муниципалитетов Центральной Литвы. По большинству экономических показателей эти муниципалитеты входят в наиболее отстающую от среднего по стране группу.

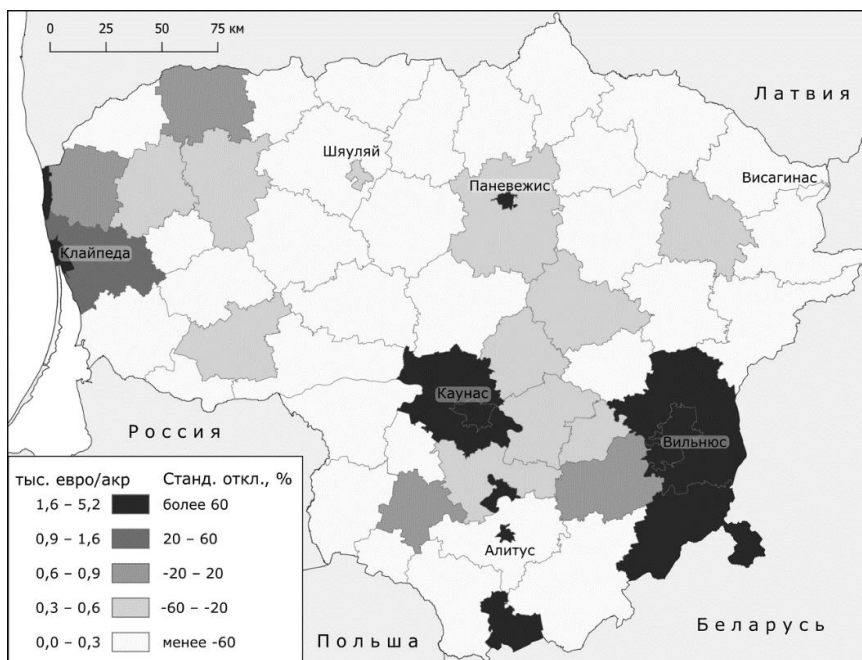


Рис. 10. Средняя стоимость 1 акра земли под жилую застройку по муниципалитетам Литвы в 2005–2019 гг.

Fig. 10. Average cost of 1 acre of land for residential development in Lithuanian municipalities in 2005–2019

Центр-периферийная социально-экономическая структура

Проведенный анализ ключевых демографических и экономических показателей позволяет нам обобщить тенденции неравномерного пространственного развития в Литве (рис. 11).

Ядром центр-периферийной системы Литвы, безусловно, являются три главных города страны (Вильнюс, Каунас и Клайпеда), а также окружающие их районы, подверженные типичным для пригородов процессам субурбанизации, переноса или открытия ряда современных производств в расположенных там свободных экономических зонах. Если в случае Каунаса и Клайпеды речь идет только о пригородных Каунасском и Клайпедском районных муниципалитетах, то гравитационное поле Вильнюса как крупнейшего, со всех точек зрения, центра распространяется не только на Вильнюсский, но и на находящиеся на главной транспортной артерии страны трассе А1 Тракайский и Электренайский муниципалитеты, обладающие значимым туристско-рекреационным и историко-культурным потенциалом. Кроме того, в г. Электренай находится построенная в 1962 г. теплоэлектростанция, ставшая после закрытия Игналинской АЭС основным производителем электроэнергии в стране.

Эти самоуправления не только наиболее конкурентоспособны в общенациональном масштабе, но и привлекательны для иностранных инвесторов, отличаются относительно благоприятным социально-экономическим положением, способны поддерживать демографический баланс.

Другим отчетливо выделяющимся полюсом стабильности в Литве являются приморские курорты Неринга и Паланга. Движущей силой их развития является обслуживание массового потока туристов со всей Европы. В последнее десятилетие Неринга и Паланга стали центрами притяжения мигрантов во многом благодаря высокому уровню качества жизни. И если Паланга – это классический пример места, куда переселяются вышедшие на пенсию обеспеченные жители крупнейших городов, то население Неринги во многом растет фиктивно за счет покупки недвижимости и перерегистрации по новому адресу молодых и успешных жителей страны. Причиной популярности Неринги является набор фискальных и социальных льгот для зарегистрированных там граждан.

Экономическая, социальная и политическая география
 Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

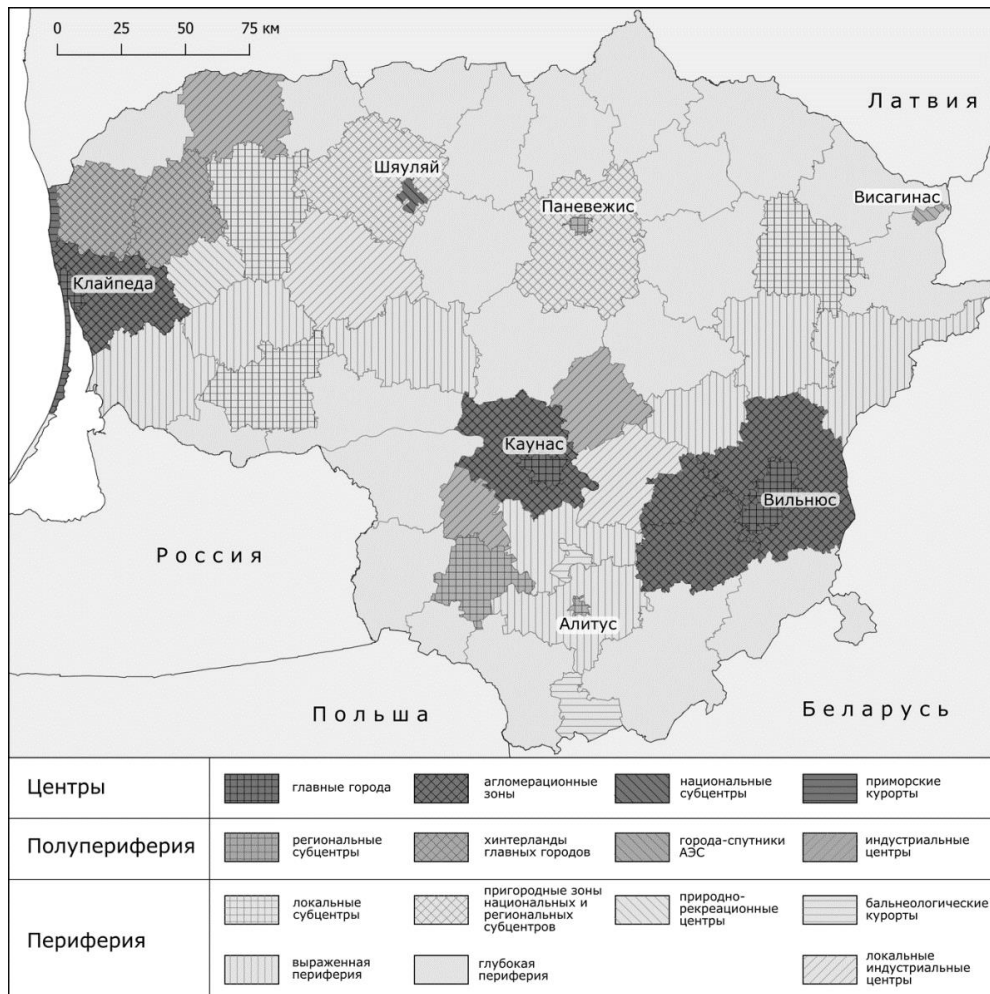


Рис.11. Интегральная типология неравномерного социально-экономического развития муниципалитетов Литвы
 Fig. 11. Integral typology of the uneven socio-economic development of Lithuanian municipalities

Шяуляй также характеризуется достаточно высокими значениями показателей, тем не менее его можно считать национальным субцентром притяжения, обслуживающим периферию. В советский период истории этот город был важным промышленным центром, однако после восстановления независимости Литвы потерял былое значение и не смог поддерживать стабильное демографическое и социально-экономическое положение.

Полупериферия представляет собой географически пеструю группу муниципалитетов, отличающихся факторами, определяющих тренды их развития. Важными региональными центрами обслуживания и производства на юге Литвы являются бывшие уездные центры Алитус и Мариямполь, а на севере – Паневежис, отличающиеся низкой степенью периферизации.

Индикатором, позволившим отнести муниципалитеты к полупериферии, является успешно функционирующая промышленность, что благоприятно сказывается на демографической и экономической ситуациях. Наиболее благополучным самоуправлением является Мажейкяйское, где в одноименном административном центре расположен нефтеперерабатывающий завод. Другим примером муниципалитета с доминирующим предприятием является Йонавский – центр производства азотных удобрений. Казлу-Рудское самоуправление было образовано лишь в 2000 г. из части территорий Мариямпольского и Шакайского муниципалитетов и не имеет на своей территории крупного предприятия. Исторически преобладающей отраслью специализации муниципального образования является деревообработка и смежные с ней виды деятельности. Таким образом, эти муниципалитеты имеют из недавнего

советского прошлого достаточный инфраструктурный потенциал и человеческий капитал, который, несмотря на произошедшую девальвацию, все еще является ресурсом локального развития. Сочетание факторов прежнего багажа и пространственной позиции (близости к крупным центрам, оживленным участкам государственной границы и главным транспортным артериям) позволяет этим территориям «держаться на плаву».

Близостью к более развитым приморским территориям на западе страны воспользовались Кретингский и Плунгеский муниципалитеты.

Расположенный на северо-востоке страны г. Висагинас, построенный в конце 1970-х гг. как место проживания сотрудников Игналинской АЭС и их семей, разительно отличается от окружающей его преимущественно сельской периферии. Во-первых, этническим составом населения (преобладают русскоязычные), во-вторых, уровнем развития человеческого капитала (находящаяся в процессе консервации Игналинская АЭС – до сих пор крупнейший работодатель, около 2000 сотрудников), в-третьих, более молодым населением и, как следствие, повышенным естественным приростом. Однако миграционный отток, как и в соседних периферийных муниципалитетах, находится на крайне высоком уровне. За рассматриваемый период численность населения города сократилась на 20% и, в первую очередь, за счет молодых когорт населения. Усилившиеся в XXI в. тенденции периферизации Висагинаса связаны с закрытием Игналинской АЭС, что сопровождается попытками привлечения иностранных инвесторов на высвободившиеся производственные мощности и специальными программами помощи ЕС. Тем не менее эти попытки не могут в полной мере восстановить прежний объем рынка труда, что, вероятно, приведет к дальнейшему сокращению численности населения.

В Литве выделяется довольно обширная периферия (более 2/3 муниципалитетов), которой свойственны черты экономической стагнации, безработицы, оттока и старения населения.

Качественной дифференциации поддается лишь территории с умеренными чертами периферии, которая включает в себя уже упоминавшиеся выше типы территорий. Это пригородные зоны больших городов, которые не обладают столь мощным гравитационным полем влияния, но подверженные схожим тенденциям, характерным для хинтерландов, однако с меньшим масштабом явления. Речь идет о Шяуляйском и Паневежисском районных муниципалитетах.

Похожая ситуация складывается в бывших уездных центрах – Утена, Тельшяй и Таураге, остающихся локальными центрами обслуживания для окружающих территорий.

Бальнеологические курорты в южной части страны Бирштонас и Друскининкай менее популярны, чем приморские курорты, но тем не менее рекреационная специализация позволяет им избегать проблем с безработицей. Впрочем, демографическая структура населения имеет перекося в сторону старших возрастных групп.

Кедайняйское и Кайшядорское самоуправления имеют выгодное транспортно-географическое положение на ключевых республиканских магистралях недалеко от крупнейших агломерационных центров страны, что позволяет им не столь быстро стагнировать и развивать устойчивые промышленные производства. Так, в Кедайняйском муниципалитете функционируют построенное еще в советские годы предприятие по производству фосфатных удобрений и современный кластер пищевого производства. Кайшядорский муниципалитет расположен на основной автостраде А1 и находится в непосредственной близости от Каунаса, что предопределило пригородную ориентацию хозяйства (две крупных птицефабрики, производство домов, мебели и т.д.).

Ретавский муниципалитет вернул себе административный статус в 2000 г., выделившись из состава Плунгеского самоуправления, и по аналогии с ним использует выгоды соседства с успешными приморскими муниципалитетами, параллельно осваивая природно-рекреационные ресурсы (туризм, сельское и лесное хозяйство).

Территории с выраженными чертами периферии имеют три ареала распространения: восточный (Молетский, Ширвинтский и Швянченский муниципалитеты), южный (Алитусский районный и Пренайский муниципалитеты); западный (Расеняйский, Шилутский и Шилалский муниципалитеты). Территории глубокой периферии распространены повсеместно, но наиболее депрессивными являются приграничные самоуправления. Но в данном случае периферизация выражается не только в пространственном аспекте удаленности от ключевых центров и соседстве с аналогичными по уровню развития территориями соседних стран, но и в свойственных периферии процессах экономической стагнации, старении и оттоке населения.

Таким образом, наиболее дифференцированной и развитой по выбранным критериям оказалась полоса вдоль ключевой полимагистрали, соединяющей две столицы: Вильнюс и Каунас, а также западная часть страны, тяготеющая к побережью. Именно в этих двух ареалах сосредоточены основные центры, организующие социальное, административно-хозяйственное и политическое пространство Литвы, наименее – приграничная периферия, удаленная от побережья и крупнейших городов.

Выводы

Расширение ЕС на восток рассматривается как усиление пространственной поляризации не только самого интеграционного объединения, но и внутри самих постсоциалистических новых стран-членов. Отчетливо просматривается расхождение, при котором столица и ряд крупных городов развиваются достаточно интенсивно, тогда как территории, находящиеся за пределами действия актуальных на сегодня факторов экономического роста, постоянно стагнируют. Растущие социально-экономические различия предполагают, что пространственная поляризация будет лишь усиливаться, что приведет к дальнейшей периферизации не крупногородских территорий [10].

Наше исследование доказывает, что эти процессы характерны и для Литвы. После вступления в ЕС крупнейшие агломерации увеличили отрыв в социально-экономическом развитии от остальной территории страны. Это происходит во многом за счет периферии, которая, не получая должной государственной поддержки, все больше отстает от растущих центров. Темпы депопуляции в этих муниципалитетах быстро увеличивались во многом ввиду невозможности жителей найти работу, а усиление негативной трансформации возрастной структуры населения привело и к экономическим последствиям (например, снижение инвестиционной привлекательности). Периферия охватила почти всю страну, помимо крупнейших городов.

Неравномерность пространственного развития, в широком смысле понимаемого как отношения между местами, которые (вос)производят неравенство в различных ресурсах от природных до властных и, как следствие, в богатстве и благополучии своих жителей, считается неотъемлемой чертой современных капиталистических обществ [6]. Это естественный процесс для страны, обусловленный историческими обстоятельствами и конъюнктурными политическими, экономическими и демографическими тенденциями. Лишь десяток с небольшим муниципалитетов Литвы характеризуются определенной стабильностью или улучшением показателей. Основу этой группы самоуправлений составляют крупнейшие города страны (Вильнюс, Каунас, Клайпеда), их хинтерланд, а также курортные муниципалитеты Неринга и Паланга. Соответственно практически 80% муниципалитетов Литвы испытывают в той или иной степени на себе тенденции к периферизации. Наиболее заметна интенсивная периферизация в приграничной полосе на северо-востоке, севере, юге, юго-западе Литвы – в трети всех самоуправлений страны.

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

Список источников

1. Валлерстайн И. Миросистемный анализ: Введение / пер. Н. Тюкиной. М.: ИД «Территория будущего», 2006. 248 с.
2. Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И. Центр и периферия в региональном развитии. М.: Наука, 1991. 168 с.
3. Boren T., Gentile M. Metropolitan processes in post-communist states: an introduction // *Geografiska Annaler*. 2007. Vol. 89, No. 2. Pp. 95–110.
4. Cox K.R. Uneven development: convergence, divergence and politics // *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2022. Vol. 15, No. 1. Pp. 23–38. doi: 10.1093/cjres/rsab030
5. Dzenovska D. Emptiness: capitalism without people in the Latvian countryside // *American Ethnologist*. 2020. Vol.7, No.1. Pp. 10–26.
6. Hadjimichalis C., Hudson R. Rethinking local and regional development: implications for radical political practice in Europe // *European Urban and Regional Studies*. 2007. Vol. 14, No.2. Pp. 99–113.
7. Harvey D. *The Limits to Capital*. 1982. Oxford: Basil Blackwell.
8. HM Government. *Levelling up the United Kingdom (CP 604)*. 2022. HMSO.
9. Krugman P. *Geography and Trade*. 1991. Cambridge (Mass.)
10. Lang T. Regional development issues in Central and Eastern Europe: shifting research agendas from a focus on peripheries to peripheralisation? // *Geography in Visegrad and Neighbour Countries*. A. Eröss, D. Karacsonyi (eds). 2011. Budapest. Pp. 57–64.
11. Lang T., Henn S., Ehrlich K., Sgibnev W. (eds) *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. Perspectives from Central and Eastern Europe and beyond*. 2015. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
12. Loewen B. *Towards Territorial Cohesion? Path Dependence and Path Innovation of Regional Policy in Central and Eastern Europe*. 2018. Tartu: Tartu University Press.
13. Martin, R., Gardiner, B., Pike, A., Sunley, P., Tyler, P. *Levelling up left behind places: The scale and nature of the economic and policy challenge*. 2021. Routledge.
14. Massey D. *Spatial Divisions of Labour*. 1984. London: Methuen.
15. Peck J., Werner M., Jones M. A dialogue on uneven development: a distinctly regional problem // *Regional Studies*. 2022. doi: 10.1080/00343404.2022.2116417
16. Pociute G. *Periferingumo teritorine raiska Lietuvoje*. Doktoro disertacija. 2014a. Vilnius.
17. Pociute G. Trends of imbalances of demographic and socioeconomic development in the post-reform period in Lithuania // *The social and economic growth vs. the emergence of economic growth and stagnation areas*. ed. P. Churski. 2014b. Poznan. Pp. 129-150.
18. Sewell W.H. The temporalities of capitalism // *Socio-Economic Review*. 2008. Vol. 6, No.3. Pp. 517–537. doi: 10.1093/ser/mwn007
19. Ubarevičienė R. *Sociodemographical analysis of the changing territorial organisation of the settlement systems in the Baltic countries*. Doctoral Thesis, Lithuanian Social Research Centre, Vilnius. 2018.
20. *United Nations*. *United nations comprehensive response to COVID19: Saving lives, protecting societies, recovering better*. 2021. United Nations, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.

References

1. Wallerstein, I. (2006), *Mirosistemnyj analiz: Vvedenie* [World-Systems Analysis: Introduction], edited by N. Tyukinoj. ID «Territoriya budushchego», Moscow, Russia.
2. Gritsai, O.V., Ioffe, G.V., Treivish, A.I. (1991), *Centr i periferiya v regional'nom razvitii* [Core and periphery in regional development], Nauka, Moscow, Russia.
3. Boren, T., Gentile, M. (2007) Metropolitan processes in post-communist states: an introduction, *Geografiska Annaler*, Vol. 89, No. 2, pp. 95-110.
4. Cox, K.R., (2022), Uneven development: convergence, divergence and politics, *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 23-38. doi: 10.1093/cjres/rsab030
5. Dzenovska, D., (2020), Emptiness: capitalism without people in the Latvian countryside, *American Ethnologist*, Vol.7, No.1, pp. 10-26.
6. Hadjimichalis, C., Hudson, R. (2007), Rethinking local and regional development: implications for radical political practice in Europe, *European Urban and Regional Studies*, Vol. 14, No.2, pp. 99–113.
7. Harvey, D., (1982), *The Limits to Capital*, Basil Blackwell, Oxford, UK.
8. HM Government, (2022), *Levelling up the United Kingdom (CP 604)*, HMSO, UK.
9. Krugman, P., (1991), *Geography and Trade*, Cambridge (Mass.), USA.
10. Lang, T., (2011), Regional development issues in Central and Eastern Europe: shifting research agendas from a focus on peripheries to peripheralisation?, *Geography in Visegrad and Neighbour Countries*, edited by A. Eröss, D. Karacsonyi, pp. 57-64, Budapest, Hungary.
11. Lang, T., Henn, S., Ehrlich, K., Sgibnev, W. (2015) *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. Perspectives from Central and Eastern Europe and beyond*. Basingstoke: Palgrave Macmillan, UK.
12. Loewen, B., (2018) *Towards Territorial Cohesion? Path Dependence and Path Innovation of Regional Policy in Central and Eastern Europe*, Tartu: Tartu University Press, Estonia.
13. Martin, R., Gardiner, B., Pike, A., Sunley, P., Tyler, P. (2021) *Levelling up left behind places: The scale and nature of the economic and policy challenge*, Routledge, UK.
14. Massey, D., (1984), *Spatial Divisions of Labour*, London: Methuen, UK.
15. Peck, J., Werner, M., Jones, M., (2022), A dialogue on uneven development: a distinctly regional problem, *Regional Studies*. doi: 10.1080/00343404.2022.2116417

Экономическая, социальная и политическая география

Зиновьев А.С., Ступин Ю.А.

16. Pociute, G., (2014a) *Periferingumo teritorine raiska Lietuvoje* [Territorial Expression of Peripherality in Lithuania], Daktaro disertacija, Vilnius, Lithuania.
17. Pociute, G., (2014b), Trends of imbalances of demographic and socioeconomic development in the post-reform period in Lithuania, *The social and economic growth vs. the emergence of economic growth and stagnation areas*, edited by P. Churski, pp. 129-150, Poznan, Poland.
18. Sewell, W.H., (2008), The temporalities of capitalism, *Socio-Economic Review*, Vol. 6, No.3, pp. 517-537. doi: 10.1093/ser/ mwn007
19. Ubareviciene, R., (2018), *Sociodemographical analysis of the changing territorial organisation of the settlement systems in the Baltic countries*, Doctoral Thesis, Lithuanian Social Research Centre, Vilnius, Lithuania.
20. United Nations, (2021), *United nations comprehensive response to COVID19: Saving lives, protecting societies, recovering better*. United Nations, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.

Статья поступила в редакцию: 01.06.2023, одобрена после рецензирования: 27.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 1 June 2023; approved after review: 27 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Андрей Станиславович Зиновьев

старший преподаватель кафедры экономической и социальной географии,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199178, г. Санкт-Петербург, Россия 10 линия В.О. 33–35
e-mail: a.zinovyev@spbu.ru

Information about the authors

Andrey S. Zinovyev

Senior Lecturer, Department of Economic and Social Geography, Saint-Petersburg State University
33–35, 10 liniya V.O., St. Petersburg, 199178, Russia
e-mail: a.zinovyev@spbu.ru

Юрий Александрович Ступин

кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры региональной политики и политической географии,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199178, г. Санкт-Петербург, Россия 10 линия В.О. 33–35
e-mail: y.stupin@spbu.ru

Yurii A. Stupin

Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Regional Policy and Political Geography, Saint-Petersburg State University
33–35, 10 liniya V.O., St. Petersburg, 199178, Russia
e-mail: y.stupin@spbu.ru

Вклад авторов

Зиновьев А.С. – формулировка идеи, анализ материалов, формулировка и валидация выводов.
Ступин Ю.А. – систематизация и обработка статистических материалов.

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

Contribution of the authors

Andrey S. Zinovyev – formulating ideas, analysing materials, formulating and validating conclusions.
Yurii A. Stupin – systematisation and processing of statistical materials.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК: 911.3/378.1

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-71-84

ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО МАКРОРЕГИОНА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Данил Геннадьевич Ажинов

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

dazhinov@gmail.com

Аннотация. Стартовавшая в 2021 г. Программа стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» стала крупнейшей инвестиционной программой в истории отечественной высшей школы. Ее отличительной чертой является особое внимание к развитию сетевого взаимодействия образовательных организаций высшего образования (ООВО) путем создания консорциумов, целью существования которых организаторами декларируется реализация прорывных проектов, обеспечивающих научно-технологическое развитие страны.

В Северо-Западном макрорегионе участниками программы стали 14 ООВО разного профиля и ведомственной принадлежности из 4 субъектов Российской Федерации, общая сумма государственных инвестиций за три года реализации составила больше 10 млрд руб.

Целью исследования является попытка описать основные характеристики сети взаимодействия ООВО Северо-Западного макрорегиона, функционирующих в рамках консорциумов.

В работе с использованием методов контент-анализа были исследованы программы развития ООВО, дополненные анализом ежегодных отчетов об их реализации.

В результате было выделено 397 связей головных организаций и организаций партнеров, предложены типы связей между ними (образовательные, научные, индустриальные и иные). Показано, что максимальная концентрация партнеров наблюдается в «столичных регионах»: города Москва и Санкт-Петербург, небольшая – в Волжско-Камском макрорегионе и совсем незначительная — в остальных, также высокая роль отведена иностранным организациям из стран, осуществляющих недружественные действия в отношении Российской Федерации. Несмотря на заявленный «продуктовый характер» реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» большая часть связей носит не индустриальный, а научный и образовательный характер. Это, равно как и сверхконцентрация партнерских связей, возможно, требует корректировки программ развития. На основании анализа (метод иерархической агломеративной кластеризации) географической близости партнеров, их количества и выработанных типов связей предложена типологизация существующих университетских консорциумов. Определены пять основных и два дополнительных типа.

Все исходные данные, используемые для анализа, представлены в репозитории, который является неотъемлемой частью публикации.

Ключевые слова: Приоритет-2030, сетевое взаимодействие, пространственное развитие, образовательные организации высшего образования, Северо-Западный макрорегион, консорциум, географическая близость

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке БФУ им. И. Канта в рамках научного проекта № 122040500026-0.

Для цитирования: Ажинов Д.Г. Формирование сети взаимодействия образовательных организаций высшего образования на территории Северо-Западного макрорегиона Российской Федерации // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.71–84. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-71-84

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-71-84

FORMATION OF A NETWORK OF INTERACTION AMONG UNIVERSITIES IN THE NORTH-WESTERN MACRO-REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Danil G. Azhinov

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

dazhinov@gmail.com

Abstract. The Strategic Academic Leadership Program ‘Priority 2030’ launched in 2021 has become the largest investment program in the history of Russian higher school.



Its distinctive feature is the special attention to the development of network interaction among institutions of higher education by creating consortia. The main declared goal of their creation is realization of breakthrough projects ensuring the country's scientific and technological development. In the North-Western macro-region, 14 higher education institutions of different specializations and departmental affiliation from 4 constituent entities of the Russian Federation participate in the program. Total state investment over 3 years has amounted to 10 billion rubles.

The study attempts to describe the main distinctive characteristics of the network interaction system comprising institutions of higher education located in the North-Western macro-region and operating within the framework of the consortia.

Development programs of the institutions and annual reports about their realization were examined using the methods of content analysis.

As a result, 397 connections of parent organizations and partner organizations were identified, types of connections among them (educational, scientific, industrial, and others) were proposed. It is shown that the maximum concentration of partners is observed in the 'metropolitan regions' of Moscow and St. Petersburg, a small concentration – in the Volga–Kama macro-region, and rather insignificant – in the rest. A noticeable role belongs to foreign organizations from countries taking unfriendly actions against the Russian Federation. Despite the stated 'product nature' of the implementation of the Program 'Priority 2030', most of the ties are not industrial but scientific and educational in nature. This, as well as the over-concentration of partnerships, may necessitate adjustments to the development programs. Based on the analysis (with the hierarchical agglomerative clustering method) of the geographical proximity of partners, their number, the types of connections developed, a typologization of existing university consortia is proposed. Five main and two additional types are defined.

All the source data used for analysis is presented in the repository, which is an integral part of the publication.

Keywords: Priority 2030, networking, spatial development, institutions of higher education, North-Western macro-region, consortium, geographical proximity

Funding: the research was financially supported by Immanuel Kant Baltic Federal University, research project No. 122040500026-0.

For citation: Azhinov, D.G. (2023). Formation of a network of interaction among universities in the North-Western macro-region of the Russian Federation. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 71–84. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-71-84

Введение и постановка проблемы

В настоящее время перед нашей страной стоит серьезная задача нахождения новых средств и способов интенсификации развития научно-технологической подсистемы (далее – НТП) в условиях недоступности экспорта современных технологий и разработок. Высшие учебные заведения (в Федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ, обозначенные как образовательные организации высшего образования (далее – ООВО)), осуществляющие образовательную и научно-исследовательскую деятельность [16], являются важнейшим элементом функционирования НТП. Данный факт признан академическим сообществом как в России [7; 10], так и за рубежом [39]. Важность развития ООВО подтверждена на правовом уровне: так, одним из целевых показателей, характеризующих достижение национальных целей, установленных Указом Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», является «вхождение Российской Федерации в число десяти ведущих стран мира по качеству общего образования» [15].

С целью достижения этих целей в 2021 г. Правительство Российской Федерации анонсировало отбор ООВО для оказания поддержки программ их развития, получивший название «Программа стратегического академического лидерства Приоритет-2030» (далее – ПСАЛ «Приоритет-2030»). 26.09.2021 г. комиссия Министерства науки и высшего образования РФ (далее – комиссия) утвердила перечень ООВО, которые получили финансирование из средств федерального бюджета. Всего участниками проекта являются 120 ООВО, общая сумма финансирования составила порядка 15 млрд руб. в 2021 г., 32,4 млрд руб. в 2022 г., 32 млрд руб. в 2023 г. [2; 28–31].

ПСАЛ «Приоритет-2030» является самой масштабной в истории России как по количеству участвующих ООВО, так и по территориальному охвату (по результатам отбора гранты получили ООВО из 48 субъектов Российской Федерации) [1], в 2023 году к ним добавились еще 7 регионов. Особенностью данной программы является тот факт, что особая роль отводится организации и развитию сетевого взаимодействия. Так, благодаря реализации ПСАЛ «Приоритет-2030» институт консорциумов стал актуальным для высшей школы как формат сетевого взаимодействия с различными акторами.

Исходя из этого появилось повышенное внимание к изучению эффектов реализации ПСАЛ «Приоритет-2030»: вышло несколько публикаций, относящихся к организации сбора наукометрических данных [34], ретроспективному сравнению ООВО, являющихся участниками программы в части трека «Исследовательское лидерство» [4] и трека «Территориальное и отраслевое лидерство» [5], анализу рисков в реализации образовательной деятельности ООВО, участвующих в проекте [9].

Что касается вопросов пространственной организации высшей школы в целом, нужно выделить исследования под руководством д.г.н. А.П. Катровского. По его мнению, университеты, с одной стороны, оказывают ключевое влияние на рынок трудовых ресурсов путем подготовки и переподготовки кадров, с другой стороны, являясь точкой притяжения для кадров высшей квалификации; существуя на интернациональном рынке, университеты способны получать доступ к технологиям и компетенциям из ведущих мировых научно-исследовательских центров. Территории, на которых сложились и успешно функционируют университеты, становятся привлекательными и для других видов экономической деятельности [8]. Автор отмечает, что в России сложилась ситуация, при которой в «столичных регионах» сконцентрировано более 60% потенциала университетов мирового класса [27].

Вопрос пространственного развития территорий, к которому мы обращаемся в рамках данного исследования, подробно раскрыт в работах российского исследователя д.э.н. О.В. Кузнецовой, которая отмечает гипертрофированный рост «столичных регионов» [11] и незаинтересованность других субъектов федерации в налаживании сотрудничества [12].

Вместе с тем интерес к взаимодействию ООВО с другими институтами и акторами научно-технологического развития в рамках реализации ПСАЛ «Приоритет-2030» остается неисследованным, особенно с точки зрения географической науки. Поэтому в данной публикации мы ставим целью выявление основных характеристик сети взаимодействия ООВО Северо-Западного макрорегиона, функционирующей в рамках консорциумов, создаваемых при реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». Обращение именно к проблематике организации сетевого взаимодействия обусловлено тем, что использование совокупных характеристик членов консорциумов потенциально позволит увеличить возможности ООВО как институтов пространственного развития.

Материалы и методика исследования

Исследование охватывает акторов сетевого взаимодействия ООВО, которые расположены на территории Северо-Западного макрорегиона в границах, определенных Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. [33]. Такой выбор предопределен расположением на его территории разнообразных ООВО как по профилю, так и по масштабу. Разнообразие также подтверждается широким набором учредителей (Министерство науки и высшего образования, Министерство Культуры, Министерство здравоохранения, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Министерство обороны) и, соответственно, разнообразием образовательных программ.

В целях выявления основных отличительных характеристик консорциумов, создаваемых в рамках реализации ПСАЛ «Приоритет-2030», с помощью качественного контент-анализа и были проанализированы программы развития 14 ООВО, а полученные результаты скорректированы с учетом данных из ежегодных отчетов о результатах их реализации в 2021 г. На основании полученных данных, характеризующих заявленные взаимодействия, осуществлена типологизация связей между головной организацией и участниками консорциумов. Контент-анализ позволил охарактеризовать связи внутри университетских консорциумов согласно первоначально выдвинутой классификации на основе присутствия в соответствующих разделах программ развития наиболее существенных признаков. Система категорий контент-анализа была определена на основании исследования содержания соответствующих разделов программ развития, структурирования и суммирования их содержания.

Консорциум представляет собой расположенную в пространстве структуру, поэтому для проведения типологизации методом иерархической агломеративной кластеризации мы можем представить его в виде взвешенного графа:

$$G = (V, E),$$

где V – множество вершин, E – множество ребер, причем каждый элемент E представляет собой кортеж из четырех элементов: начальная вершина (головная организация консорциума), конечная вершина (организация партнер), вес ребра (расстояние между организациями) и тип ребра (тип связи, определенный с помощью контент-анализа).

Для каждого графа G_i создается вектор V_i , который состоит из количества каждого типа ребер, статистики весов ребер и количества узлов:

$$V_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ij}, w_i, n_i],$$

где t_{ij} – количество ребер типа j в графе G_i , w_i – статистика весов ребер для графа G_i , и n_i – количество узлов в графе G_i .

Вычисляется матрица попарных расстояний D размером $n \times n$, где $D(i, j)$ – это евклидово расстояние между векторами V_i и V_j , и проводится агломеративная иерархическая кластеризация, результатом которой станет дендрограмма, показывающая получившуюся типологизацию.

В целях недопущения перегрузки текста публикации большими массивами данных подробная информация об исследованных университетских консорциумах, об организациях-участниках, их географической близости, типах связей представлена в репозитории [37].

Результаты исследования

В Северо-Западном макрорегионе победителем отбора были признаны 14 ООВО, 11 – из г. Санкт-Петербурга, 1 – из Калининграда, 1 – Пскова, 1 – Великого Новгорода. Общая сумма государственных инвестиций, выделенная и планируемая к выделению, за период с 2021 по 2023 г. составит более 10 млрд руб. Распределение федерального финансирования программ развития ООВО в СЗМК происходит крайне неравномерно (Таблица 1), большую часть финансирования получают университеты Санкт-Петербурга. Получателями специальной части гранта, а значит, и повышенного финансирования являются 5 ООВО из 14, и только БФУ им. И. Канта территориально не расположен в г. Санкт-Петербурге.

Таблица 1

ООВО Северо-Западного макрорегиона, являющиеся участниками реализации ПСАЛ «Приоритет-2030» в 2021–2023 гг.

Составлено автором по [6; 13; 18–26; 32; 35; 38]

Higher education institutions of the North-Western macro-region participating in the 'Priority-2030' program in 2021–2023

Compiled by the author according to [6; 13; 18–26; 32; 35; 38]

№ $n \setminus n$	Наименование ООВО	Город	Численность обучающихся (очно)*	Объем финансирования, млн руб.
1	ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный морской технический университет	Санкт-Петербург	4 954	1077,45
2	ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта	Калининград	7 740	1545,78
3	ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)	Санкт-Петербург	9 740	1077,45
4	ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	– // –	23 950	1645,73
5	ФГАОУ ВО Национальный исследовательский университет ИТМО	– // –	13 275	2114,06
6	ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет	– // –	8 580	300,00

* Численность обучающихся по очной форме обучения по образовательным программам бакалавриата, специалитета, магистратуры

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.

Окончание табл. 1

№ п/п	Наименование ООВО	Город	Численность обучающихся (очно)*	Объем финансирования, млн руб.
7	ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна	— // —	9 589	300,00
8	ФГБОУ ВО Псковский государственный университет	Псков	4 800	300,00
9	ФГБОУ ВО Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого	Великий Новгород	6 300	300,00
10	ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова Министерства Здравоохранения РФ	Санкт-Петербург	5 411	300,00
11	ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения	— // —	9 394	300,00
12	ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I	— // —	7 150	300,00
13	ФГБВОУ ВО Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова	— // —	3 874	417,08
14	ФГБОУ ВО Академия Русского балета им. А.Я. Вагановой	— // —	355	300,00
Итого				10277,55

Как уже отмечалось выше, отличительной особенностью ПСАЛ «Приоритет-2030» является особое внимание к развитию сетевого взаимодействия ООВО. Научный руководитель программы д.т.н. А.Е. Волков отмечал, что «будущее за моделью создания консорциумов из НИИ, университетов и технологических компаний, способных решать исследовательские и технологические задачи» [14]. При этом требования по количеству участников консорциума и условиям создания консорциума, кроме взаимной договоренности, ни в конкурсной документации, ни идеологически не выдвигались.

Разъясняя правила проведения отбора 24.06.2021 г., Министерство высшего образования и науки дало следующее определение консорциума: «Консорциумы – временные добровольные объединения университетов с другими организациями для координации деятельности и консолидации ресурсов при реализации прорывных проектов, обеспечивающих научно-технологическое развитие страны» [3].

ООВО Северо-Западного макрорегиона в своих программах развития заявили о создании 37 консорциумов, членами которых стали научные организации, предприятия реального сектора экономики, организации культуры, консалтинговые агентства, другие ООВО, некоторые вузы указали членами консорциумов органы государственной власти.

Для осуществления контент-анализа нами была предложена определенная система категорий (типов), относящаяся к ключевым характеристикам межинституционального взаимодействия и кооперации между ООВО и членами консорциумов (табл. 2).

Таблица 2

Признаки типологизации связей. Составлено автором по [6; 13; 18–25; 32; 35]

Features of typologization of the ties. Compiled by the author according to [6; 13; 18–25; 32; 35]

Категории (типы)	Признаки
Образовательные	Реализация и разработка сетевых образовательных программ, в т.ч. дополнительных образовательных программ; создание, эксплуатация (совместное использование) совместных образовательных продуктов, систем и т.п.; организация и проведение стажировок, в т.ч. обмен студентами, повышение квалификации; создание совместных образовательных подразделений

* Численность обучающихся по очной форме обучения по образовательным программам бакалавриата, специалитета, магистратуры

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.

Окончание табл. 2

Категории (типы)	Признаки
Научные	Совместная реализация НИОКР, разработка концепции, моделей и т.п.; создание совместных научно-исследовательских подразделений; организация и проведение научно-практических мероприятий; совместное использование научного оборудования, материально-технических баз и т.д.; экспертная деятельность
Индустриальные	Разработка образцов готовых изделий, прототипов, технологий и конструкторской документации; реализация индустриальных проектов; совместная предпринимательская и инновационная деятельность, в т.ч. деятельность по производству; внедрение результатов интеллектуальной деятельности, в т.ч. коммерциализация, венчурное финансирование, организация стартапов и т.п.
Иные	Реализация гуманитарных, культурных, патриотических проектов; взаимодействие с органами государственной власти

Всего выделено 397 связей головной организации и организаций партнеров. Стоит отметить, что связи с участниками консорциумов не всегда ограничиваются только одной связью, а могут носить многофункциональный характер.

Создавая консорциумы, университеты пытаются усилить свои компетенции в научной, образовательной сфере или получить доступ к компетенциям и ресурсам, которые вузу недоступны, например, индустриального свойства. На важность налаживания связей с партнерами из индустрии, иными словами, с организациями реального сектора экономики, неоднократно указывали официальные лица, поскольку реализация ПСАЛ «Приоритет-2030» ориентирована на получение конкретных продуктов, «которые государство, общество и экономика могут ожидать от высшей школы» [3]. После начала Специальной военной операции на Украине и введения санкций вообще было принято решение проведения внутренних изменений с «ориентиром на продуктовую логику» реализации программ развития с корректировками, которые должны быть рассчитаны «на создание технологий и сервисов, которые сегодня востребованы рынком» [36].

Из 397 выявленных связей к индустриальным относятся 101, что составляет всего 25,4% общего количества, к научным – 185 связей (46,6%), к образовательным – 81 связей (20,4%), к иным – 30 (7,6%).

Таблица 3

Территориальная структура ключевых партнерств ООВО Северо-Западного макрорегиона, ед.

Составлено автором по [6; 13; 18–25; 32; 35]

Territorial structure of the key partnerships of higher education institutions in the North-Western macro-region, units.

Compiled by the author according to [6; 13; 18–25; 32; 35]

Тип связи	СЗМР	ЦМР	ВКМР	МН	Остальные	Итого
Образовательные	31	25	6	4	15	81
Научные	98	41	9	5	32	185
Индустриальные	46	36	4	9	6	101
Иные	21	5	0	4	0	30
Итого	196	107	19	22	53	397

Примечание: СЗМР – Северо-Западный макрорегион; ЦМР – Центральный макрорегион; ВКМР – Волго-Камский макрорегион; МН – иностранные

Note: СЗМР – North-Western macro-region; ЦМР – Central macro-region; ВКМР – Volga-Kama macro-region; МН – foreign

Важной территориальной характеристикой сети взаимодействия для исследуемых ООВО является существенное доминирование (сверхконцентрации) организаций, расположенных в Северо-Западном макрорегионе и Центральном макрорегионе: 196 (49,4%) и 107 (27%) связей соответственно, причем большинство – в Санкт-Петербурге (174 связи) и Москве (96 связей), на третьем по значимости месте, со значительным отставанием (19 связей) стоит Волго-Камский макрорегион (рис. 1), причем значительная часть – в Нижегородском регионе (8 связей) (табл. 3). Отдельно стоит обратить внимание на то, что 22 связи со-

средоточены за границей, причем только 7 связей расположены в дружественных для России государствах: Белоруссии (5 связей) и Армении (2 связи), остальные — в государствах, совершающих в отношении Российской Федерации недружественные действия [17]: Германия (5 связей), Австрия (2 связи), Польша (2 связи), Эстония (2 связи), Латвия, Нидерланды, Финляндия, США (по 1 связи).

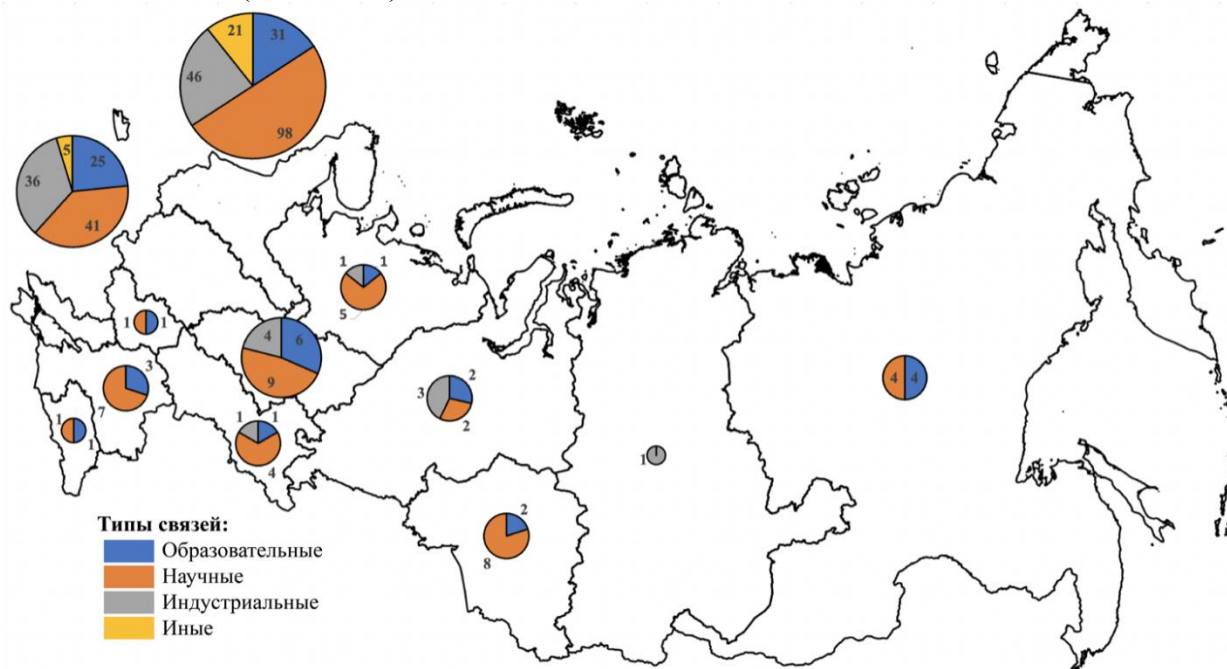


Рис. 1. География связей ООВО Северо-Западного макрорегиона в рамках функционирования университетских консорциумов по типам и макрорегионам (по состоянию на .XII.2022 г.).

Составлено автором [6; 13; 18–25; 32; 35]

Fig. 1. Geographical spread of relations among higher education institutions of the North-Western macro-region within the framework of university consortia by types and macro-regions (as of December 2022)

Compiled by the author according to [6; 13; 18–25; 32; 35].

Стратегия пространственного развития определяет, помимо всего прочего, высокий уровень регионального неравенства и высокую долю малопроизводительных и низкотехнологичных производств [33] как препятствия на пути пространственного развития, и выявленные нами характеристики сетевого взаимодействия ООВО в Северо-Западном макрорегионе не способствуют их преодолению. Выявленная сверхконцентрация еще больше присуща структуре ключевых партнерств ООВО, когда речь идет о «продуктовой логике» реализации Программы. Индустриальные связи (81,4%) сконцентрированы не в регионах Северо-Западного макрорегиона, а в Санкт-Петербурге и Москве, 8,9% – за пределами Российской Федерации, что негативно сказывается на пространственном развитии. Вместе с тем, за исключением связей в Москве и Санкт-Петербурге, ООВО Северо-Западного макрорегиона концентрируют свои связи в следующих субъектах федерации:

- Мурманская область за счет расположения на ее территории институтов РАН и индустриальных предприятий;
- Нижегородская область за счет индустриальных предприятий и образовательных организаций региона;
- Новгородская область за счет НовГУ и его партнеров;
- Ростовская область за счет образовательных организаций региона;
- Приморский край за счет Дальневосточного федерального университета;
- Татарстан за счет Университета Иннополис и институтов РАН;
- Московская область за счет индустриальных и образовательных учреждений г. Королева.

Поскольку требования к структуре консорциумов не предъявлялись, ООВО сами определили количество партнерских организаций, их тематическую направленность, другие параметры. Это привело к тому, что университетские консорциумы приобрели очень разные черты. Так, например, самый крупный консорциум состоит из 47 организаций участников, тогда как некоторые заявили одного; самым большим географическим расстоянием обладает партнерство БФУ им. И. Канта и ДВФУ (более 12 000 км), многочисленны связи с географическим расстоянием менее 1 км. Несмотря на то, что современные средства коммуникации во многом нивелировали негативный эффект больших географических расстояний, однако в некоторых областях существенны издержки, связанные с его преодолением, например, на транспортировку специалистов к месту производственных испытаний, для обучения сотрудников и т.д. Также большую роль в управляемости консорциума, в эффективности его работы играет численность партнеров. Поэтому важно произвести типологизацию анализируемых нами университетских консорциумов по имеющимся параметрам: географическому расстоянию между головной организацией и партнерами, количеством партнеров, а также по типам связей, которые выше определены нами с помощью контент-анализа как «научные», «образовательные», «индустриальные» и «иные».

Для этого мы воспользовались методом иерархической агломеративной кластеризации, результаты которого представлены на дендрограмме (рис. 2), базовые параметры выделенных групп приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики основных типов университетских консорциумов. Составлено автором по [6; 13; 18–25; 32; 35]
University consortia main types characteristics. Compiled by the author according to [6; 13; 18–25; 32; 35]

Консорциумы**		Тип				
		I*	II	III	IV	V
		11	10, 9, 24, 21, 15, 26, 18, 12, 5, 2, 1	23, 14, 16, 27, 22, 3	25, 13, 28, 17, 32, 7	31, 19, 29, 8, 6, 4, 30, 20
Расстояние, км	Максимальное	2578	7164	3595	6547	12312
	минимальное	2	0	0	2	1
	среднее	507,8	842,1	497,7	664,2	1037,8
	медианное	16	628	171,4	633	240,5
Вершины, ед.	Максимальное	47	24	15	8	5
	минимальное		7	5	2	5
	среднее		15,1	8,6	4	3,5
	медианное		14	7	3,5	3,5
Преимущественный тип		Смешанный, с преобладанием научных связей		Индустриальный	Научно-образовательные	Научный

Стоит отметить, что исключены из анализа и определены в отдельные группы (дополнительные типы) следующие консорциумы:

1) имеющие только одну связь:

- кооперация с Военным инновационным технополисом «ЭРА», ВМедА;
- центр обратного инжиниринга средств терапии нейропсихиатрических расстройств и болевых синдромов (ЦО ИСТ), ПСПбГМУ;
- биомедицина и биоинформатика, ПСПбГМ.

2) социокультурной направленности, имеющие исключительно тип связи, определенный нами как «иные»:

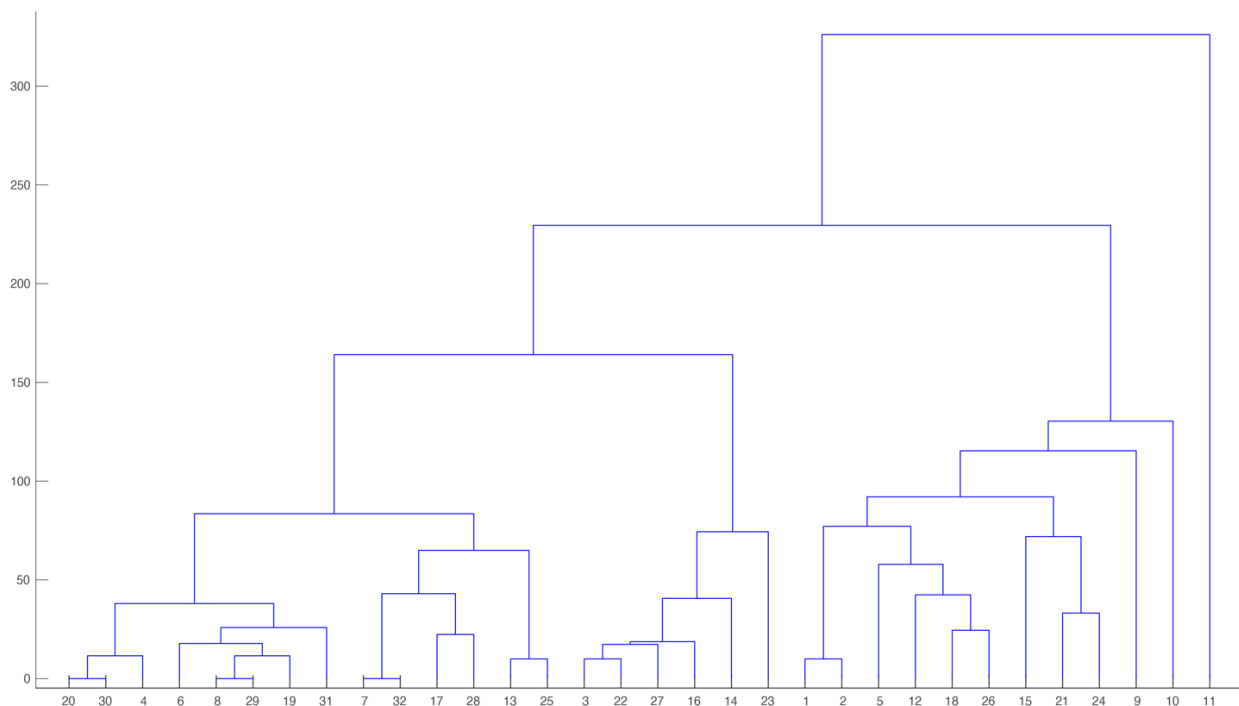
- искусства и науки, Университет ИТМО;
- национальные коды культурной идентичности территорий, НовГУ.

** Нумерация консорциумов приведена в соответствии с рис. 2

* В группе I типа представлен 1 консорциум

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.



1. Нейротехнологии (БФУ им. И. Канта)
2. Биомедицина (БФУ им. И. Канта)
3. Балтийская долина (БФУ им. И. Канта)
4. Рубежи России (БФУ им. И. Канта)
5. Морские приоритеты (СПбГМТУ)
6. Наногетероструктурная электроника, фотоника и радиопотоника (ЛЭТИ)
7. Безопасные инфокоммуникационные сети будущего для развития в сфере энергетики и экологического мониторинга (ЛЭТИ)
8. Технологии сильного гибридного интеллекта для прикладной медицины (ЛЭТИ)
9. Цифровая трансформация промышленности (Политех)
10. Технологические основы здоровьесбережения (Политех)
11. Человекоцентричные решения и технологии (Политех)
12. Новые решения в энергетике и ресурсосбережении (Политех)
13. Технополис "Политех" (Политех)
14. Киберфизические системы нового поколения (КФС 2.0) (ИТМО)
15. Когнитивная информатика (ИТМО)
16. Человек. Природа. Технологии (ИТМО)

17. Информационно-функциональная безопасность (ИТМО)
18. Интеллектуальная электроника – Валдай (ИТМО)
19. Научно-образовательный математический центр СЗФО (НовГУ)
20. Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение (НовГУ)
21. Цифра (ГУАП)
22. Generation "Aerospace" (ГУАП)
23. Траектория роста (ГУАП)
24. Инженерное образование (ГУАП)
25. Университеты Future Skills (ГУАП)
26. Цифровой промышленный дизайн, композиционные материалы, "умные" одежда и ткани (СПбГУПТД)
27. Новая упаковка (СПбГУПТД)
28. Развитие, безопасность и устойчивость национальной транспортной экосистемы (ПГУПС)
29. Генная и клеточная терапия Приоритет 2030 (ПСбГМУ)
30. Исследовательский консорциум в нефрологии (ПСбГМУ)
31. Консорциум «ВМЕСТЕ» (ПсковГУ)
32. Приграничный медицинский консорциум (ПсковГУ)

1. Neurotechnologies (IKBFU)
2. Biomedicine (IKBFU)
3. Balt-dolina (IKBFU)
4. Frontiers of Russia (IKBFU)
5. Maritime Priorities (SMTU)
6. Nanoheterostructure Electronics, Photonics, and Radiophotonics (LETI)
7. Secure Future Infocommunication Networks for Energy and Environmental Monitoring (LETI)
8. Strong Hybrid Intelligence Technologies for Applied Medicine (LETI)
9. Digital Transformation of Industry (Polytech)
10. Technological Foundations of Health Preservation (Polytech)
11. Human-Centric Solutions and Technologies (Polytech)
12. New Solutions in Energy and Resource Conservation (Polytech)
13. Technopolis "Polytech" (Polytech)
14. Cyber-Physical Systems of the New Generation (ITMO)
15. Cognitive Informatics (ITMO)
16. Human. Nature. Technologies (ITMO)

17. Information-Functional Security (ITMO)
18. Intellectual Electronics – Valdai (ITMO)
19. Scientific-Educational Mathematical Center of the Northwestern Federal District (NovSU)
20. Digital Biodesign and Personalized Healthcare (NovSU)
21. Digital (SUAI)
22. Generation "Aerospace" (SUAI)
23. Growth Trajectory (SUAI)
24. Engineering Education (SUAI)
25. Universities Future Skills (SUAI)
26. Digital Industrial Design, Composite Materials, Smart Clothing, and Fabrics (SPbSUITD)
27. New Packaging (SPbSUITD)
28. Development, Safety, and Sustainability of the National Transport Ecosystem (PGUPS)
29. Gene and Cell Therapy Priority 2030 (Pavlov University)
30. Research Consortium in Nephrology (Pavlov University)
31. Consortium "TOGETHER" (PskovSU)
32. Cross-Border Medical Consortium (PskovSU)

Рис. 2. Дендрограмма классификации университетских консорциумов Северо-Западного макрорегиона по типу связей, количеству партнерских организаций и географической близости. Составлено автором по [6; 13; 18–25; 32; 35]
 Fig. 2. Dendrogram of university consortia classification by type of connections, number of partner organizations and geographical proximity (North-Western macro-region). Compiled by the author according to [6; 13; 18–25; 32; 35]

Таким образом проведенный анализ позволяет выявить некоторые тенденции: ООВО стремятся к созданию консорциумов преимущественно научной направленности, к которым относятся консорциумы I, II и V типов, что составляет 20 консорциумов из 32 проанализированных (частично к этому относится и IV тип – 6 консорциумов); ООВО, создавая консорциумы, содержащие три и более типов связей, также увеличивает количество партнеров (I и II тип), что а priori уменьшает управляемость и эффективность; преимущественно индустри-

альный тип связи подразумевает меньшее географическое расстояние (III тип), чем все остальные типы; научно-образовательные консорциумы (IV тип) имеют ограниченное количество участников, что может указывать на более узкую специализацию и/или углубленное осуществление совместной деятельности; консорциумы с преимущественно научным типом связи имеют меньшее количество партнеров (V тип).

Заключение

Механизм создания консорциумов, предложенный ПСАЛ «Приоритет-2030», крайне гибкий и позволяет выстраивать структуру своих партнерств исходя из конкретных целей и задач. Анализ территориальной структуры ключевых партнерств в немалой степени свидетельствует о безусловном доминировании организаций, расположенных в Северо-Западном макрорегионе и Центральном макрорегионе (76,3% связей), а конкретно в крупнейших мегаполисах России: Санкт-Петербурге и Москве. Такой гипертрофированный рост Москвы и Санкт-Петербурга обусловлен оттоком из регионов квалифицированных кадров, что является существенной проблемой регионального развития [12]. Можно уверенно утверждать, что «региональные» ООВО не находят в «домашних» регионах необходимых компетенций для усиления своих позиций, поэтому ищут партнеров в крупных «точках роста». Наличие такой возможности, заложенной в логику реализации ПСАЛ «Приоритет-2030», является, безусловно, прогрессивным шагом. Это позволяет также преодолеть еще одно парадоксальное обстоятельство пространственного развития России: отсутствие объективной потребности во взаимодействии [11].

С другой стороны, выявленная сверхконцентрация приводит к академической замкнутости и снижению возможностей ПСАЛ «Приоритет-2030» влиять на экономику регионов и пространственное развитие, поскольку компетенции и ресурсы крупных ООВО сконцентрированы в «столичных» городских агломерациях, а ресурс «классических» региональных вузов, являющихся участниками ПСАЛ «Приоритет-2030», явно недостаточен (табл. 1). Данное обстоятельство в значительной степени может быть преодолено привлечением промышленных партнерств, число которых 25,4% общего количества, что подтверждает «продуктовую логику» программы. Также стоит отметить, что существенна роль иностранных организаций (5,5% связей). Таким образом, программы развития ООВО в части политики выстраивания эффективного сетевого взаимодействия требуют некоторой корректировки. «Продуктовая логика» и необходимость развития регионов требуют поиска новых партнеров в регионах пребывания ООВО (или в соседних, что особенно важно для Санкт-Петербурга и Ленинградской области), дальнейшего расширения количества промышленных партнеров, а также развития взаимодействия с организациями из дружественных государств.

Проведенная иерархическая агломеративная кластеризация позволила определить 5 основных и 2 дополнительных типов университетских консорциумов. Выделенные консорциумы обладают крайним разнообразием не только благодаря специализации (образовательные, научные, промышленные, комбинированные), но и географического охвата. Как мы видим, ООВО, в условиях отсутствия четко установленных правил, по-разному конструируют свои консорциумы, часто выдавая за них партнерство (дополнительный тип I) или создавая слабо управляемые, по нашему мнению, консорциумы-гиганты (тип I). Таким образом, явно продемонстрированы структурная сложность и неоднородность исследуемого феномена, что требует дополнительного внимания к пространственному развитию и более четкой формализации, со стороны не только всех институтов, но и регулирующих органов. Данная методика, апробированная нами, в дальнейшем при публикации результатов реализации программ развития ООВО (что предусмотрено соответствующими нормативными актами) позволит не только точнее судить об эффективности освоения бюджетных средств и других задействованных ресурсов, но и переносить опыт сетевого взаимодействия на другие ООВО и инвестиционные программы высшей школы.

На сегодняшний день делать окончательные выводы об эффективности того или иного типа консорциумов, равно как и об эффективности этого института кооперации, рано, за исключением консорциумов, имеющих большое количество членов (см., например, тип I). В открытом доступе для изучения и анализа находятся ежегодные отчеты за 2021 и 2022 гг., при этом реализация ПСАЛ «Приоритет 2030» в 2021 г. затронула только последние месяцы года. Наряду с этим отметим, что усложнение геополитического положения обусловит трансформацию сети взаимодействия, поскольку процесс этому уже запущен, но пока результаты работы не опубликованы. Поэтому в дальнейшем, за счет привлечения новых источников, исследование будет дополнено информацией о структуре ключевых партнерств ООВО, расположенных на территории других макрорегионов России, что позволит подтвердить некоторые выводы настоящей публикации и составить полноценную карту сетевого взаимодействия в рамках реализации ПСАЛ «Приоритет-2030».

Список источников

1. Более 100 университетов стали победителями Программы «Приоритет – 2030» // Национальные проекты России [Электронный ресурс]. URL: <https://национальныепроекты.пф/news/bolee-100-universitetov-stali-pobediteljami-programmy-prioritet-2030> (дата обращения: 02.02.2023).
2. Валерий Фальков дал старт программе господдержки вузов «Приоритет – 2030» / Министерство науки и высшего образования РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/35817/> (дата обращения: 12.03.2023).
3. Гвоздева Н. М. Приоритет-2030 «Механизмы реализации Программы «Приоритет-2030» // Приоритет 2030: Государственная программа поддержки университетов Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://priority2030.ru/upload/medialibrary/d99/hwx9mwxt0fg8nxg5kslvqobjw7m93/Gvozdeva-NM.pdf> (дата обращения: 12.03.2023).
4. Гусева А. И. и др. Анализ деятельности групп университетов трека «Территориальное и отраслевое лидерство» программы «Приоритет-2030» // Высшее образование в России. 2022. № 4 (31). С. 9–28.
5. Гусева А. И. и др. Исследовательское лидерство программы «Приоритет-2030»: факторы успеха // Высшее образование в России. 2022. № 1 (31). С. 42–58.
6. Информация – «Приоритет-2030» - ГУАП // ГУАП [Электронный ресурс]. URL: <https://guap.ru/m/prioritet2030/> (дата обращения: 29.03.2023).
7. Карпов А. О. Современный университет как драйвер экономического роста: модели и миссии // Вопросы экономики. 2017. № 3. С. 58–76.
8. Катровский А. П., Ватлина Т. В. Территориальная организация высшей школы России // Вестник Московского университета. 2021. № 5. С. 3–13.
9. Кетоева Н. Л., Киселева М. А., Драницына В. К. Классификация рисков в образовательной деятельности высших учебных заведений, участвующих в проекте «Приоритет-2030» // Вестник Сургутского государственного университета. 2022. № 3 (37). С. 6–15.
10. Кузнецов Н. В., Шестак В. П. Вуз как институт развития в реальном секторе экономики // Экономика и управление. 2015. № 2. С. 21–27.
11. Кузнецова О. В. Городские агломерации и СПР // Регионалистика. 2020. № 3 (7). С. 67–69.
12. Кузнецова О. В. Межрегиональное сотрудничество в России: перспективы кооперации региональных властей // Региональные исследования. 2019. № 1. С. 16–25.
13. Личный кабинет «Программы – 2030» / Университет ИТМО [Электронный ресурс]. URL: <https://2030.itmo.ru/lkprioritet2030> (дата обращения: 29.03.2023).
14. Не университеты, а университетские корпорации: директор Института общественных стратегий «Сколково» Андрей Волков – о том, по какой модели должны развиваться российские вузы и зачем им нужны PI // Новости Университета ИТМО [Электронный ресурс]. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/15315475> (дата обращения: 07.02.2023).
15. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс]: указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/ (дата обращения: 07.02.2023).
16. Об образовании в Российской Федерации. [Электронный ресурс]: федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ : (в ред. от 17.02.2023). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 30.03.2023).
17. Об утверждении перечня иностранных государств и территорий, совершающих недружественные действия в отношении Российской Федерации, российских юридических и физических лиц. [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 05.03.2022 N 430-р: (в ред. от 29.10.2022). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411064/e8730c96430f0f246299a0cb7e5b27193f98fdaa/ (дата обращения: 07.02.2023).
18. «Приоритет – 2030» Военно-медицинская Академия имени С.М. Кирова – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vmeda.org/prioritet-2030/> (дата обращения: 30.03.2023).
19. «Приоритет – 2030» Псковский государственный университет. [Электронный ресурс]. URL: <https://pskgu.ru/page/a55cc327-e5c1-4782-8f91-d4cce275b6de> (дата обращения: 24.03.2023).

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.

20. «Приоритет – 2030» / Петербургский государственный университет путей сообщения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pgups.ru/prioritet-2030/> (дата обращения: 23.03.2023).
21. «Приоритет – 2030» / ПСПбГМУ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lspbgmu.ru/universitet/prioritet-2030> (дата обращения: 23.03.2023).
22. Программа «Приоритет – 2030» / Новгородский государственный университет [Электронный ресурс]. URL: <https://novsu.ru/university/projects/59212/> (дата обращения: 29.03.2023).
23. Программа «Приоритет – 2030» / СПбГЭТУ «ЛЭТИ» [Электронный ресурс]. URL: <https://prioritet2030.etu.ru/> (дата обращения: 28.03.2023).
24. Программа «Приоритет – 2030» в Санкт-Петербурге / Санкт-Петербургский государственный морской технический университет [Электронный ресурс]. URL: <https://2030.smtu.ru/> (дата обращения: 28.03.2023).
25. Программа развития 2021-2030 / Балтийский федеральный университет им. И. Канта [Электронный ресурс]. URL: <https://kantiana.ru/priority2030/> (дата обращения: 28.03.2023).
26. Программа развития Приоритет-2030 Санкт-Петербургский горный университет [Электронный ресурс]. URL: <https://spmi.ru/index.php/programma-gazvitiya-prioritet-2030> (дата обращения: 24.03.2023).
27. Пространственная организация высшей школы и региональное развитие: монография / под ред. А. П. Катровский, С. П. Евдокимов, Т. И. Яськовой. Смоленск: Изд-во Смоленского гос. ун-та, 2022. 310 с.
28. Протокол заседания комиссии Минобрнауки №2 от 4 октября 2021 г. // «Приоритет – 2030»: Государственная программа поддержки университетов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/d8b/kppwli9r4g34ju0w1lr2sk8oqg2oq5v9/podpisannyi_-protokol.pdf (дата обращения: 09.04.2023).
29. Протокол заседания комиссии Минобрнауки №3 от 26.09.2021 // «Приоритет – 2030»: Государственная программа поддержки университетов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/744/yf49bmy3mng0itbtsi0xzz994mgp1ha2/Protokol-komissii-ot-26.09.2021-_-3.pdf (дата обращения: 20.04.2023).
30. Протокол заседания комиссии Минобрнауки №ВФ/77-пр от 23 декабря 2022 г. // «Приоритет – 2030»: Государственная программа поддержки университетов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/6ca/a4eqv85wy3ivigtxdwm19pgj6zt2t3ad/a741c155_a334_4f46_baa9_3bc2d8bdd413.pdf (дата обращения: 22.04.2023).
31. Протокол заседания комиссии Минобрнауки №ДА/4884-пр от 28.12.2022 г. // «Приоритет – 2030»: Государственная программа поддержки университетов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://priority2030.ru/upload/medialibrary/2d3/2mfvm0az917u5e3qxovkly5871x4jy58/protokol-zasedaniya-komissiya.pdf> (дата обращения: 07.02.2023).
32. СПбГУПТД - участник программы «Приоритет – 2030» / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна [Электронный ресурс]. URL: <https://sutd.ru/prioritet-2030/> (дата обращения: 29.03.2023).
33. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. N 207-р : (ред. от 30.09.2022). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (дата обращения: 07.02.2023).
34. Ударцева О. М. Научные процессы в вузах «Приоритета–2030»: системы управления и мониторинга данных // Научные и технические библиотеки. 2022. № 9. С. 33–53.
35. Управление стратегического планирования и программ развития / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого - Высшее образование в России [Электронный ресурс]. URL: <https://strategy.spbstu.ru/> (дата обращения: 30.03.2023).
36. Фальков: программу «Приоритет – 2030» нужно изменить с учетом новых условий - Наука - ТАСС // Наука - ТАСС [Электронный ресурс]. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/15315475> (дата обращения: 09.04.2023).
37. Azhinov, Danil (2023), Characteristics of consortia established by universities of the North-Western macro-region of Russia, Mendeley Data, V2, doi: 10.17632/jz8dppzgfz.2
38. Vaganova Academy - Приоритет 2030 // Vaganova Academy - Главная страница [Электронный ресурс]. URL: <https://vaganovaacademy.ru/academy/Prioritet-2030/> (дата обращения: 29.03.2023).
39. Valero A., Van Reenen J. The economic impact of universities: Evidence from across the globe. *Economics of Education Review*. 2019. (68). С. 53–67.

References

1. More than 100 universities have become winners of the Priority 2030 Program // National Projects of Russia [Electronic resource]. URL: <http://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/bolee-100-universitetov-stali-pobeditelnyami-programmy-prioritet-2030> [Accessed 02.02.2023].
2. Valery Falkov launched the state support program for universities "Priority 2030" // Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/35817/> [Accessed 12.03.2023].
3. Gvozdeva N. M. Priority-2030 "Mechanisms for the implementation of the Priority-2030 Program" // Priority 2030 | State Program for the Support of Universities of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <https://priority2030.ru/upload/medialibrary/d99/hwx9mwxt0fg8nxg5kslvqobjw7m93/Gvozdeva-NM.pdf> [Accessed 12.03.2023].
4. Guseva, A.I., Kalashnik, V.M., Kaminsky, V.I., Kireev, S.V. (2022). Research Leadership of "Priority 2030" Program: Success Factors. *Vysshее образование в Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 31, no. 1, pp. 42–58, doi: 10.31992/0869-3617-2022-31-1-42-58 (In Russ., abstract in Eng.).

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.

5. Guseva, A.I., Kalashnik, V.M., Kaminsky, V.I., Kireev, S.V. (2022). Analysis of Performance of University Groups Belonging to "Leadership in the Region and/or Industry" Track of "Priority 2030" Program. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 31, no. 4, pp. 9–28, doi: 10.31992/0869-3617-2022-31-4-9-28 (In Russ., abstract in Eng.).
6. Information - Priority 2030 - SUAI // SUAI [Electronic resource]. URL: <https://guap.ru/m/prioritet2030/> [Accessed 29.03.2023].
7. Karpov A. Modern university as an economic growth driver: Models & missions. *Voprosy Ekonomiki*, 2017, No. 3, pp. 58–76 (In Russ., abstract in Eng.)
8. Katrovskiy A.P., Vatlina T.V. Spatial organization of the higher education of Russia. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 2021, no 5, pp 3–13. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Ketoeva N. L., Kiseleva M. A., Dranitsyna V. K. Classification of Risks in Educational Activities of Higher Educational Institutions Participating in the Priority-2030 Project. *Surgut State University Journal*. 2022. No. 3 (37). P. 6–15. DOI 10.34822/2312-3419-2022-3-6-15.
10. Kuznetsov N.V., Shestak V.P. The Higher School as a Development Institution in the Real Sector of Economy. *Ekonomika i upravlenie*. 2015. № 2, pp. 21–27 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Kuznetsova O.V. Interregional interaction in Russia: prospects of cooperation of regional authorities. *Regional'nye issledovaniya*. 2019. № 1. pp. 16–25.
12. Kuznetsova O.V. The Urban Agglomerations and the Spatial Development Strategy. *Regionalistica [Regionalistics]*. 2020. Vol. 7. No. 3. Pp. 67–70. <https://doi.org/10.14530/reg.2020.3.67> (In Russian).
13. Personal account of the 2030 Program // ITMO University [Electronic resource]. URL: <https://2030.itmo.ru/lkprioritet2030> [Accessed 29.03.2023].
14. Not universities, but university corporations: Director of the Skolkovo Institute of Public Strategies Andrey Volkov — on what model Russian universities should develop and why they need PI // ITMO University News [Electronic resource]. URL: <https://news.itmo.ru/ru/education/trend/news/12590/> [Accessed 07.02.2023].
15. On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030. [Electronic resource]: Decree of the President of the Russian Federation of 21.07.2020 No. 474. Access from the reference.- legal system "ConsultantPlus". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/ [Accessed 07.02.2023]
16. On education in the Russian Federation: Federal Law of December 29, 2012 No. 273-ФЗ. SZ RF, 2012. No. 53. Art. 7598. [Electronic resource]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ [Accessed 30.03.2023]
17. On approval of the list of foreign States and territories committing unfriendly acts against the Russian Federation, Russian legal entities and individuals. [Electronic resource]: Decree of the Government of the Russian Federation of 05.03.2022 N 430-r (ed. of 29.10.2022). Access from help.-legal system "ConsultantPlus. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411064/e8730c96430f0f246299a0cb7e5b27193f98fdaa/ [Accessed 07.02.2023]
18. Priority - 2030 - S.M. Kirov Military Medical Academy // Military Medical Academy named after S.M. Kirov - Higher medical education in Russia [Electronic resource]. URL: <https://www.vmeda.org/prioritet-2030/> [Accessed 30.03.2023].
19. Priority 2030 - Pskov National University // Pskov State University-Pskov National University [Electronic resource]. URL: <https://pskgu.ru/page/a55cc327-e5c1-4782-8f91-d4cce275b6de> [Accessed: 24.03.2023].
20. Priority 2030 // St. Petersburg State University of Railway Transport [Electronic resource]. URL: <https://www.pgups.ru/prioritet-2030/> [Accessed 23.03.2023].
21. Priority 2030 // ISPBGMU [Electronic resource]. URL: <https://www.ispbgmu.ru/universitet/prioritet-2030> [Accessed: 23.03.2023].
22. The program "Priority 2030" // Novgorod State University [Electronic resource]. URL: <https://novsu.ru/university/projects/59212/> [Accessed 29.03.2023].
23. The program "Priority-2030" // SPB ETU "LETI" [Electronic resource]. URL: <https://prioritet2030.etu.ru/> [Accessed 28.03.2023].
24. The Priority 2030 Program of SPbSMTU In St. Petersburg // St. Petersburg State Marine Technical University [Electronic resource]. URL: <https://2030.smtu.ru/> [Accessed 28.03.2023].
25. Development Program 2021-2030 // Immanuel Kant Baltic Federal University [Electronic resource]. URL: <https://kantiana.ru/priority2030/> [Accessed 28.03.2023].
26. Priority-2030 Development Program | St. Petersburg Mining University // | St. Petersburg Mining University [Electronic resource]. URL: <https://spmi.ru/index.php/programma-razvitiya-prioritet-2030> [Accessed 24.03.2023].
27. Prostranstvennaya organizaciya vysshej shkoly i regional'noe razvitie [Spatial organization of higher education and regional development]. A. P. Katrovskiy, S. P. Evdokimov, T. I. Yaskova. Smolensk: Smolensk State University, 2022. 310 p.
28. Minutes of the meeting of the Commission of the Ministry of Education and Science No.2 dated October 4, 2021 // Priority 2030 | State Program for the Support of Universities of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/d8b/kppwli9r4g34ju0w1lr2sk8oqg2oq5v9/podpisannyi_-protokol.pdf [Accessed 09.04.2023].
29. Minutes of the meeting of the Commission of the Ministry of Education and Science No.3 of 9/26/2021 // Priority 2030 | State Program for the Support of Universities of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/744/yf49bmy3mng0itbtsi0xzz994mgp1ha2/Protokol-komissii-ot-26.09.2021-_-3.pdf [Accessed 20.02.2023].
30. Minutes of the meeting of the Commission of the Ministry of Education and Science No.VF/77-pr dated December 23, 2022 // Priority 2030 | State Program for the Support of Universities of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: https://priority2030.ru/upload/medialibrary/6ca/a4eqv85wy3ivigtxdwm19pgj6zt2t3ad/a741c155_a334_4f46_baa9_3bc2d8bdd413.pdf [Accessed 24.04.2023].
31. Minutes of the meeting of the Commission of the Ministry of Education and Science No.DA/4884-pr of 12/28/2022 // Priority 2030 | State Program for the Support of Universities of the Russian Federation [Electronic resource]. URL:

Экономическая, социальная и политическая география

Ажинов Д.Г.

<https://priority2030.ru/upload/medialibrary/2d3/2mfvm0az917u5e3qxovkly5871x4jy58/protokol-zasedaniya-komissiya.pdf> [Accessed 07.02.2023].

32. SPbSUITD - participant of the Priority 2030 program // St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design [Electronic resource]. URL: <https://sutd.ru/prioritet-2030/> [Accessed 29.03.2023].

33. Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the period up to 2025. [Electronic resource]: Decree of the Government of the Russian Federation of 13.02.2019 N 207-r (ed. of 30.09.2022). Access from help.-legal system "ConsultantPlus. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ [Accessed 07.02.2023]

34. Udartseva O. M. Research processes at "Priority-2030" universities: The systems of control and monitoring. *Scientific and technical libraries*. 2022. No. 9. P. 33–53. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2022-9-33-53>

35. Department of Strategic Planning and Development Programs // Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University - Higher Education in Russia [Electronic resource]. URL: <https://strategy.spbstu.ru/> [Accessed 30.03.2023].

36. Falkov: the Priority 2030 program needs to be changed taking into account new conditions. *Nauka. TASS // Nauka - TASS* [Electronic resource]. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/15315475> [Accessed 09.04.2023].

37. Azhinov, Danil (2023). Types of economic activity corresponding to the areas of work of consortia established by universities of the North-Western macro-region of Russia, *Mendeley Data*, V1, doi: 10.17632/jz8dppzgfz.1.

38. Vaganova Academy - Priority-2030 // Vaganova Academy - Main page [Electronic resource]. URL: <https://vaganovaacademy.ru/academy/Prioritet-2030/> [Accessed 29.03.2023].

39. Valero A., Van Reenen J. The economic impact of universities: Evidence from across the globe. *Economics of Education Review*. 2019. (68). С. 53–67.

Статья поступила в редакцию: 15.09.23, одобрена после рецензирования: 07.11.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 15 September 2023; approved after review: 07 November 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторе

Данил Геннадьевич Ажинов

аспирант, Институт управления и пространственного развития,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта;
236041, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14

Information about the author

Danil G. Azhinov

Postgraduate Student, Institute of Management and Territorial
Development, Immanuel Kant Baltic Federal University;

14, Aleksandra Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russia

e-mail: dazhinov@gmail.com

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.511.32

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-85-98

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
ПЛАНЕТАРНОЙ АТМОСФЕРЫАлексей Васильевич Быков¹, Андрей Леонидович Ветров², Петр Готлобович Фрик³, Андрей Николаевич Сухановский⁴, Николай Александрович Калинин⁵, Родион Александрович Степанов⁶^{1, 3, 4, 5, 6} Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Россия^{1, 2, 3, 4, 5} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия¹ blexx256@yandex.ru² alvetrov@yandex.ru³ frick@icmm.ru⁴ san@icmm.ru⁵ kalinin@psu.ru⁶ rodion@icmm.ru

Аннотация. Общая циркуляция атмосферы играет важную роль в формировании погодных и климатических процессов, обеспечивая перенос и перераспределение тепла, влаги и углового момента. Изменения климата могут оказывать существенное влияние на элементы общей циркуляции атмосферы. Для понимания общих закономерностей циркуляции и возможных будущих изменений ее компонентов важно изучить ее состояние при предельных свойствах географической оболочки, в частности, типе дестилляционного слоя. Представлены результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы при упрощенных условиях подстилающей поверхности, в качестве которой рассмотрены океаническая и пустынная поверхности. Численный эксперимент выполнялся на глобальной модели, преобразованной из модели WRF-ARW, и воспроизводил динамику атмосферы продолжительностью 1 год. Предельные ситуации — глобальный океан или глобальная пустыня отразили роль фазовых переходов в атмосфере Земли. В первом случае вследствие парникового эффекта циркуляция не выражена из-за отсутствия значимого межширотного градиента. Во втором случае песчаная поверхность, в отличие от океана, не может аккумулировать большое количество тепла, поэтому воздух у поверхности земли быстро охлаждается в зимнем полушарии и быстро нагревается в летнем, исходя из чего пассатные течения не возникают. Комбинация океанических и пустынных зон (все однородны по меридиану) приводит к тому, что крупномасштабная циркуляция атмосферы приобретает черты, близкие к земной, что позволяет рассматривать такую конфигурацию базовой для дальнейших численных экспериментов. Проведенные эксперименты показали ведущую роль поглощенной части солнечной радиации (инсоляции) и вклада водяного пара (парниковый эффект, выделение скрытого тепла) при формировании крупномасштабных атмосферных течений. Реализованная модель WRF-ARW может успешно использоваться для моделирования общей циркуляции атмосферы при различных начальных и граничных условиях.

Ключевые слова: глобальная циркуляция атмосферы, математическое моделирование, WRF

Сведения о финансировании. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00098.

Для цитирования: Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А. Численное моделирование предельных состояний планетарной атмосферы // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4 (67). С.85–98. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-85-98

METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-85-98

NUMERICAL MODELING OF EXTREME CONDITIONS OF PLANETARY
ATMOSPHEREAlexey V. Bykov¹, Andrey L. Vetrov², Petr G. Frick³, Andrei N. Sukhanovskii⁴, Nikolay A. Kalinin⁵, Rodion A. Stepanov⁶^{1, 3, 4, 5, 6} Institute of Continuous Media Mechanics, UB RAS, Perm, Russia^{1, 2, 3, 4, 5} Perm State University, Perm, Russia¹ blexx256@yandex.ru² alvetrov@yandex.ru³ frick@icmm.ru⁴ san@icmm.ru⁵ kalinin@psu.ru⁶ rodion@icmm.ru

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

Abstract. The atmospheric general circulation plays an important role in the formation of weather and climate processes, providing transport and redistribution of heat, moisture, and angular momentum. Climate changes can have a significant effect on the elements of the atmospheric general circulation. To understand the general circulation patterns and possible future changes in its components, it is important to study its state under the limiting properties of the geographic envelope, in particular, the type of the active layer. The paper presents the results of numerical modeling of the atmospheric general circulation under simplified conditions of the underlying surface, namely oceanic and desert surfaces. The numerical experiment was performed on a global model transformed from the WRF-ARW model and it reproduced the atmosphere dynamics during one year. The limiting scenarios – either global ocean or global desert – reflected the role of phase transitions in the Earth's atmosphere. In the first case, due to the greenhouse effect, the circulation is not pronounced owing to the absence of a significant interlatitudinal gradient. In the second case, the sandy surface, unlike the ocean, cannot accumulate a large amount of heat, so the air near the Earth's surface cools rapidly in the winter hemisphere and heats up rapidly in the summer hemisphere, as a result of which there are no trade winds. The combination of oceanic and desert zones (all homogeneous along the meridian) leads to the situation that the large-scale atmospheric circulation acquires features close to those of the Earth, which allows us to consider this configuration as a basic one for further numerical experiments. The experiments have shown the leading role of the absorbed part of solar radiation (insolation) and the contribution of water vapor (greenhouse effect, release of latent heat) in the formation of large-scale atmospheric currents. The implemented WRF-ARW model can be successfully used for modeling the general circulation of the atmosphere under different initial and boundary conditions.

Keywords: global atmospheric circulation; numerical modeling, WRF

Funding: the study was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 22-61-00098.

For citation: Bykov, A.V., Vetrov, A.L., Frick, P.G., Sukhanovsky, A.N., Kalinin, N.A., Stepanov, R.A. (2023). Numerical modeling of extreme conditions of planetary atmosphere. *Geographical Bulletin*. No. 4 (67). Pp.85–98. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-85-98

Введение

Общая циркуляция атмосферы играет важную роль в формировании погодных и климатических процессов, обеспечивая перенос и перераспределение тепла, влаги и углового момента. Структура и динамика глобальной циркуляции атмосферы сложны и зависят от множества факторов, таких как вращение, солнечный нагрев, топография поверхности и т.д. [8–9]. Для решения задач, которые направлены на улучшение прогноза погоды, необходимо использовать математические модели, включающие в себя все значимые процессы, протекающие в атмосфере. Существенное влияние на динамику атмосферы оказывает взаимодействие ее с океаном и сушей, поэтому необходимо развивать сопряженные модели, учитывающие эти сложные обменные процессы. Фактически речь идет о цифровых двойниках системы атмосфера – океан – суша. При этом часто отмечается, что прогнозирование при помощи сложных математических моделей общей циркуляции атмосферы порой не равнозначно пониманию механизмов, определяющих структуру и динамику крупномасштабных течений [14, 15, 21]. Выявление базовых механизмов, определяющих циркуляцию атмосферы, требует упрощения рассматриваемой системы, т.е. необходимы модели различной степени сложности или, как говорят, иерархия моделей [22]. В этом контексте эффективным подходом к изучению базовых особенностей сложных геофизических систем является лабораторное и математическое моделирование в упрощенной постановке. Ряд важных результатов, касающихся общей циркуляции атмосферы, получен при лабораторном моделировании [2, 13, 16, 17, 19], хотя некоторые ключевые особенности циркуляции атмосферы наталкиваются на технические ограничения. В эксперименте сложно учесть сферичность атмосферного слоя, очень малое отношение высоты слоя к горизонтальному размеру и эффекты, связанные с турбулентностью. Поэтому важность математического моделирования общей циркуляции атмосферы в идеализированной, но полномасштабной постановке трудно переоценить. В отличие от моделей общей циркуляции атмосферы в полной постановке математических моделей, с той или иной степенью упрощения, позволяющих исследовать базовые факторы, определяющие структуру и динамику крупномасштабных течений, немного. Можно выделить модель ISCA [22], однако в ней конвекция, играющая очень важную роль для формирования крупномасштабных атмосферных течений, параметризуется. Большой интерес представляет модель на основе отечественного пакета SL-AV [12], включающего модель глубокой конвекции. Данное исследование выполнено с помощью модели WRF-ARW версии 4.2.2 [18] для трех вариантов подстилающей поверхности: океана с заданной температурой поверхности

*Метеорология**Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.*

воды, континентальной пустынной поверхности и комбинации океана и пустынной поверхности. На протяжении многих лет модель WRF успешно используется при изучении различных процессов и явлений, происходящих в атмосфере, в том числе авторами данной работы [1, 3–7, 10, 20].

Материалы и методы исследования

Расчеты по модели WRF-ARW велись на кластере «Тритон» Института механики сплошных сред УрО РАН. Настройки модели представлены в таблице.

Настройки модели WRF-ARW
WRF-ARW model settings

<i>Наименование</i>	<i>Значение</i>
Режим вычислений	Негидростатический
Тип расчетной сетки	Глобальная широтно-долготная, редуцированная
Горизонтальное разрешение	0.8° (~89 км)
Количество вертикальных уровней	51
Шаг по времени	150 с
Начальные и граничные условия	Модифицированные файлы реанализа NCEP-CFS (0.5°)
Шаг выдачи данных расчета	24 ч
Микрофизика	Схема WSM (3 класса)
Коротковолновая и длинноволновая радиация	Схема RRTMG
Приземный слой	Модифицированная схема MM5
Почвенный слой	Схема NOAH
Планетарный пограничный слой	Схема Университета Йенсей
Глубокая конвекция	Модифицированная схема Tiedke

Расчет одного модельного месяца на 4 узлах вычислительного кластера (112 вычислительных ядер) занимал 8 ч; на высокопроизводительной рабочей станции аналогичный расчет на 14 вычислительных ядрах – 27 ч.

Для проведения вычислительных экспериментов потребовалась модификация файлов формата NetCDF с начальными и граничными условиями, которые были сформированы препроцессингом модели из файлов реанализа NCEP-CFS. Для модификации данных файлов были разработаны сценарии на языке Python.

Во всех расчетах начальный температурный профиль атмосферы был задан согласно ГОСТу 4401-81 «Атмосфера стандартная». Относительная влажность для всех слоев атмосферы установлена на уровне 20%.

В первом эксперименте вся поверхность Земли была покрыта океаном с температурой воды 13°C, термические условия водной поверхности не менялись в течение всего периода эксперимента. Во втором эксперименте вся поверхность планеты была покрыта сушей, близкой по свойствам к Аравийской пустыне. Начальные значения температуры на поверхности и на глубине грунта (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м) были заданы как значения температуры стандартной атмосферы на изобарической поверхности 1013,0 гПа – 15°C. В последнем, третьем, эксперименте рассмотрена комбинация суши и океана – полоса океана с температурой воды 27°C в экваториальной зоне от 10° с.ш. до 10° ю.ш. Температурные условия на поверхности океана были неизменны на протяжении всего эксперимента. Океан разделял два континента с пустынями по типу Аравийской, простирающиеся от экваториальной зоны до полюса. Начальные значения температуры на поверхности и на глубине грунта (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м) были заданы как значения температуры стандартной атмосферы на изобарической поверхности 1013,0 гПа – 15°C.

Результаты и их обсуждение

В каждом численном эксперименте продолжительностью 365 суток получены разные типы общей циркуляции атмосферы.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

В первом эксперименте с океанической термически однородной поверхностью циркуляция выражена слабо из-за сильнейшего парникового эффекта. В пограничном слое тропической зоны пассатные течения неустойчивы и проявляются лишь при усреднении поля скорости ветра за месяц (рис. 1).

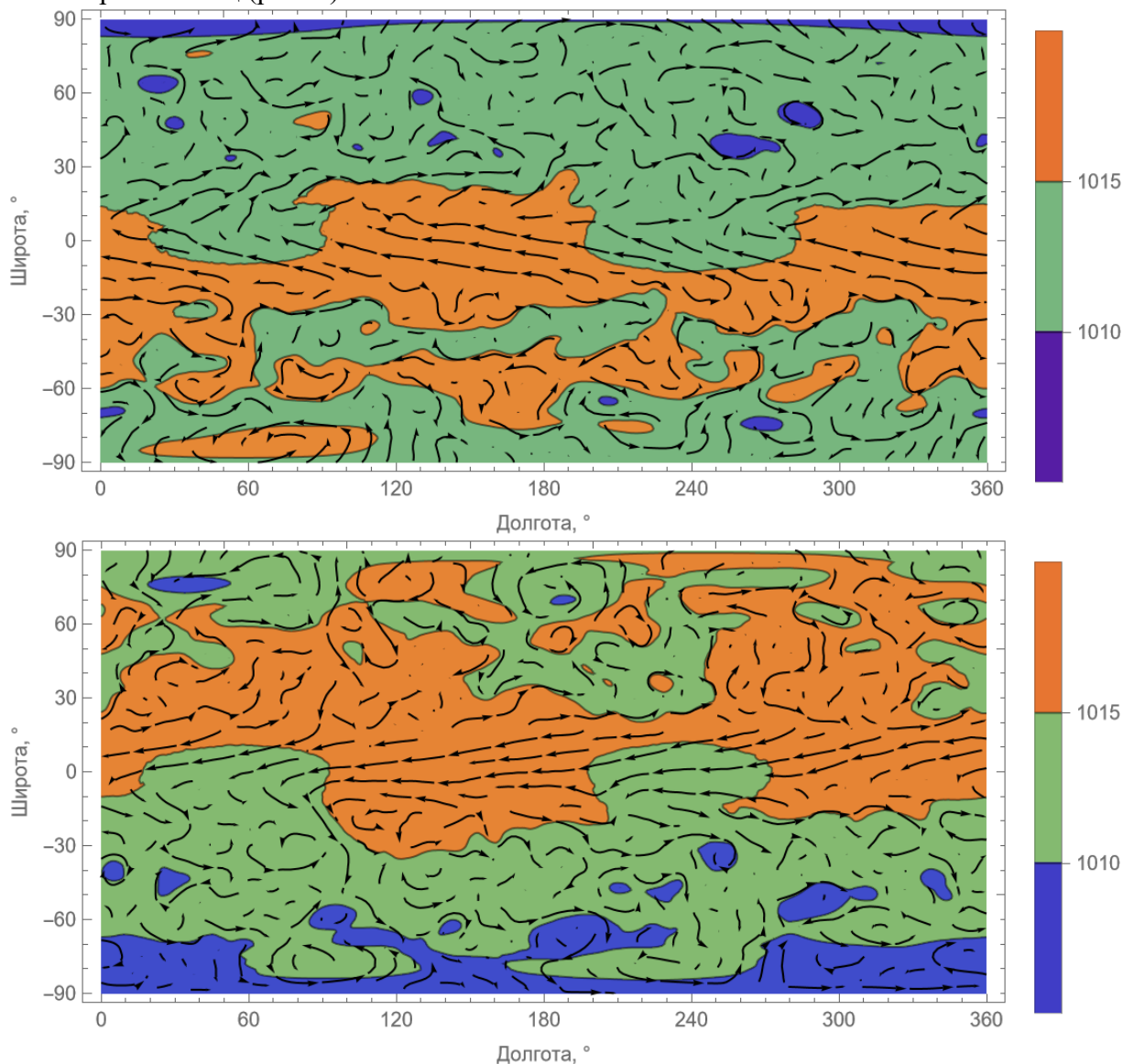


Рис. 1. Линии тока среднего поля скорости ветра и давление на поверхности планеты (гПа).

Сверху вниз: июнь, декабрь. Первый эксперимент

Fig. 1. Streamlines of mean wind speed and pressure at the planet surface (hPa).

From top to bottom: June, December. First experiment.

Пассатные течения существуют круглогодично, в июне они располагаются в южном полушарии в области 10° ю.ш., затем со сменой сезона они смещаются в северное полушарие и наблюдаются в декабре приблизительно на 10° с.ш. Средняя за месяц скорость пассатных течений – не более 3 м/с, что в 3 раза меньше скоростей ветра в этой же зоне на реальной планете [8, 9]. Выше изобарической поверхности 500 гПа (5 км) происходит усиление восточного переноса с максимумами средних месячных скоростей до 22 м/с со смещением центра течений в летнее полушарие (рис. 2). Под воздействием прогретого слоя океана в высоких широтах возникают циклонические и антициклонические вихри, причем в летнем полушарии преобладают циклоны, а в зимнем – антициклоны (рис. 1).

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

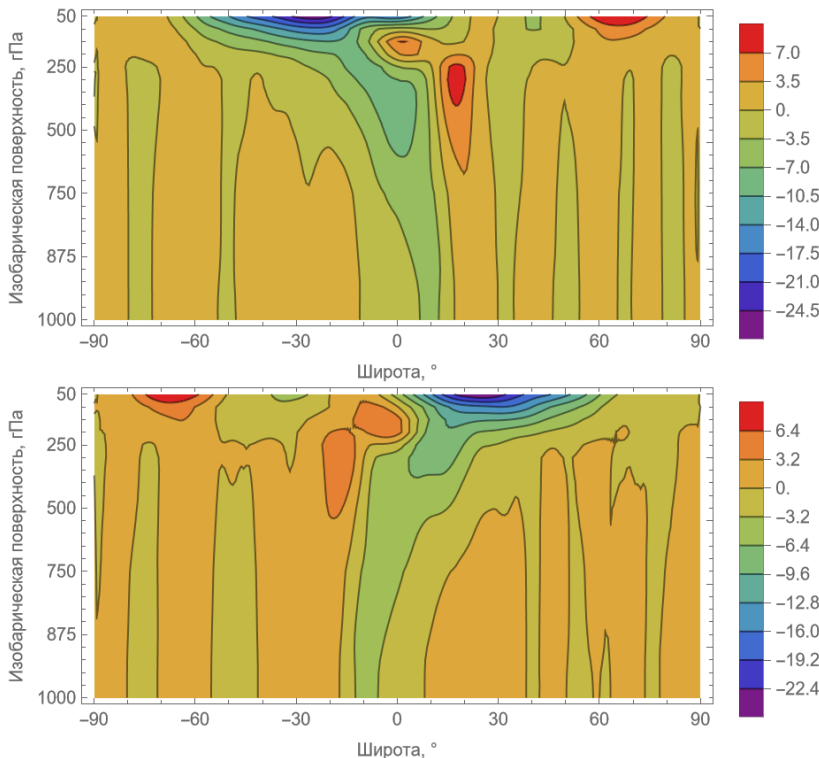


Рис. 2. Среднее поле зональной составляющей скорости ветра (м/с).

Сверху вниз: июнь, декабрь. Первый эксперимент

Fig. 2. Mean field of the zonal component of wind speed (m/s).

From top to bottom: June, December. First experiment.

Специфическое распределение температуры с очень слабыми горизонтальными градиентами в атмосфере водной планеты обусловлено сильным парниковым эффектом. Водяной пар является основным парниковым газом, а в результате интенсивного испарения с поверхности воды в рассматриваемой системе его концентрация очень высока. Атмосферная циркуляция определяется меридиональной неоднородностью температуры при поглощении солнечного излучения (экватор относительно горячий, а полюса холодные). При этом парниковый эффект существенно уменьшает эту неоднородность, что приводит к относительно слабым зональным и меридиональным течениям.

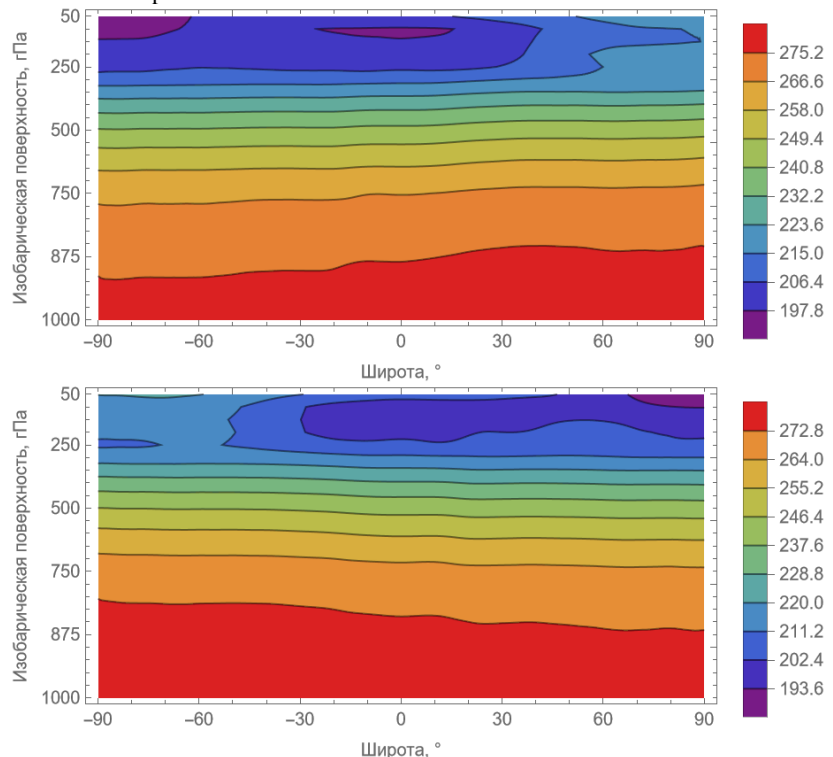


Рис. 3. Среднее поле температуры (K). Сверху вниз: июнь, декабрь. Первый эксперимент

Fig. 3. Mean temperature field (K). From top to bottom: June, December. First experiment.

Средние поля температуры в вертикальном сечении (осреднение по времени в течение месяца и по долготе) представлены на рис. 3, из которого следует, что в случае водной планеты среднее поле температуры достаточно однородно по горизонтали, со значениями около 0°C на изобарической поверхности 850 гПа в зимнем полушарии и немного выше в летнем. Температура стратосферы чрезвычайно низкая в зимнем полушарии (-80°C) и повышается до -60°C в летнем полушарии. Слабый наклон изолиний температуры связан с сезонным смещением инсоляции, в июне максимум температуры в нижнем слое расположен на северном полюсе, а в декабре — на южном полюсе.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

Во втором эксперименте планета имела равнинную поверхность, занятую пустынями по типу Аравийской. При таких условиях крупномасштабная конденсация водяного пара и парниковый эффект играют минимальную роль, а воздействие солнечной радиации является определяющим.

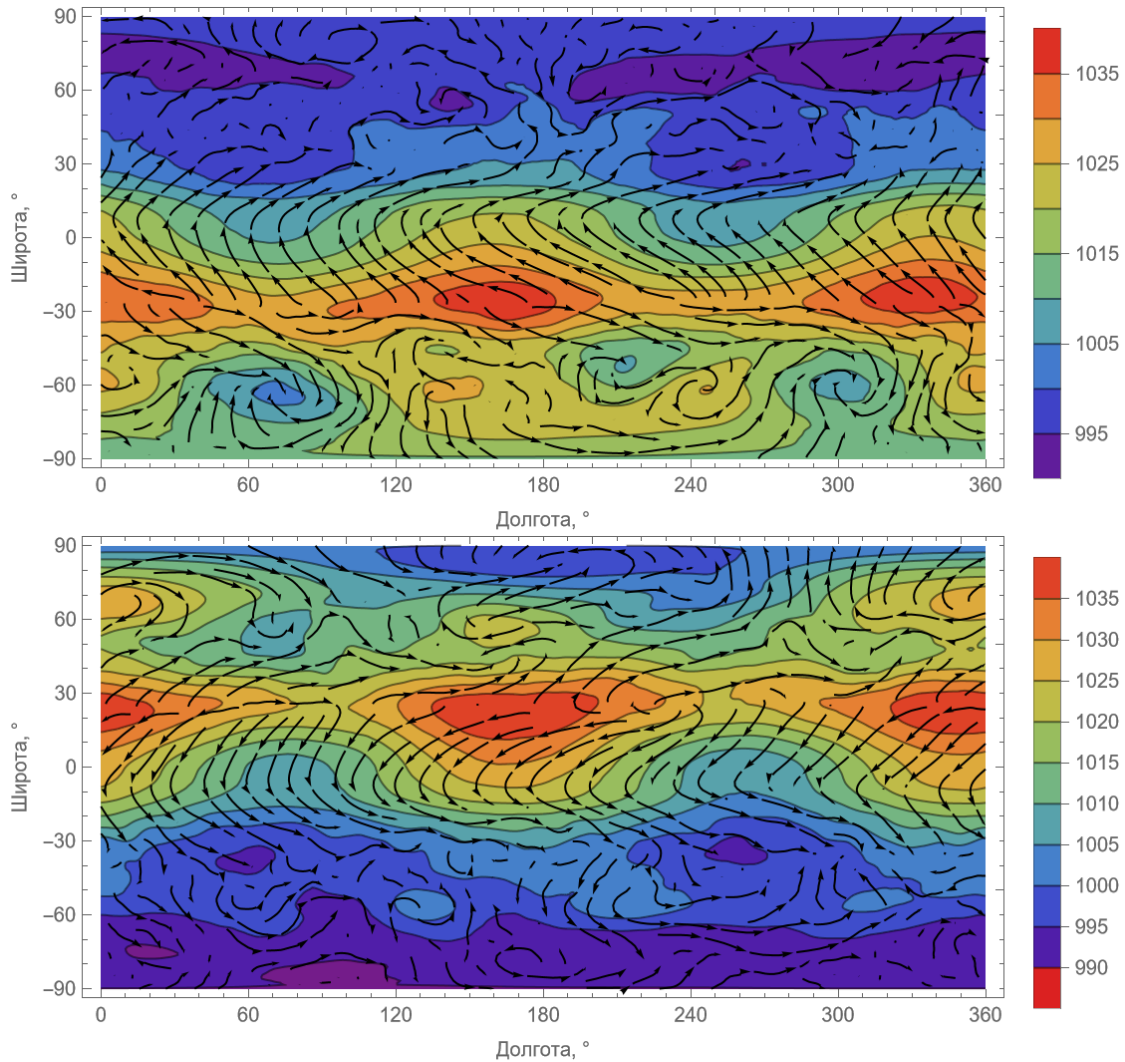


Рис. 4. Линии тока среднего поля скорости ветра и давление на поверхности планеты (гПа).

Сверху вниз: июнь, декабрь. Второй эксперимент

Fig. 4. Streamlines of mean wind speed and pressure at the planet surface (hPa).

From top to bottom: June, December. Second experiment.

На рис. 4 видны области с низким давлением (до 995 гПа) в высоких широтах летнего полушария (70–80° широты). В зимнем полушарии формируются обширные антициклоны с нисходящими движениями. Перепад температуры от экватора к полюсу у поверхности земли в зимнем полушарии – 70°C, в летнем – 10°C (рис. 5). Поле температуры испытывает в течение года сильные изменения: от положительных значений на полюсе в летний период (до 5 км по высоте) к резкому похолоданию до –60°C в зимний период. В средней тропосфере зимнего полушария наблюдается относительно теплая зона, которая сменяется выхожденной, низкотемпературной областью в тропосфере и нижней стратосфере (до –70°C).

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

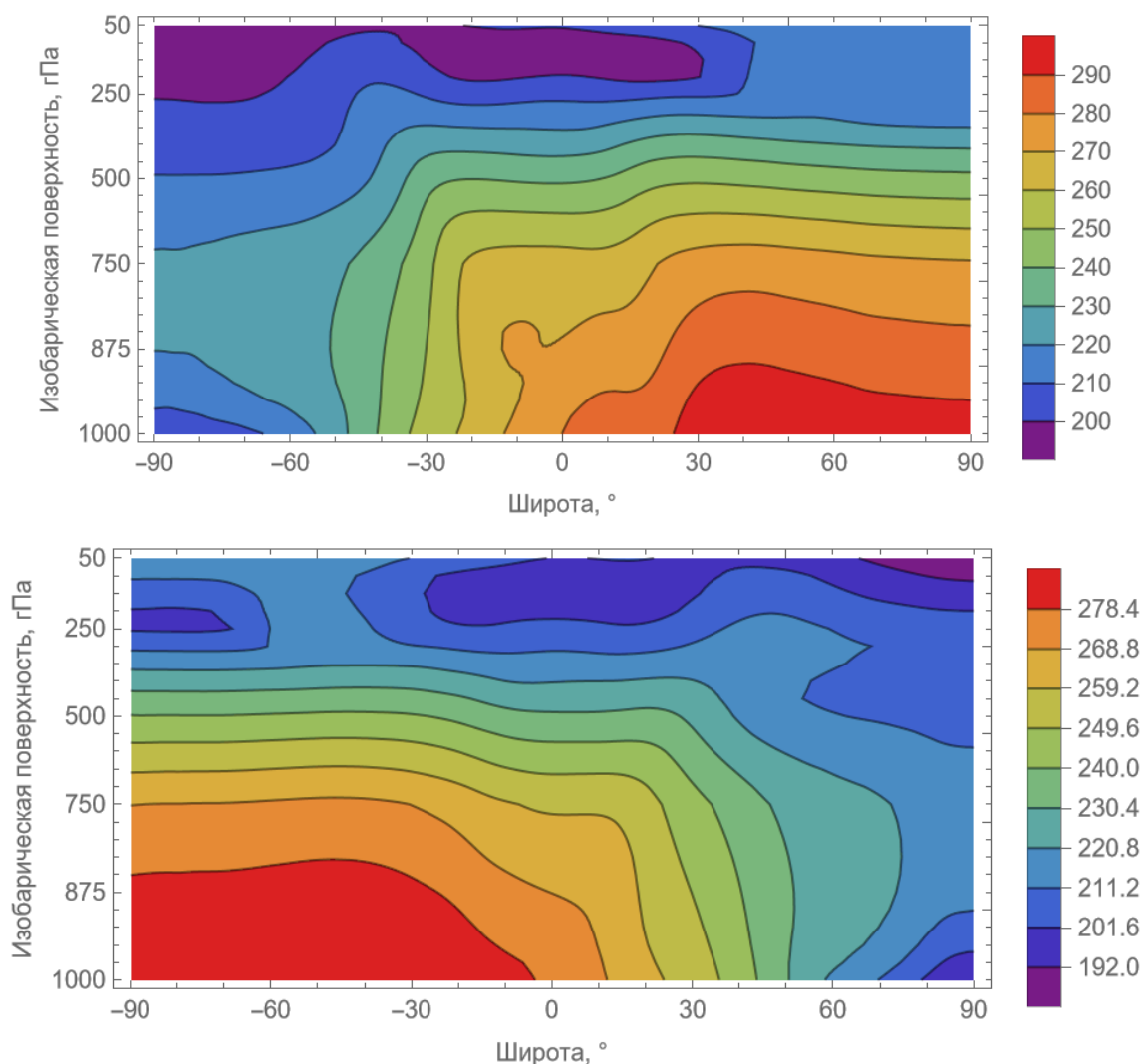


Рис. 5. Среднее поле температуры (K). Сверху вниз: июнь, декабрь. Второй эксперимент
 Fig. 5. Mean temperature field (K). From top to bottom: June, December. Second experiment.

Резкая смена температурных режимов обусловлена низкой теплоемкостью пустынного грунта и низкой атмосферной влажностью. Сильная сезонная зависимость хорошо видна и на интенсивных зональных течениях в верхней части тропосферы, обусловленных переносом углового момента центральной меридиональной ячейкой (аналога ячейки Хэдли). Западные и восточные ветры смещены от экватора в сторону летнего полушария (рис. 6). При смене сезона происходит смещение аналога ячейки Хэдли в другое полушарие, которое приводит к соответствующему изменению в расположении восточных и западных ветров. Отметим также количественные отличия в распределениях температуры и зональных течений (рис. 5–6) для различных сезонов, несмотря на симметричные граничные условия на поверхности различных полушарий.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

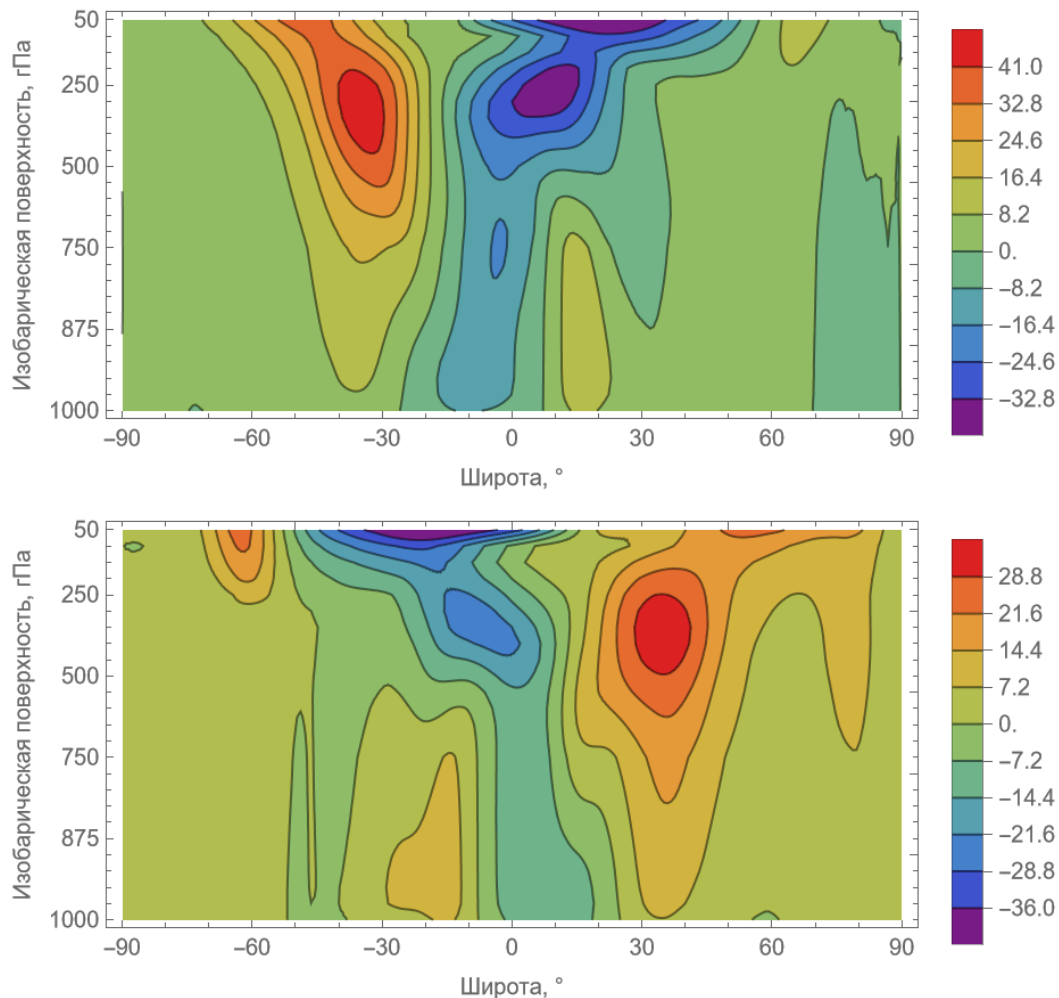


Рис. 6. Среднее поле зональной составляющей скорости ветра (м/с).
Сверху вниз: июнь, декабрь. Второй эксперимент
Fig. 6. Mean field of the zonal component of wind speed (m/s).
From top to bottom: June, December. Second experiment.

В последнем эксперименте были реализованы условия смешанного типа: в экваториальной области расположен океан (от 10° с.ш. до 10° ю.ш.), а все оставшиеся пространства – песчаные пустыни. По сравнению с вариантами 1 и 2 данная конфигурация уже значительно ближе к земным условиям, что дает основания предполагать и схожую структуру крупномасштабных течений. Действительно, из рис. 7 следует, что среднее поле давления и распределение скорости в приповерхностном слое качественно совпадают с наблюдаемыми земными условиями.

Данные реанализа NCEP–NCAR для длительного периода показывают, что летом (июнь) ячейка Хэдли смещена от экватора в южное полушарие, а зимой (декабрь) – в северное [11]. Такой же сценарий для аналога ячейки Хэдли мы наблюдаем и в нашей конфигурации. Сезонные смещения меридиональной ячейки приводят к смещению восточных и западных ветров, а также областей повышенного и пониженного давления. В летний период они расположены в южном полушарии, а в зимний – в северном. Средние распределения для различных сезонов качественно совпадают, однако наблюдаются заметные количественные различия, что свидетельствует о сложной динамике крупномасштабных течений и в упрощенной системе.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

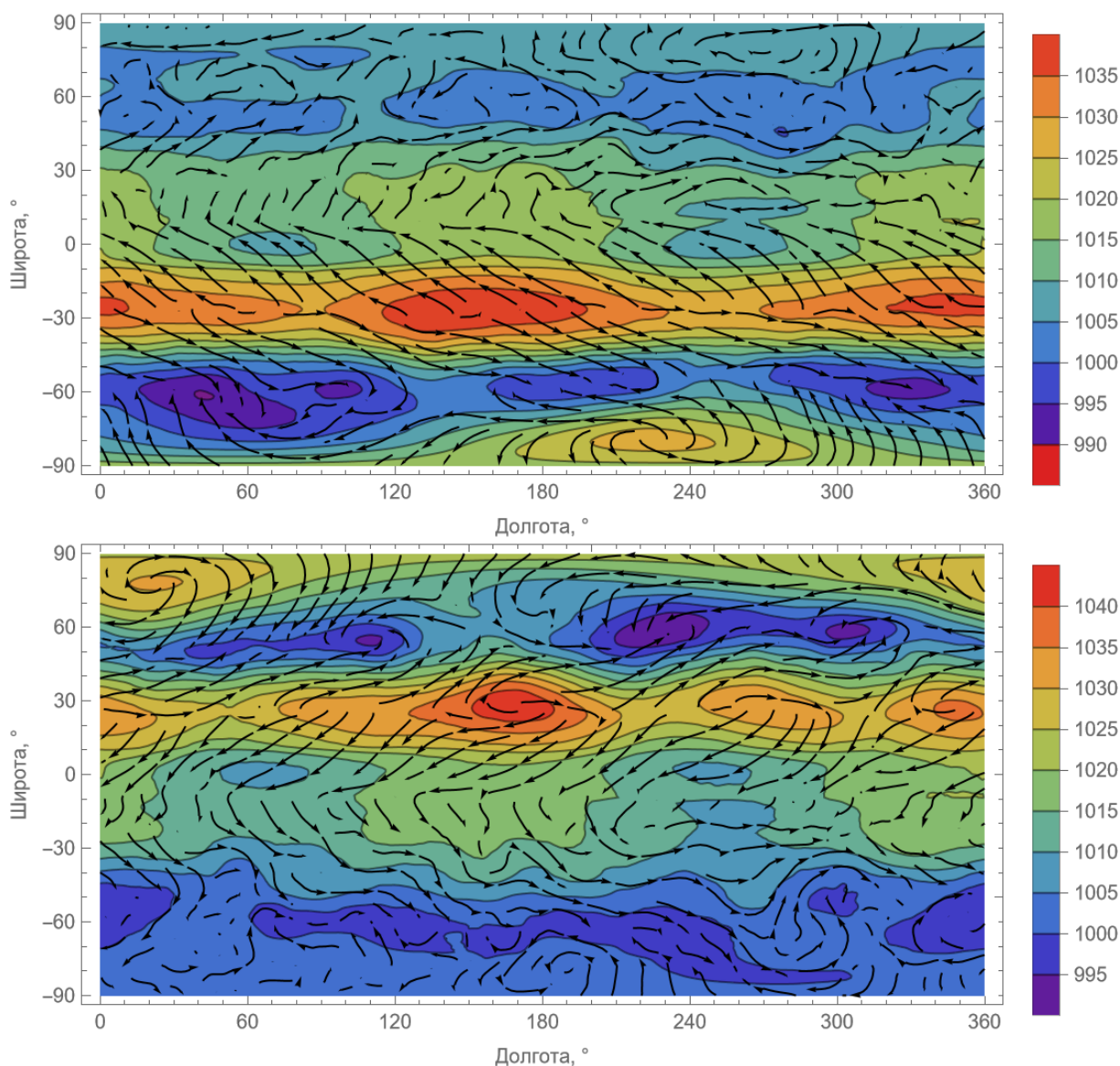


Рис. 7. Линии тока среднего поля скорости ветра и давление на поверхности планеты (гПа).

Сверху вниз: июнь, декабрь. Третий эксперимент

Fig. 7. Streamlines of mean wind speed and pressure at the planet surface (hPa).

From top to bottom: June, December. Third experiment.

Несмотря на наличие полосы теплого океана в экваториальной области структура поля температуры (рис. 8) качественно совпадает с полем температуры для второго эксперимента: область тепла в летнем полушарии и область холода в зимнем. Обширные территории континентов позволяют прогреться воздуху даже в высоких широтах при летней инсоляции. Обратная ситуация отмечается в зимнем полушарии: здесь севернее 60° устанавливается холодная, морозная погода.

На рис. 9 представлено среднее поле скорости зональных течений в июне и декабре. В зимнем полушарии формируются мощные западные струйные течения со средними скоростями 56 м/с. Летнее полушарие хорошо прогрето, с меньшими температурными градиентами, поэтому здесь такие течения выражены слабее (до 17 м/с). По мере смены сезонов происходит перестройка общей циркуляции, в связи с чем струйное течение перемещается в зимнее полушарие и исчезает в летнем. Такая структура характерна для реальных процессов в тропосфере.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

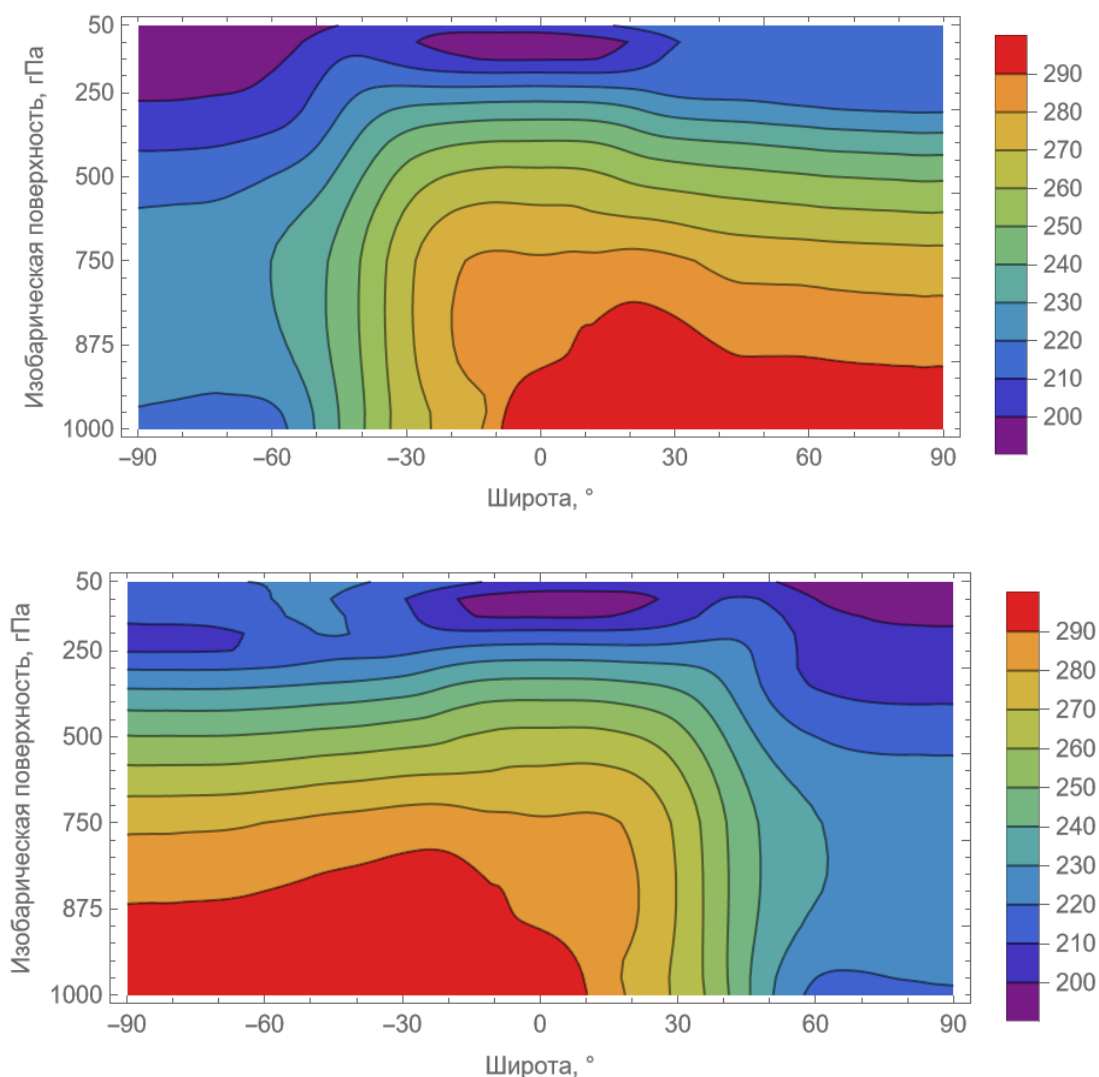


Рис. 8. Среднее поле температуры (K). Сверху вниз: июнь, декабрь. Третий эксперимент
 Fig. 8. Mean temperature field (K). From top to bottom: June, December. Third experiment

В экваториальной зоне можно заметить постоянные потоки восточной составляющей со скоростями у поверхности земли 8 м/с. Это аналог пассатной циркуляции в тропической зоне с сопоставимыми скоростями ветра. Интересна двухуровневая структура воздушных течений восточной составляющей: один максимум восточных течений расположен у поверхности Земли на широте 10° зимнего полушария, другой находится на высоте 3 км и широте 10° летнего полушария. Скорость второго потока чуть выше из-за уменьшения влияния трения земной поверхности.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

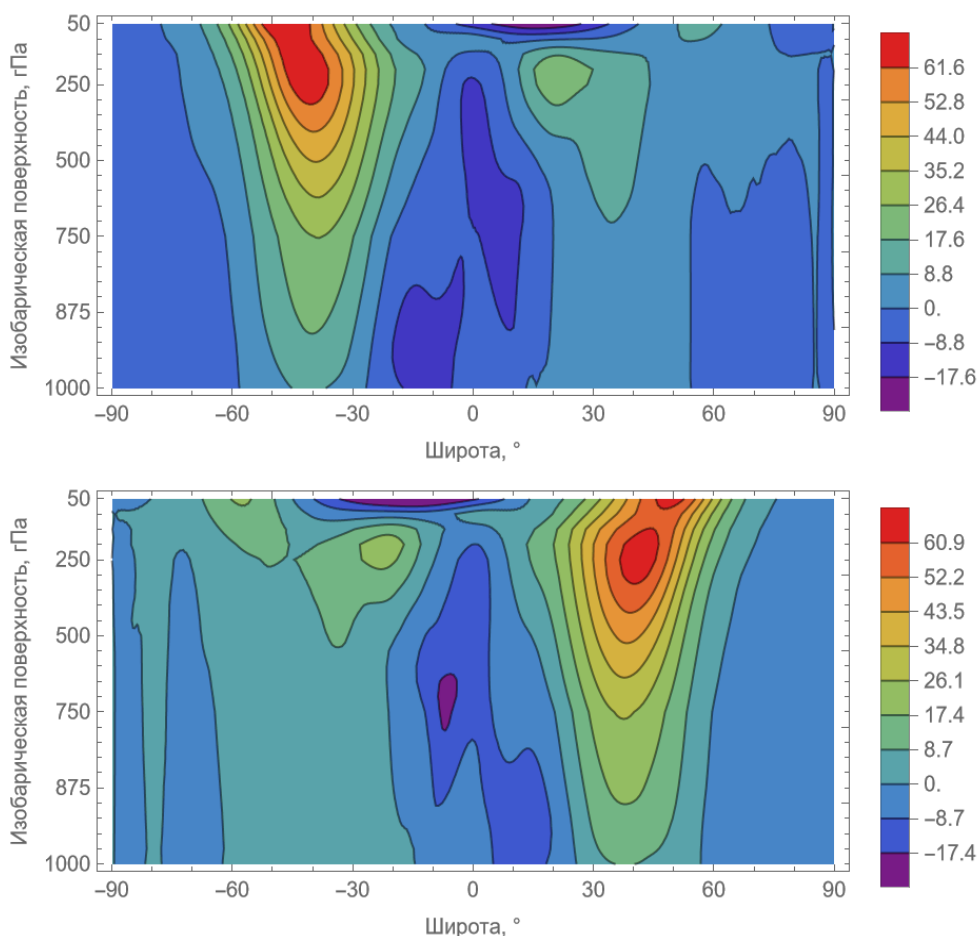


Рис. 9. Среднее поле зональной составляющей скорости ветра (м/с).

Сверху вниз: июнь, декабрь. Третий эксперимент

Fig. 9. Mean field of the zonal component of wind speed (m/s).

From top to bottom: June, December. Third experiment.

Выводы

1. Проведенные численные эксперименты позволяют оценить потенциал модели WRF-ARW для изучения факторов, определяющих элементы общей циркуляции атмосферы.
2. Предельные ситуации – глобальный океан или глобальная пустыня отразили роль фазовых переходов в атмосфере Земли. В первом случае вследствие парникового эффекта циркуляция не выражена из-за отсутствия значимого межширотного градиента. Во втором случае песчаная поверхность, в отличие от океана, не может аккумулировать большое количество тепла, поэтому воздух у поверхности земли быстро охлаждается в зимнем полушарии и быстро нагревается в летнем, ввиду чего пассатные течения не возникают.
3. Комбинация океанических и пустынных зон (все однородны по меридиану) приводит к тому, что крупномасштабная циркуляция атмосферы приобретает черты, близкие к земной, что позволяет рассматривать такую конфигурацию базовой для дальнейших численных экспериментов.
4. Проведенные эксперименты показали ведущую роль поглощенной части солнечной радиации (инсоляции) и вклада водяного пара (парниковый эффект, выделение скрытого тепла) при формировании крупномасштабных атмосферных течений. Реализованная модель WRF-ARW может успешно использоваться для моделирования общей циркуляции атмосферы при различных начальных и граничных условиях.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

Список источников

1. Быков А.В., Ветров А.Л., Калинин Н.А. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 363. С. 101–119.
2. Васильев А.Ю., Попова Е.Н., Сухановский А.Н. Структура течений в лабораторной модели общей циркуляции атмосферы // Вычислительная механика сплошных сред. 2023. 16 (3). С. 321–331. URL: <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2023.16.3.27> (дата обращения: 20.09.2023)
3. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д., Павлюков Ю.Б. Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью решающих конвекцию моделей WRF // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 5–18.
4. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Анализ результатов расчета грозовой активности с помощью индексов неустойчивости атмосферы по данным численной модели WRF-ARW // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 27–37.
5. Калинин Н.А., Ветров А.Л., Свиязов Е.М., Попова Е.В. Изучение интенсивной конвекции в Пермском крае с помощью модели WRF // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 21–30.
6. Калинин Н.А., Шихов А.Н., Быков А.В. Прогноз мезомасштабных конвективных систем на Урале с помощью модели WRF и данных дистанционного зондирования // Метеорология и гидрология. 2017. № 1. С. 16–28.
7. Калинин Н.А., Шихов А.Н., Быков А.В., Тарасов А.В. Анализ результатов численного прогноза ливневых осадков по модели WRF с применением различных параметризаций конвекции (на примере территории Пермского края) // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 3 (373). С. 43–59.
8. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 296 с.
9. Переvedentsev Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В., Шанталинский К.М., Важнова Н.А. Теория общей циркуляции атмосферы. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 2013. 224 с.
10. Das M.K., Das S., Chowdhury M.A.M., Karmakar S. Simulation of tornado over Brahmanbaria on 22 March 2013 using Doppler weather radar and WRF model // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2016. Vol. 7 (5). P. 1577–1599.
11. Dima I.M., Wallace J.M. On the seasonality of the Hadley cell // Journal of the atmospheric sciences. 2003. Vol. 60. N. 12. P. 1522–1527.
12. Fadeev R.Yu., Tolstykh M.A., Volodin E.M. Climate version of the global atmospheric model SL-AV: development and preliminary results. Russ. Meteor. and Hydrol. 2019. Vol. 1. P. 22–35.
13. Harlander U., Sukhanovskii A., Abide, S., Borgia I.D., Popova E., Rodda C., Vasiliev A., Vincze M. New Laboratory Experiments to Study the Large-Scale Circulation and Climate Dynamics // Atmosphere. 2023. 14. 836.
14. Held, I. M. The gap between simulation and understanding in climate modeling // B. Am. Meteorol. Soc. 2005. 86. P. 1609–1614.
15. Hoskins, B.J. Dynamical processes in the atmosphere and the use of models // Q. J. Roy. Meteor. Soc. 1983. 109. P. 1–21.
16. Read P.L., Edgar P.Pérez, Irene M.Moroz and Roland M.B. Young General Circulation of Planetary Atmospheres: Insights from Rotating Annulus and Related Experiments // Modeling Atmospheric and Oceanic Flows: Insights from Laboratory Experiments and Numerical Simulations. AGU. 2014. 368 p.
17. Socolan H., Read P. L. A rotating annulus driven by localized convective forcing: a new atmosphere-like experiment // Experiments in Fluids. 2017. T. 58. № 6. P. 75.
18. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D. O., Liu Z., Berner J. et al. A description of the advanced research WRF model version 4. Boulder, CO: NCAR. 2019.
19. Sukhanovskii A., Popova E. and Vasiliev A. A shallow layer laboratory model of large-scale atmospheric circulation // Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics. Vol. 117. N. 3. 2023. P. 155–176.
20. Tazarek M., Czernecki B., Walczakiewicz S., Mazur A., Kolendowicz L. An isolated tornadic supercell of 14 July 2012 in Poland – A prediction technique within the use of coarse-grid WRF simulation. // Atmospheric Research. 2016 Vol. 178–179. P. 367–379.
21. Vallis, G.K. // Geophysical Fluid Dynamics: Whence, whither and why? P. Roy. Soc. A-Math. Phy. 2016. 472. 23.
22. Vallis G.K. et al. Isca, v1. 0: a framework for the global modelling of the atmospheres of Earth and other planets at varying levels of complexity // Geoscientific Model Development. Vol. 11. N. 3. 2018. P. 843–859.

References

1. Bykov, A.V., Vetrov, A.L., Kalinin, N.A. (2017), Forecast of dangerous convective phenomena in Perm Krai using global forecasting models // *Trudy Gidrometcentra Rossii*, no. 363, pp. 101–119.
2. Vasiliev, A.Yu., Popova, E.N., Sukhanovsky, A.N. (2023), Structure of currents in the laboratory model of atmospheric general circulation // *Vychislitel'naya mekhanika sploshnyh sred*, no. 16 (3), pp. 321–331. <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2023.16.3.27>
3. Veltishev, N.F., Zhupanov, V.D., Pavlyukov, Yu. (2011), Short-term forecast of heavy precipitation and wind with convection-resolving WRF models // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 5–18.
4. Gubenko, I.M., Rubinstein, K.G. (2015), Analysis of the results of thunderstorm activity calculation with the help of atmospheric instability indices based on the WRF-ARW numerical model data // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 27–37.
5. Kalinin, N.A., Vetrov, A.L., Sviyazov, E.M., Popova, E.V. (2013), Study of intense convection in the Perm Krai using the WRF model // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 21–30.
6. Kalinin, N.A., Shikhov, A.N., Bykov, A.V. (2017), Prediction of mesoscale convective systems in the Urals using WRF model and remote sensing data // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 16–28.
7. Kalinin, N.A., Shikhov, A.N., Bykov, A.V., Tarasov, A.V. (2019), Analysis of numerical forecasts of heavy precipitation with the WRF model using various convection schemes (a case study for the Perm Krai), *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, no. 3 (373), pp. 43–59.
8. Matveev, L.T. (1991), *Teoriya obshchej cirkulyacii atmosfery i klimata Zemli*, Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
9. Perevedentsev Yu.P., Mokhov I.I., Eliseev A.V., Shantalinsky K.M., Vaznamova N.A. (2013), *Teoriya obshchej cirkulyacii atmosfery*. Kazan. un-t, Kazan', Russia.

Метеорология

Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.

10. Das M.K., Das S., Chowdhury M.A.M., Karmakar S. (2016), Simulation of tornado over Brahmanbaria on 22 March 2013 using Doppler weather radar and WRF model // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7 (5), pp. 1577–1599.
11. Dima I.M., Wallace J.M. (2003), On the seasonality of the Hadley cell. *Journal of the atmospheric sciences*, vol. 60, no. 12, pp. 1522–1527.
12. Fadeev R.Yu., Tolstykh M.A., Volodin E.M. (2019), Climate version of the global atmospheric model SL-AV: development and preliminary results. *Russ. Meteor. and Hydrol.*, vol. 1, pp. 22–35.
13. Harlander U., Sukhanovskii A., Abide, S., Borcia I.D., Popova E., Rodda C., Vasiliev A., Vincze M. (2023), New Laboratory Experiments to Study the Large-Scale Circulation and Climate Dynamics. *Atmosphere*, 14, 836.
14. Held, I. M. (2005), The gap between simulation and understanding in climate modeling. *B. Am. Meteorol. Soc.* 86, pp. 1609–1614.
15. Hoskins, B.J. (1983), Dynamical processes in the atmosphere and the use of models. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 109, pp. 1–21.
16. Read P.L., Edgar P.Pérez, Irene M.Moroz and Roland M.B. (2014), Young General Circulation of Planetary Atmospheres: Insights from Rotating Annulus and Related Experiments. *Modeling Atmospheric and Oceanic Flows: Insights from Laboratory Experiments and Numerical Simulations*, AGU, 368 p.
17. Socolan H., Read P. L. (2017), A rotating annulus driven by localized convective forcing: a new atmosphere-like experiment. *Experiments in Fluids*, t. 58, no. 6, pp. 75.
18. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D. O., Liu Z., Berner J. et al. (2019), A description of the advanced research WRF model version 4. Boulder, CO: NCAR.
19. Sukhanovskii A., Popova E. and Vasiliev A. (2023), A shallow layer laboratory model of large-scale atmospheric circulation. *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, vol.117, no. 3, pp. 155–176.
20. Tazsarek M., Czernecki B., Walczakiewicz S., Mazur A., Kolendowicz L. (2016), An isolated tornadic supercell of 14 July 2012 in Poland – A prediction technique within the use of coarse-grid WRF simulation. *Atmospheric Research*, vol. 178–179, pp. 367–379.
21. Vallis, G.K. (2016), Geophysical Fluid Dynamics: Whence, whither and why? *P. Roy. Soc. A-Math. Phys.* 2016. 472. 23.
22. Vallis G.K. et al. (2018), Isca, v1. 0: a framework for the global modelling of the atmospheres of Earth and other planets at varying levels of complexity. *Geoscientific Model Development*, vol. 11, no. 3, pp. 843–859.

Статья поступила в редакцию: 28.09.2023, одобрена после рецензирования: 10.10.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 28 September 2023; approved after review: 10 October 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Алексей Васильевич Быков

кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Alexey V. Bykov

Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Meteorology and Atmospheric Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: blexx256@yandex.ru

Андрей Леонидович Ветров

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Andrey L. Vetrov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: alvetrov@yandex.ru

Петр Готлобович Фрик

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Физической гидродинамики, Институт механики сплошных сред УрО РАН; 614018, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1

Petr G. Frick

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Physical Hydrodynamics, Institute of Continuous Media Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Akademika Koroleva st., Perm, 614013 Russia

e-mail: frick@icmm.ru

*Метеорология**Быков А.В., Ветров А.Л., Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Калинин Н.А., Степанов Р.А.***Андрей Николаевич Сухановский**

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Физической гидродинамики, Институт механики сплошных сред УрО РАН;

614018, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1

Николай Александрович Калинин

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Родион Александрович Степанов

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Физической гидродинамики, Институт механики сплошных сред УрО РАН;

614018, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1

Andrei N. Sukhanovskii

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Physical Hydrodynamics, Institute of Continuous Media Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Akademika Koroleva st., Perm, 614013 Russia

e-mail: san@icmm.ru

Nikolay A. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Meteorology and Atmospheric Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: kalinin@psu.ru

Rodion A. Stepanov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Physical Hydrodynamics, Institute of Continuous Media Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Akademika Koroleva st., Perm, 614013 Russia

e-mail: rodion@icmm.ru

Вклад авторов

Быков А.В. – проведение расчетов, сбор и обработка данных.

Ветров А.Л. – анализ данных, написание статьи.

Фрик П.Г. – идея статьи, организация работ, редактирование статьи.

Сухановский А.Н. – анализ данных, редактирование статьи.

Калинин Н.А. – организация работ, редактирование статьи.

Степанов Р.А. – обработка и анализ данных, подготовка графического материала.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Alexey V. Bykov – numerical simulations; data collection and processing.

Andrey L. Vetrov – data analysis; writing the article.

Petr G. Frick – idea of the article; organization of work, editing of the article.

Andrei N. Sukhanovskii – data analysis; editing of the article.

Nikolay A. Kalinin – organization of work; editing of the article.

Rodion A. Stepanov – data processing and analysis, preparation of graphic material.

The authors declare no conflict of interest.

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

Научная статья

УДК 551.509.5

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-99-109

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW ДЛЯ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ О КЛИМАТЕ МЕГАПОЛИСА И ЕГО ПРИГОРОДОВ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНААлен Арманович Коспанов¹, Павел Игоревич Константинов²^{1, 2} Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия² Российский Гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия¹ kospanov.alen@gmail.com² kostadini@mail.ru

Аннотация. Современный уровень развития городской метеорологии как синтетической науки, включающей в себя элементы климатологии, экологии, урбанистики и вычислительной математики, требует создания адекватных баз данных для метеорологических параметров, поскольку только они могут быть востребованы для решения задач как прикладных наук, так и фундаментальных исследований.

Поэтому полученная информация о внутригородском распределении температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра должна отвечать наиболее строгим критериям качества. Наиболее современным методом для получения баз данных высокого разрешения является гидродинамическое моделирование с использованием региональных моделей прогноза погоды и климата (WRF, COSMO_RU, ENVIRO-HIRLAM итд).

Однако для горизонтального разрешения порядка километра уже требуется использовать так называемые многоуровневые параметризации городского приземного слоя атмосферы, учитывающего вертикальную структуру внутри городской застройки. Исходя из этого перспективно адаптировать самые современные физически обоснованные параметризации нижней атмосферы, такие как Building Energy Parameterization (BEP) и Building Energy Model (BEM) для популярной, свободно распространяемой региональной модели WRF-ARW, на примере Московского региона (Москва + Московская область). Обзору преимуществ данного подхода и результатов первых вычислительных экспериментов и посвящена данная статья.

В статье даются оценки точности воспроизведения температуры и относительной влажности воздуха для полноценного эксперимента по динамическому даунскейлингу данных реанализа ERA5 в пределах Московского региона за 2010 год (как период с заметными сезонными контрастами температуры и включающий в себя печально известную экстремальную волну жары на ЕТР) и приводятся соображения относительно природы пространственных различий в пределах домена.

Ключевые слова: городской климат, WRF-ARW, многоуровневые параметризации BEP-BEM, Московский регион

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2021-938 «Развитие инфраструктуры для оценки качества воздуха в Московском мегаполисе». Работа А.А. Коспанова в области проведения численных экспериментов по адаптации модели WRF-ARW к крупному шагу сетки частично выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-27-00254.

Для цитирования: Коспанов А. А., Константинов П. И. Применение многоуровневой параметризации городских ландшафтов в климатической модели wrf-arw для создания базы данных о климате мегаполиса и его пригородов: первые результаты на примере Московского региона // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.99–109. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-99-109

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-99-109

APPLICATION OF MULTI-LAYER PARAMETERIZATION OF URBAN LANDSCAPES IN WRF-ARW REGIONAL MODEL TO CREATE A DATABASE ON THE CLIMATE OF A MEGACITY AND ITS SUBURBS: FIRST RESULTS FOR THE MOSCOW REGIONAlen A. Kospanov¹, Pavel I. Konstantinov²^{1, 2} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia¹ kospanov.alen@gmail.com² kostadini@mail.ru

*Метеорология**Коспанов А.А., Константинов П.И.*

Abstract. The current development level of urban meteorology as a synthetic science that includes elements of climatology, ecology, urban studies, and computational mathematics requires the creation of adequate databases of meteorological parameters: only in this way can they be properly used for solving problems of both applied sciences and fundamental research.

Therefore, obtaining information on the intra-urban distribution of air temperature, relative humidity, and wind speed must meet the most stringent quality criteria. The most modern method for obtaining high-resolution databases is hydrodynamic modeling with the use of regional weather and climate forecast models (WRF, COSMO_RU, ENVIRO-HIRLAM, etc.).

However, for horizontal resolution of about a kilometer it is already necessary to use so-called multilevel parameterizations of the urban surface layer of the atmosphere, which take into account the vertical structure within the urban area. For this purpose, it seems promising to adapt the most modern physically based parameterizations of the lower atmosphere, such as Building Energy Parameterization (BEP) and Building Energy Model (BEM), for the popular, freely distributed regional model WRF-ARW, which has been used in our study for the Moscow region (Moscow + Moscow Oblast). The article reviews the advantages of this approach and the results of the first computational experiments. We provide estimates of the accuracy of temperature and relative humidity simulation for a full-fledged experiment on dynamic downscaling of ERA5 reanalysis data within the Moscow region for 2010 (as a period with notable seasonal temperature contrasts, including the infamous extreme heat wave over European Russia).

Keywords: urban climate, WRF-ARW, multilevel parameterization BEP-BEM, Moscow region

Funding: the research was financially supported by Grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-15-2021-938 'Development of infrastructure for air quality assessment in the Moscow megacity'. The work of A.A. Kospanov in part of numerical experiments on the adaptation of WRF-ARW model to large spatial resolution was partially supported by the Russian Science Foundation under project No. 23-27-00254.

For citation: Kospanov, A. A., Konstantinov, P. I. (2023). Application of multi-layer parameterization of urban landscapes in WRF-ARW regional model to create a database on the climate of a megacity and its suburbs: first results for the Moscow region. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.99–109. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-99-109

Введение

Уже в первом десятилетии XXI в. развитие численных методов прогноза погоды и климата характеризовалось переходом от гидростатического к негидростатическому моделированию. Передовые метеорологические центры осуществляют прогноз погоды для ограниченной территории с шагом сетки порядка первых километров, явно разрешающим конвективные процессы. Однако подобный шаг сетки иногда не особенно практичен для долгосрочных климатических вычислительных экспериментов в силу нескольких причин. Одним из главных ограничивающих факторов является высокая вычислительная емкость подобных расчетов: поэтому при переходе от глобальных климатических моделей к моделированию климата на региональном масштабе необходимо четко понимать преимущества и точность данного подхода на количественном уровне.

Результаты данных расчетов обычно «упаковываются» в городские базы данных метеорологических полей, которые отличаются от глобальных (например, базы данных «реанализа») более высоким пространственным и временным разрешением. Ограниченный размер области счета позволяет использовать сложные параметризации процессов подсеточного масштаба, дающие возможность точно воспроизводить динамику метеорологических полей под влиянием местных факторов, например, сложного рельефа или городского климата. Кроме того, важно различать «реанализ» и «даунскейлинг» – телескопизацию: процесс, по сути, масштабирования, переход от более грубого шага сетки к более мелкому. Создание «базы данных реанализа» подразумевает усвоение данных наблюдений, что не всегда возможно при воспроизведении регионального климата в силу ограниченных вычислительных ресурсов или закрытых данных.

В данной работе речь пойдет о создании базы данных первого рода – данных динамического даунскейлинга глобального реанализа ERA5 [5] на примере 2010 г., как года с весьма контрастными погодными условиями.

Но почему же не ограничиться данными прямых метеорологических измерений? Дело в том, что в рамках своей основной задачи синоптические станции при размещении должны отражать климатические характеристики фоновой территории, не измененной антропогенной деятельностью, исходя из чего использование данных синоптической сети наблюдений для анализа городского климата методологически невозможно. При этом воспроизведение микроклиматических особенностей внутри города необходимо в связи с изменчивостью темпе-

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

ратур, в том числе экстремальных. Поэтому развитие именно городских микроклиматических баз данных является перспективным путем изучения городского климата на локальном масштабе. В качестве правильных инструментов для качественного моделирования авторы предлагают рассмотреть модель WRF-ARW с возможностью параметризации физических процессов городского пограничного слоя Building Energy Parametrization (BEP) и Building Energy Model (BEM) на примере Московского региона.

Модельный комплекс WRF-ARW

WRF – модельный комплекс, позволяющий решать задачи численного моделирования на различных масштабах. Благодаря открытому коду и длительному времени разработки именно эта модель стала наиболее часто используемой при исследованиях различных атмосферных процессов. Основными блоками модельного комплекса являются блок препроцессинга, динамическое ядро и блок постпроцессинга [21] (рис. 1).

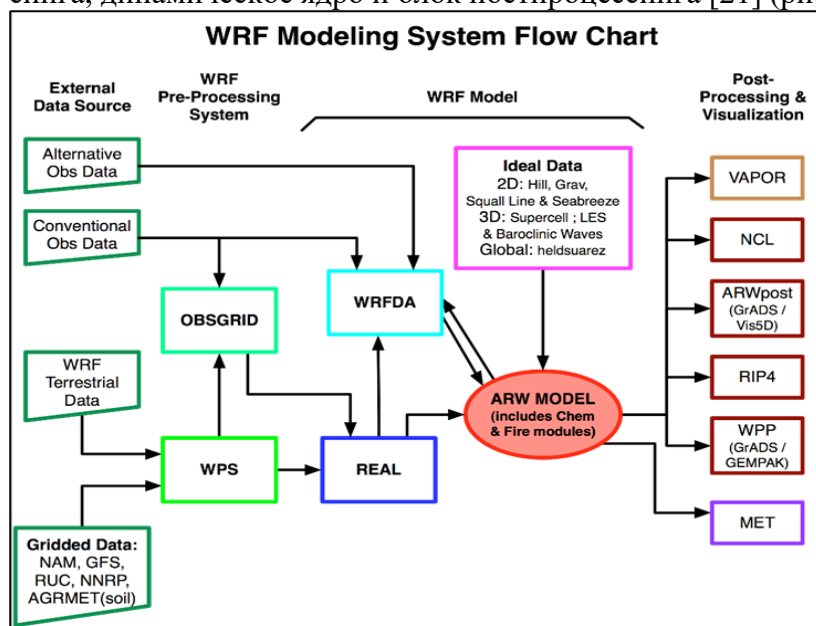


Рис. 1. Блок-схема модельного комплекса WRF [21]

Fig.1. Block diagram of the WRF modeling complex [21]

Различные дополнения к модели позволяют проводить эксперименты в области атмосферной химии, прогноза пожароопасности, а также гидрологическое моделирование.

Предыдущая версия модели – MM5 также использовалась для моделирования термического режима, например, Уральского региона [8], с высоким пространственным разрешением (8 км). Важной частью любой модели атмосферы являются параметризации процессов подсеточного масштаба, напрямую не воспроизводимыми WRF-ARW. Здесь уместно сравнение с фотографией – если размер объекта фотографирования одного порядка с размером пиксела, то свойства объекта, в частности, пространственная неоднородность внутри него, не будут переданы.

Исходя из поставленной задачи наиболее интересными для исследования были схемы параметризации подстилающей поверхности, пограничного слоя атмосферы и городских процессов. При шаге сетки 1 км большинство домов и улиц будут усредняться рядом с деревьями, поэтому очень важно знать хорошо параметризованные процессы городской циркуляции. По этой причине наиболее перспективным представляется использование параметризации BEM (Building Energy Model) [14], [15], которая будет подробно рассмотрена ниже. Если кратко, она позволяет рассчитать большое количество потоков тепла внутри городского ландшафта (“в” и “из” здания, между этажами, отопление), а также эффект городского каньона, обеспечивая при этом получение наиболее точных данных о распределении метеороло-

При моделировании с помощью динамического ядра ARW решается система уравнений Эйлера для сжимаемой жидкости. Прогностическими переменными являются: горизонтальные и вертикальная составляющие скорости ветра, а также данные отклонения давления на поверхности, потенциальная температура, параметры, отражающие состояние воды в различных фазах в атмосфере и геопотенциала относительно заданного стандартного распределения этих величин в атмосфере [17].

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

гических величин в городе. При этом следует иметь в виду, что успешные схемы параметризации пограничного слоя атмосферы, представленные в модели WRF [7], [22], не всегда совместимы с «городскими» схемами параметризаций [15]. Исключениями являются только схемы Bougeault-Lacarrere [1], YSU [11] и Mellor-Yamada-Janjic [6], которые могут включать и городские процессы.

Обзор существующих методик описания процессов в городских ландшафтах в региональных моделях атмосферы и климата

Параметризация UCM (Urban Canopy Model). Концептуально одномерные параметризации городской подстилающей поверхности были представлены еще в работе [13], где за единичный элемент городского энергетического баланса принимается городской каньон. Именно в городских каньонах производится обмен импульсом и энергией с атмосферой. Подобные модели применяются при сетках модели с первым уровнем выше, чем характерная высота зданий в городе, например, 50 м. Х. Кусака, как автор первых одноуровневых параметризаций для модели WRF, в статье 2001 г. [9] предлагает следующую схему для теплового баланса города.

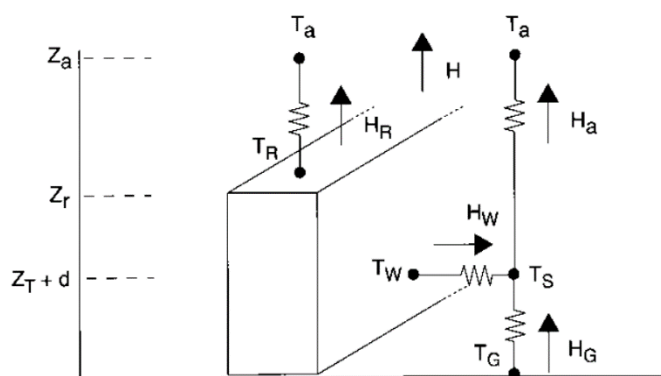


Рис.2. Схема одноуровневой параметризации процессов в городском пологое атмосферы [9]

Fig.2. Scheme of single-level parameterization of processes in the urban canopy [9]

В данной схеме T_a – температура воздуха на первом уровне модели с высотой z_a , H – потоки тепла от крыши и стен, T – температуры крыши и стен.

В параметризации также используется схема упрощения геометрии зданий – улицы представлены двумерными симметричными городскими каньонами с бесконечной длиной. Несмотря на это радиационные процессы имеют трехмерное представление, так как учитывают и направление улицы, и изменение зенитного угла Солнца в течение суток.

Цель разработчиков схемы параметризации – описание эффекта городской подстилающей поверхности и явное задание переноса тепла и импульса между городом и свободной атмосферой. Для этого в параметризации рассчитываются температуры стен, крыш и дорог по соответствующему радиационному балансу. Подобная схема одноуровневого города представлена в городских параметризациях других региональных моделей. Например, схожая схема используется в параметризации TERRA_URB в модели COSMO [19], [20].

При рассмотрении исходного кода параметризации выделяется несколько типов переменных. Во-первых, это городские константы, которые можно задать вручную. Для этого в ядре модели создан отдельный файл, в котором можно задать альбедо стен, крыш и дорог, теплоемкость элементов зданий, поток антропогенного тепла, а также граничное условие на наименьшую температуру здания. Во-вторых, это входные переменные из мезомасштабной модели, а именно косинус зенитного угла Солнца, потоки радиации (зависит от облачности и влажности), скорость и направление ветра на модельных уровнях, влажность воздуха и температура. В-третьих, это выходные переменные, которые являются форсингом параметризации в модели. В чистом виде обратный форсинг задается изменением геометрии потоков тепла, появлением явного и скрытого тепла. В виде взаимозависимых переменных изменяются скорость и направление ветра после учета трения о здания, а также температуры поверхностей.

Подводя итоги, важными характерными особенностями данной параметризации являются вычислительная простота, дающая возможность сократить не только время вычислений, но и большое количество настраиваемых параметров города. Ограничение модели –

*Метеорология**Коспанов А.А., Константинов П.И.*

иногда недостаточный учет обмена теплом внутри зданий, т. е. главное ограничение состоит в парадигме одноуровневой модели [10]: большие ошибки в воспроизведении скорости ветра. Это свойство не позволяет решать задачи воспроизведения застойных эффектов в городе, а также оценивать реальные скорости ветра в пределах застройки. Поэтому следующим эволюционным шагом является развитие многослойных параметризаций городской атмосферы.

Многослойная параметризация BEP + BEM (Building Energy Model). Разработка параметризации городской подстилающей поверхности коллективом ученых, разработавших BEM (Building Energy Model), началась еще в начале 2000-х гг. Изначально была создана схема поверхностного обмена импульсом и теплом для мезомасштабной модели. Согласно [14], необходимость создания параметризации заключалась в описании городского качества воздуха. В частности, рассматривается два масштаба – городской масштаб первых десятков километров, где происходит выброс загрязнителей. Казалось бы, причем здесь город в понимании работы как непосредственно остров тепла? Изначально подробное описание высотной структуры города и турбулентного обмена импульсом позволило далее более точно описать городское замедление ветра.

По мере разработки параметризаций BEP и BEM в 2010 г. вышла статья, в которой сохранилось описание данной модели как новой парадигмы городского моделирования [14], [15]. Впервые были совмещены описания процессов переноса внутри зданий и процессы городской мезомасштабной метеорологии. Антропогенные потоки тепла задавались не как константа, а как зависящая от метеопараметров (температуры и скорости ветра в неявном виде через поддержание температуры и влажности в здании) величина. Это позволило значительно улучшить воспроизведение городского острова тепла в мезомасштабной модели WRF в сравнении с предыдущими параметризациями [16].

Первоначально, однако, была разработана схема BEP [12], которая не включала в себя потоки тепла внутри зданий, а также влияние количества человек на этаже. В отличие от UCM рассматриваемая трехмерная модель городской подстилающей поверхности учитывает вертикальное распределение источников и стоков тепла и импульса в виде зданий. Наряду с этим учитываются влияние вертикальных (стены) и горизонтальных (крыши, дороги) поверхностей на импульс, турбулентная кинетическая энергия и потенциальная температура, а также расчет потоков тепла от стен и дорог, факторы затененности, отражения и постепенной диссипации тепловой энергии Солнца внутри городских каньонов посредством нагрева поверхностей.

Параметризация BEM является продолжением схемы BEP, где впервые уделяется большое внимание переносу тепла по стенам, крышам и дорогам (прямую теплопередачу), тепловому обмену через окна, обмену теплом между этажами в здании, выделению тепла техникой, людьми и отоплением/кондиционированием зданий. Таким образом, оценивается влияние на температуру отопления, что впервые отмечалось в мезомасштабных моделях. Дальнейшие доработки параметризации BEM позволили ввести большое количество дополнительных параметров, которые можно изменять для каждого конкретного домена моделирования.

Важная веха в развитии BEM – возможность использования концепции локальных климатических зон (LCZ), предложенных в 2012 г. [18] и подробно описанных в [2], [3] Этот концепт включает в себя разделение города на несколько типов застройки с различными параметрами поверхности, что позволяет более подробно и точно описать неоднородную структуру застройки города с точки зрения потоков тепла и импульса.

*Метеорология**Коспанов А.А., Константинов П.И.***Методика модельных экспериментов для Московского мегаполиса**

Начиная с версии 4.3 в модели WRF появилась прямая возможность работы с картами локальных климатических зон. Для использования данных о локальных климатических зонах с помощью Python-скрипта анализируется тип подстилающей поверхности в домене. В случае городского типа подстилающей поверхности данные вырезаются, а далее на место городских ячеек переносится соответствующая локальная климатическая зона. Для работы программы необходимо, чтобы карта локальных климатических зон для города была больше по размеру, чем домен. В связи с тем, что имеющийся набор данных на момент проведения эксперимента не охватывал интересующий домен, моделирование проводилось без использования локальных климатических зон с помощью более традиционного подхода, в котором данные о подстилающей поверхности получаются из стандартного загружаемого набора данных MODIS с разрешением 15 угловых секунд.

Согласно проведенному районированию городские параметры для схемы ВЕР-ВЕМ включают в себя следующие параметры:

- 1) альбедо отдельно дорог, стен, крыш;
- 2) теплоемкость отдельно дорог, стен, крыш;
- 3) возможность ввода зеленых крыш с выбором вида растительности и профиля ирригации;
- 4) кондиционирование зданий – эффективность, комфортная температура и влажность, время включения и выключения кондиционеров, доля зданий с кондиционированием;
- 5) поддерживаемая температура внутри зданий;
- 6) количество людей на этаже;
- 7) поток тепла от техники;
- 8) параметры шероховатости крыш;
- 9) распределение зданий по высотам;
- 10) направление улиц.

Вариация этих параметров позволяет не только получать систему мезомасштабного моделирования конкретно для данного региона, но и проводить эксперименты, например, включать или отключать отопление и кондиционирование по всей Москве или добавлять зеленые крыши на весь город. Тестовые эксперименты для всего Московского региона в данной парадигме охватывали весь 2010 год.

Так, в рамках эксперимента проводился динамический даунскейлинг распространяемых в открытом доступе данных реанализа ERA5 с 1950 г. на широтно-долготной сетке с шагом $0,25^\circ$, что соответствует примерно 27 км между соседними узлами сетки. Наряду с этим использовались для телескопизации две последовательно вложенные сетки модели WRF-ARW (параметризация города ВЕР-ВЕМ) – с горизонтальными шагами сетки 5 км и 1 км. Самый крупный домен имел горизонтальный размер 240×240 ячеек и 52 вертикальных уровня. Временное разрешение выходных данных составило 1 ч.

Вычисления производились на суперкомпьютере Гидрометцентра России CrayXC40 на 17 узлах по 36 ядер в каждом. Параметры распараллеливания вычислений в модели WRF ограничивали максимальное количество узлов – 576, поэтому для задачи чтения и записи было запрошено еще 36 ядер: действие осуществлялось 4 процессами по 9 ядер в каждом. В результате средняя скорость счета составила около 40–45 модельных суток за реальные сутки.

Для удобства дальнейшей работы в рамках численных экспериментов была реализована в программном коде система вывода файлов, в которых содержались параметры, измеряемые на метеостанциях Московской области, а также основные параметры на изобарических поверхностях. Это было необходимо, поскольку полный выходной файл модели содержит более 100 переменных, большая часть из которых не пригодна для сравнения ввиду отсутствия дан-

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

ных наблюдений. Выходной массив метеорологических переменных приведен в табл. 1.

Таблица 1

Составляющие выходного массива метеорологических параметров атмосферы по итогам эксперимента с WRF-ARW
Components of the output array of meteorological parameters based on the results of the WRF-ARW experiment

Положение / модельный уровень	Метеорологический параметр
На высоте 2 м над подстилающей поверхностью	Удельная влажность
	Температура воздуха
На высоте 10 м над подстилающей поверхностью	Компоненты скорости ветра
Приземный слой	Атмосферное давление на поверхности Земли
	Поток тепла в почву
	Глубина снежного покрова
	Косинус зенитного угла Солнца
	Высота над уровнем моря
	Температура поверхности
	Накопленная сумма осадков
	Накопленная сумма осадков в твердой фазе
	Мгновенные потоки коротковолновой и длинноволновой радиации восходящие и нисходящие на уровне поверхности земли
	Высота пограничного слоя атмосферы
	Поток явного тепла
	Поток скрытого тепла
	На модельных уровнях WRF-ARW
Балл облачности	
На изобарических поверхностях	Компоненты скорости ветра
	Температура воздуха
	Относительная влажность
	Геопотенциал
	Скорость ветра
	Температура точки росы
	Удельная влажность

Результаты и обсуждение

Итогом работы, как и логично предположить, разумно представить оценки точности воспроизведения полей метеорологических величин с помощью WRF-ARW с параметризацией ВЕР-ВЕМ для Московского региона (в сравнении с данными станций сети ВМО). Тем не менее методически важно отметить, что для данных с подобным пространственным разрешением необходимо знать точные координаты метеостанции. Зачастую координаты метеостанций небольших городов представлены координатами центра города. Это вызывает завышение ошибок в воспроизведении некоторых метеорологических переменных, в особенности температуры, относительной влажности, направления и скорости ветра. В данной работе были уточнены координаты метеостанций по данным спутниковых снимков. Для метеостанций аэропорта были выбраны точки в центре летного поля.

В табл. 2 и 3 приводятся данные по средней (**CO**), среднеквадратической (**RMSE**) ошибках и коэффициента корреляции между рядом наблюдений и рядом моделированных значений (**corr**) для района каждой сетевой метеостанции Московского региона отдельно для дневных (12 ч), ночных (00 ч) и среднесуточных значений температуры и относительной влажности воздуха.

Таблица 2

Воспроизведение станционных данных полей температуры воздуха для Московского региона с помощью WRF-ARW
Simulation of air temperature station data in the Moscow region using WRF-ARW

Район метеостанции	Значение температуры воздуха на высоте 2 м, град С								
	ночная (00 ГСВ)			дневная (12 ГСВ)			среднесуточная		
	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr
Клин	1,07	2,32	0,98	-0,70	1,78	0,99	0,24	1,97	0,98
Дмитров	1,64	2,32	0,98	0,10	1,52	0,99	0,95	1,87	0,99
Переславль-Залесский	0,67	2,20	0,98	-0,40	1,76	0,99	0,27	1,98	0,98

Метеорология
Коспанов А.А., Константинов П.И.

Окончание табл. 2

Район метеостанции	Значение температуры воздуха на высоте 2 м, град С								
	ночная (00 ГСВ)			дневная (12 ГСВ)			среднесуточная		
	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr
Александров	2,32	3,06	0,97	0,15	1,63	0,99	1,17	2,23	0,98
Волоколамск	0,41	1,89	0,98	-0,31	1,67	0,99	0,06	1,81	0,98
Можайск	2,21	2,91	0,97	-0,02	1,56	0,99	1,17	2,17	0,98
Ново-Иерусалим	2,65	3,23	0,98	0,22	1,57	0,99	1,48	2,34	0,98
Шереметьево (аэропорт)	0,71	1,97	0,98	-0,56	1,64	0,99	0,04	1,78	0,99
Немчиновка	1,04	1,97	0,99	-0,19	1,50	0,99	0,43	1,64	0,99
Малое Сареево	1,03	2,31	0,98	-0,16	1,51	0,99	0,36	1,83	0,98
Павловский Посад	1,22	2,30	0,98	-0,41	1,71	0,99	0,46	1,91	0,98
Внуково (аэропорт)	0,31	1,65	0,99	-0,38	1,54	0,99	-0,08	1,59	0,99
Петушки	0,05	1,83	0,98	-0,50	1,72	0,99	-0,14	1,88	0,98
Москва (центр, Балчуг)	0,99	1,61	0,99	-0,06	1,40	0,99	0,37	1,45	0,99
Малоярославец	2,17	2,79	0,98	0,22	1,73	0,99	1,35	2,20	0,98
Наро-Фоминск	1,48	2,41	0,98	-0,05	1,62	0,99	0,77	1,96	0,98
Москва (ВДНХ)	2,76	3,13	0,98	0,30	1,51	0,99	1,46	2,18	0,98
Домодедово (аэропорт)	1,52	2,54	0,98	-0,63	1,76	0,99	0,62	2,00	0,98
Михайловское	1,04	2,26	0,98	-0,23	1,74	0,99	0,50	1,93	0,98
МГУ	1,91	2,37	0,98	-0,01	1,47	0,99	0,94	1,85	0,99
Серпухов	2,46	2,94	0,98	0,39	1,77	0,99	1,46	2,26	0,98
Москва (северо-запад, Тушино)	2,56	2,93	0,98	0,30	1,56	0,99	1,46	2,18	0,98
Коломна	1,16	2,42	0,98	-0,46	1,95	0,99	0,40	2,10	0,98
Кашира	0,15	1,69	0,99	-0,13	1,79	0,99	0,08	1,78	0,99

Таблица 3

Воспроизведение станционных данных полей относительной влажности воздуха для Московского региона
Simulation of relative humidity station data in the Moscow region using WRF-ARW

Район метеостанции	Значения относительной влажности воздуха на высоте 2 м, %								
	Ночная (00 ГСВ)			Дневная (12 ГСВ)			Среднесуточная		
	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr	CO	RMSE	corr
Клин	-5,51	9,67	0,66	1,48	10,55	0,78	-2,81	9,86	0,77
Дмитров	-7,16	10,93	0,72	-2,21	11,16	0,76	-5,29	10,62	0,78
Переславль-Залесский	-6,06	11,19	0,44	-1,89	10,09	0,80	-4,43	10,40	0,73
Александров	-13,18	14,18	0,65	-4,70	11,35	0,80	-9,07	12,54	0,75
Волоколамск	-3,34	8,65	0,68	0,20	10,12	0,80	-2,22	9,34	0,78
Можайск	-10,62	12,49	0,66	-1,80	10,76	0,78	-6,91	11,19	0,76
Ново-Иерусалим	-15,79	16,67	0,51	-4,42	11,46	0,79	-11,06	14,14	0,71
Шереметьево (аэропорт)	-3,44	9,55	0,72	3,14	11,35	0,82	-0,07	9,85	0,80
Немчиновка	-7,14	11,46	0,68	-1,09	10,12	0,81	-4,25	10,26	0,79
Малое Сареево	-9,30	12,80	0,53	-3,63	11,34	0,78	-6,62	11,66	0,74
Павловский Посад	-9,16	12,36	0,57	-0,60	11,13	0,80	-5,20	11,51	0,75
Внуково (аэропорт)	-2,30	9,35	0,75	1,12	10,69	0,82	-0,42	9,52	0,82
Петушки	-2,01	8,68	0,74	0,81	9,92	0,84	-0,98	9,38	0,82
Москва (центр, Балчуг)	-12,06	14,45	0,70	-3,67	12,36	0,74	-8,13	12,97	0,73
Малоярославец	-11,64	14,06	0,64	-3,64	11,66	0,77	-8,54	12,49	0,75
Наро-Фоминск	-7,75	11,62	0,60	-0,16	10,33	0,80	-4,41	10,55	0,76
Москва (ВДНХ)	-19,71	20,19	0,54	-9,14	12,78	0,79	-14,40	16,12	0,71
Домодедово (аэропорт)	-8,23	12,43	0,55	1,64	10,93	0,80	-3,62	11,16	0,74
Михайловское	-8,33	12,14	0,55	-0,45	11,16	0,77	-5,03	10,95	0,75
МГУ	-11,25	14,25	0,67	-1,14	9,86	0,81	-6,45	11,77	0,75
Серпухов	-14,20	15,40	0,65	-3,70	11,62	0,77	-9,11	13,11	0,75
Москва (северо-запад, Тушино)	-15,26	16,54	0,65	-5,37	11,91	0,75	-11,11	14,16	0,71
Коломна	-6,90	10,84	0,63	1,68	12,01	0,77	-3,32	11,16	0,75
Кашира	-3,03	9,91	0,75	-1,69	11,77	0,78	-2,45	10,79	0,79

*Метеорология**Коспанов А.А., Константинов П.И.*

Анализируя данные валидации модельного эксперимента (табл. 2 и 3), отметим определенные закономерности в распределении ошибок воспроизведения температуры воздуха системой WRF-ARW+ВЕР-ВЕМ. Так, наименьшие значения среднеквадратической ошибки отмечаются для единственной московской «городской станции» – Балчуг (менее километра от Кремля). Это справедливо как для дневных, так и для ночных и среднесуточных значений температуры. Наихудшие метрики приходятся на станцию Ново-Иерусалим, что, возможно связано с близостью к границе модельного домена. Для влажности воздуха наихудшие результаты показывает, как ни странно, опорная станция сети МЦГМС-Р – ВДНХ (27612). Не исключено, что это связано с ошибками позиционирования данной станции в рамках карты типов подстилающей поверхности – в ее районе WRF-ARW показывает отчетливо заниженную влажность, т. е. причина – «запечатанность» естественной поверхности застройкой и мостовыми метеостанциями внутри модельной расчетной области, когда турбулентный поток водяного пара может воспроизводиться с ошибками.

Таким образом, наилучшие результаты моделирования термического режима приходятся именно на зону плотной застройки. По мнению авторов, данный факт можно рассматривать как свидетельство перспективности применения параметризации ВЕР-ВЕМ в модели WRF-ARW именно для плотно застроенных городских территорий.

Заключение

В рамках проведенных экспериментов получена база данных динамического даунскейлинга глобального реанализа ERA5 за 2010 год для области 240 км * 240 км с центром в Москве с шагом сетки 1 км и временным разрешением 1 час для более чем 100 метеорологических переменных. Помимо базы данных создана программная основа для будущего электронного атласа Москвы и области за период 1979–2022 гг., где будут приведены как среднемесячные характеристики, так и характеристики повторяемости неблагоприятных явлений погоды за рассматриваемый период, а также такие характеристики, как даты первого и последнего заморозков, продолжительность отопительного периода и т.д.

Основной же результат работы – оценка точности моделирования температуры и относительной влажности воздуха для разных типов ландшафтов (в сравнении с расположенными в них метеостанциями сети Росгидромета) для Московского региона за 2010 г. Указанная оценка указывает на наилучшие результаты в воспроизведении приземной температуры воздуха (наименьшие значения RMSE) в районах плотной застройки (исторический центр г. Москвы по данным метеостанции 27613 Балчуг). Это можно рассматривать как свидетельство перспективности применения параметризации ВЕР-ВЕМ в модели WRF-ARW именно для городских территорий. Для фоновых ландшафтов, естественно, необходима дополнительная калибровка модели.

Список литературы

1. Bougeault, P. and Lacarrère, P. (1989) Parameterization of Orography-Induced Turbulence in a Mesobeta-Scale Model. *Monthly Weather Review*, 117, 1872–1890.
2. Matthias Demuzere, Cenlin He, Alberto Martilli, & Andrea Zonato. (2023). Technical documentation for the hybrid 100-m global land cover dataset with Local Climate Zones for WRF (1.0.0). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7670792>
3. Matthias Demuzere, Jonas Kittner, Alberto Martilli, Gerald Mills, Christian Moede, Iain D. Stewart, Jasper van Vliet, & Benjamin Bechtel (2022). Global map of Local Climate Zones (2.0.0) [Data set]. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7324909>
4. Dole, R., Hoerling, M., Perlwitz, J., Eischeid, J., Pegion, P., Zhang, T., Quan, X.-W., Xu, T., and Murray, D. (2011). Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophys. Res. Lett.*, 38, L06702, <https://doi.org/10.1029/2010GL046582>
5. Hersbach, H, Bell, B, Berrisford, P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
6. Janjic, Z. I. (1994). The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes, *Monthly Weather Review*, 122(5), 927–945.
7. Kain, John S., (2004). The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 43, 170–181. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2)
8. Kalinin N. A., Kislov A. V., Babina E. D., and Vetrov A. L. (2010). Estimation of air temperature reproduction quality by the MM5 model in the Urals in July. *Russian Meteorology and Hydrology*, 10(10):659–664.

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

9. Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. et al. (2001). A Simple Single-Layer Urban Canopy Model For Atmospheric Models: Comparison With Multi-Layer And Slab Models. *Boundary-Layer Meteorology* 101, 329–358. <https://doi.org/10.1023/A:1019207923078>
10. Kusaka, Hiroyuki & Hara, Masayuki & Takane, Yuya. (2012). Urban Climate Projection by the WRF Model at 3-km Horizontal Grid Increment: Dynamical Downscaling and Predicting Heat Stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya Metropolises. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 90B. 47–63. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-B04>
11. Le Roy, B., Lemonsu, A., Kounkou-Arnaud, R., Brion, D., Masson, V. (2020). Long time series spatialized data for urban climatological studies: A case study of Paris, France. *International Journal of Climatology*, 40: 3567–3584.
12. Martilli A, Clappier A, and Rotach M.W. (2002). An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, 104, 261–304. <https://doi.org/10.1023/A:1016099921195>
13. Nunez, M., & Oke, T.R. (1977). The Energy Balance of an Urban Canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 11–19.
14. Salamanca, F. and Martilli A. (2010). A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part II. Validation with one dimension off–line simulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 345–356. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0143-8>
15. Salamanca F; Andrea Krpo; Alberto Martilli; Alain Clappier (2010). A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part I. Formulation, verification, and sensitivity analysis of the model, *Theoretical and Applied Climatology*, 99(3–4), 331–344. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0142-9>
16. Salamanca F, Yizhou, Z., Michael, B., Fei, C., Alex, M., Shiguang M. (2018). Evaluation of the WRF-Urban Modeling System coupled to Noah and Noah-MP Land Surface Models over a Semiarid Urban Environment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 123, pp.2387–2408, <https://doi.org/10.1002/2018JD028377>
17. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., ... Huang, X. (2021). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.3 (No. NCAR/TN-556+STR). <https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97>
18. Stewart, I. D., and T. R. Oke, (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879–1900, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
19. Varentsov, M., Wouters, H., Platonov, V., Konstantinov, P. (2018). Megacity-Induced Mesoclimatic Effects in the Lower Atmosphere: A Modeling Study for Multiple Summers over Moscow, Russia. *Atmosphere*. 9. 50. <https://doi.org/10.3390/atmos9020050>
20. Varentsov, M.; Samsonov, T.; Demuzere, M. (2020). Impact of Urban Canopy Parameters on a Megacity's Modelled Thermal Environment. *Atmosphere*, 11, 1349. <https://doi.org/10.3390/atmos11121349>
21. Weather Research & Forecasting Model (WRF) URL:https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model_overview.html (дата обращения 01.09.2023)
22. Zheng, Ye, K. Alapaty, J. A. Herwehe, A. D. Del Genio, and D. Niyogi, (2016). Improving high-resolution weather forecasts using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model with an updated Kain–Fritsch scheme. *Monthly Weather Review*, 117–3, 833–860. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0005.1>

References

1. Bougeault, P. and Lacarrère, P. (1989) Parameterization of Orography-Induced Turbulence in a Mesobeta-Scale Model. *Monthly Weather Review*, 117, 1872–1890.
2. Matthias Demuzere, Cenlin He, Alberto Martilli, & Andrea Zonato. (2023). Technical documentation for the hybrid 100-m global land cover dataset with Local Climate Zones for WRF (1.0.0). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7670792>
3. Matthias Demuzere, Jonas Kittner, Alberto Martilli, Gerald Mills, Christian Moede, Iain D. Stewart, Jasper van Vliet, & Benjamin Bechtel (2022). Global map of Local Climate Zones (2.0.0) [Data set]. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7324909>
4. Dole, R., Hoerling, M., Perlwitz, J., Eischeid, J., Pegion, P., Zhang, T., Quan, X.-W., Xu, T., and Murray, D. (2011). Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophys. Res. Lett.*, 38, L06702, <https://doi.org/10.1029/2010GL046582>
5. Hersbach, H, Bell, B, Berrisford, P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
6. Janjic, Z. I. (1994). The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes, *Monthly Weather Review*, 122(5), 927–945.
7. Kain, John S., (2004). The Kain–Fritsch convective parameterization: An update. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 43, 170–181. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2)
8. Kalinin N. A., Kislov A. V., Babina E. D., and Vetrov A. L. (2010). Estimation of air temperature reproduction quality by the MM5 model in the Urals in July. *Russian Meteorology and Hydrology*, 10(10):659–664.
9. Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. et al. (2001). A Simple Single-Layer Urban Canopy Model For Atmospheric Models: Comparison With Multi-Layer And Slab Models. *Boundary-Layer Meteorology* 101, 329–358. <https://doi.org/10.1023/A:1019207923078>
10. Kusaka, Hiroyuki & Hara, Masayuki & Takane, Yuya. (2012). Urban Climate Projection by the WRF Model at 3-km Horizontal Grid Increment: Dynamical Downscaling and Predicting Heat Stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya Metropolises. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 90B. 47–63. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-B04>
11. Le Roy, B., Lemonsu, A., Kounkou-Arnaud, R., Brion, D., Masson, V. (2020). Long time series spatialized data for urban climatological studies: A case study of Paris, France. *International Journal of Climatology*, 40: 3567–3584.
12. Martilli A, Clappier A, and Rotach M.W. (2002). An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, 104, 261–304. <https://doi.org/10.1023/A:1016099921195>
13. Nunez, M., & Oke, T.R. (1977). The Energy Balance of an Urban Canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 11–19.
14. Salamanca, F. and Martilli A. (2010). A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part II. Validation with one dimension off–line simulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 345–356. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0143-8>

Метеорология

Коспанов А.А., Константинов П.И.

15. Salamanca F; Andrea Krpo; Alberto Martilli; Alain Clappier (2010). A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part I. Formulation, verification, and sensitivity analysis of the model, *Theoretical and Applied Climatology*, 99(3–4), 331–344. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0142-9>
16. Salamanca F, Yizhou, Z., Michael, B., Fei, C., Alex, M., Shiguang M. (2018). Evaluation of the WRF-Urban Modeling System coupled to Noah and Noah-MP Land Surface Models over a Semi-arid Urban Environment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 123, pp.2387–2408, <https://doi.org/10.1002/2018JD028377>
17. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., ... Huang, X. (2021). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.3 (No. NCAR/TN-556+STR). <https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97>
18. Stewart, I. D., and T. R. Oke, (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879–1900, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
19. Varentsov, M., Wouters, H., Platonov, V., Konstantinov, P. (2018). Megacity-Induced Mesoclimatic Effects in the Lower Atmosphere: A Modeling Study for Multiple Summers over Moscow, Russia. *Atmosphere*. 9. 50. <https://doi.org/10.3390/atmos9020050>
20. Varentsov, M.; Samsonov, T.; Demuzere, M. (2020). Impact of Urban Canopy Parameters on a Megacity's Modelled Thermal Environment. *Atmosphere*, 11, 1349. <https://doi.org/10.3390/atmos11121349>
21. Weather Research & Forecasting Model (WRF) URL:https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model_overview.html (дата обращения 01.09.2023)
22. Zheng, Ye, K. Alapaty, J. A. Herwehe, A. D. Del Genio, and D. Niyogi, (2016). Improving high-resolution weather forecasts using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model with an updated Kain–Fritsch scheme. *Monthly Weather Review*, 117–3, 833–860. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0005.1>

Статья поступила в редакцию: 19.09.2023, одобрена после рецензирования: 23.10.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 19 September 2023; approved after review: 23 October 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Ален Арманович Коспанов

студент кафедры метеорологии и климатологии,
географический факультет,
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова;
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1;

e-mail: kospanov.alen@gmail.com

Information about the authors

Alen A. Kospanov

Master's Student, Department of
Meteorology and Climatology, Faculty of Geography,
Lomonosov Moscow State University;
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

Павел Игоревич Константинов

кандидат географических наук, доцент кафедры
метеорологии и климатологии, географический факультет,
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова;
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1
старший научный сотрудник Лаборатории моделирования
средней и верхней атмосферы,
Российский Гидрометеорологический университет;
192007, Россия, г. Санкт-Петербург, Воронежская улица, 79

e-mail: kostadini@mail.ru

Pavel I. Konstantinov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Department of
Meteorology and Climatology, Faculty of Geography,
Lomonosov Moscow State University;
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia
Senior Researcher, Laboratory for the Modeling of Middle and
High Atmosphere,
Russian State Hydrometeorological University;
79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, 192007, Russia

Вклад авторов

Коспанов А.А. – настройка модельного комплекса WRF-ARW, проведение вычислительных экспериментов, визуализация материала, написание и научное редактирование текста статьи.

Константинов П.И. – идея, анализ результатов, написание и научное редактирование текста статьи.

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

Contribution of the authors

Alen A. Kospanov – setting up the WRF-ARW model complex; computational experiments; visualization of the material; writing and scientific editing of the text.

Pavel I. Konstantinov – the idea; analysis of the results; writing and scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Метеорология

Бибаева А.Ю.

Научная статья

УДК: 911.52:911.9:502.2.05:551.50 (571.53)

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-110-126

**ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЕРХНИХ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЯСОВ
СЕВЕРА ПРИМОРСКОГО ХРЕБТА (ПРИБАЙКАЛЬЕ) В 2021-2022 ГГ.****Анна Юрьевна Бибаева**

Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

pav_a86@mail.ru, Author ID: 771734

Аннотация. Вопрос мониторинга термического режима приземного слоя атмосферы в условиях горного рельефа Прибайкалья был и остается актуальным на протяжении многих десятилетий. В 2015 г. в Западном Прибайкалье прошли сплошные пожары катастрофического характера. В результате сильно нарушена коренная растительность, значительно изменены или ослаблены ее средоформирующие и средозащитные функции. В 2021 г. с целью изучения восстановительной динамики геосистем на фоне климатических изменений организован мониторинг термического режима верхних ландшафтных поясов Приморского хребта. Период наблюдений охватывает 2021–2022 гг. Мониторинговые площадки заложены в подгольцовом (1280 м над у.м.) и горнотаежном (1040 м над у.м.) поясах юго-восточного макросклона Приморского хребта. Наблюдения за термическим режимом приземного слоя воздуха осуществлялись при помощи автономных регистраторов температуры Thermochron iButton DS1925L-F5, установленных на высоте 2 м. Регистрация температуры производилась восемь раз в сутки синхронно с измерениями станций метеорологической сети. Получены сравнительные данные по динамике температуры подгольцового и горнотаежного поясов севера Приморского хребта, включая участки, подверженные пирогенному воздействию. Определены суммы положительных и активных температур, длительность вегетационного и холодного периодов; проведен анализ годового хода и суточной динамики температуры приземного слоя воздуха по сезонам года; установлено влияние высоты местности и типа растительного покрова на термический режим высотных поясов. Выявлены особенности термического режима участков пирогенного воздействия в горнотаежном поясе, обусловленные изменением отражательной способности подстилающей поверхности в результате сведения растительного покрова. Дальнейшие исследования позволят выявить длительность периода постпирогенного восстановления микроклиматических показателей до фоновых значений для разных топогеосистем северной части Приморского хребта; полученные данные совместно с материалами полевых физико-географических исследований могут быть использованы в качестве научной основы планирования хозяйственной деятельности (в т.ч. природоохранной) на территории с особыми условиями природопользования.

Ключевые слова: Прибайкалье, температура воздуха, Приморский хребет, оз.Байкал, горный район, пожары, гарь, даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха, подгольцовый пояс, горнотаежный пояс, геосистемы

Благодарность. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ИГ СО РАН № АААА-А21-121012190056-4.

Для цитирования: Бибаева А. Ю. Термический режим верхних ландшафтных поясов севера Приморского хребта (Прибайкалье) в 2021–2022 гг. // Географический вестник=Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.110–126. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-110-126

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-110-126

**THERMAL REGIME OF THE UPPER LANDSCAPE BELTS IN THE NORTH OF THE
PRIMORSKY RIDGE (PRIBAIKALYE) IN 2021-2022****Anna Yu. Bibaeva**

V.V. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

pav_a86@mail.ru, Author ID: 771734

Abstract. Monitoring of the thermal regime of the atmospheric surface layer in the conditions of the mountainous relief of the Baikal region has been a relevant issue for many years. In 2015, catastrophic fires occurred in the Western Pribaikalye. As a result, the native vegetation was strongly disturbed, its environment-forming and environment-protective functions changed or weakened significantly. In 2021, monitoring of the thermal regime of the upper landscape belts of the Primorsky Ridge was organized in order to study the restoration dynamics of the geosystems against the background of climatic changes. The observation period covered 2021-2022. Monitoring sites were organized in the podgoltsovyi (1280 m ASL) and mountain taiga (1040 m ASL) belts of the southeastern macroslope of the Primorsky Ridge. The thermal regime of the surface air layer was monitored using autonomous temperature recorders Thermochron iButton DS1925L-F5 installed at a height of 2 m. The temperature was recorded eight times a day synchronously with the measurements of meteorological network stations. There were obtained comparative data on the temperature



Метеорология
Бибеева А.Ю.

dynamics of the podgoltsovyi and mountain taiga belts in the north of the Primorsky Ridge, including areas subjected to pyrogenic effects. The sums of positive and active temperatures, the duration of the vegetation and cold periods were determined; the annual variability and the seasonal daily dynamics of the atmospheric surface layer temperature were analyzed; the influence of the terrain height and the type of vegetation cover on the thermal regime of high-altitude belts was established. The study revealed the features of the thermal regime of pyrogenic impact areas in the mountain taiga belt, which are caused by a change in the reflectivity of the underlying surface due to destruction of the vegetation cover. Further studies will make it possible to identify the duration of the post-pyrogenic recovery of microclimatic parameters to background values for different topogeosystems in the northern part of the Primorsky Ridge. The obtained data, together with the materials of field physical-geographical studies, can be used as a scientific basis for planning economic activities (including environmental protection) in areas with special conditions of natural resource management.

Keywords: Baikal region, air temperature, Primorsky Ridge, Lake Baikal, mountainous region, fires, burnt areas, dates of stable transition of average daily air temperature, podgoltsovyi belt, mountain taiga belt, geosystems

Acknowledgments: The study was carried out under the topic of state assignment of the IG SB RAS No. AAAA-A21-121012190056-4

For citation: Bibeeva, A.N. (2023). Thermal regime of the upper landscape belts in the north of the Primorsky Ridge (Pribaikalye) in 2021-2022. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.110–126. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-110-126

Постановка проблемы

Геосистемы северной части Приморского хребта (Прибайкалье) испытывают в последние десятилетия возрастающее деструктивное воздействие, вызванное пирогенным фактором. В 2015 г. в Западном Прибайкалье прошли сплошные пожары катастрофического характера, также затронувшие территории с особым природоохранным статусом [2]. Сведение и уничтожение растительного покрова, главным образом древесного яруса, обуславливают изменение микроклиматических показателей топогеосистем в процессе их восстановительной динамики. На фоне фиксирующейся тенденции потепления климата бореальной зоны нарушение отдельных компонентов геосистем может привести к преобразованию их коренной структуры.

В сохранении озера Байкал, как резервуара чистой воды и объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО, определяющее значение имеет состояние горных геосистем его бассейна, выполняющих важнейшие экологические функции (средообразующую, водорегулирующую, водоохранную, почвозащитную и др.). Исходя из этого необходимо проведение систематических комплексных физико-географических исследований и мониторинга процессов и явлений с целью выявления современного состояния геосистем, направленности и потенциала их восстановительной динамики. Одним из аспектов таких исследований является изучение микроклиматического режима геосистем.

Проблеме исследования микроклиматических изменений как первоосновы для понимания отклика географических систем на глобальные и региональные климатические изменения в последние годы вновь стало уделяться большое внимание в мировой литературе [25; 26].

Разработка мониторинговых станций и датчиков, способных работать в автономном режиме, способствовала широкому развитию микроклиматических исследований труднодоступных районов как в России [10–12; 16], так и за рубежом [17; 24; 27].

Микроклиматические исследования горных территорий Байкальского региона проводят сотрудники Института географии им.В.Б.Сочавы СО РАН [5; 28], в том числе в аспекте изучения динамики нивально-гляциальных систем [13–15; 19], анализа условий почвообразования [7–9]. С 1992 г. Байкальский биосферный заповедник ведет мониторинг температуры и влажности приземного слоя воздуха по маршруту «Чум» с целью анализа изменения биоразнообразия лишайников в разных микроклиматических и высотных условиях.

Тем не менее горные районы Прибайкалья практически не охвачены микроклиматическими исследованиями, а данные проводимых мониторинговых исследований публикуются в единичных работах. Что касается метеорологических станций, то абсолютное большинство из них расположены на побережье оз.Байкал, что не позволяет характеризовать климатические особенности склонов горных хребтов и их водоразделов. Между тем суровость климатических условий горных районов обуславливает уязвимость растительного компонента геосистем к внешним воздействиям (особенно это касается видов с узкой эколого-ценотической

*Метеорология**Бибаева А.Ю.*

амплитудой), что усиливает отклик на климатические изменения.

Отсутствие необходимых данных по микроклиматическим исследованиям при изучении восстановительной динамики геосистем Приморского хребта побудило в 2021 г. организовать мониторинговые наблюдения термического режима приземного слоя атмосферы в горнотаежном и подгольцовом поясах.

В статье представлены первые результаты мониторинга и сравнительного анализа особенностей термического режима верхних высотных поясов Приморского хребта, включая территории, подверженные пирогенному воздействию.

Территория исследования

Исследуемая территория расположена в средней части западного побережья оз. Байкал; включает северную часть Приморского хребта. Территория исследования представлена низкогорным слаборасчлененным эрозионным рельефом. Абсолютные высоты варьируют от 450 м на побережье до 1350 м вглубь территории, отдельные вершины достигают 1500 м.

На территории исследования выделяются три растительных пояса: горностепной, горнотаежный и подгольцовый; гольцовый – встречается фрагментарно. Большая часть горнотаежной зоны представлена восстановительными сериями коренных геосистем, периодически подвергавшихся пирогенному воздействию.

Особенности циркуляции атмосферы над югом Восточной Сибири обусловлены значительной удаленностью территории от океанов (Тихого, Атлантического, Северного Ледовитого), сложным расчлененным рельефом. Условия климатообразования и сезонных метеорологических процессов в Прибайкалье довольно подробно представлены в коллективной монографии 1977 г. «Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств». Отразим основные сведения об особенностях сезонной циркуляции атмосферы региона согласно [23].

Местные свойства климата и погоды формируются на фоне основных синоптических процессов – западного переноса воздушных масс и его сезонных возмущений (обуславливающих появление довольно устойчивых и значительных меридиональных составляющих воздушных течений), процессов циклогенеза и антициклогенеза у поверхности земли. В течение зимы преобладает приземный антициклогенез в массах устойчивого сухого и холодного воздуха, здесь большую часть зимы господствует северо-восточная часть зимнего азиатского антициклона. Циклоны, выходящие с запада и северо-запада, обычно заполняются над Восточной Сибирью и вызывают здесь непродолжительное ухудшение погоды.

Весной начинают преобладать зональные формы циркуляции атмосферы, характеризующиеся переносом приземных барических образований с запада на восток. При этом западные антициклоны движутся по южным широтам с Казахстана и Средней Азии на территорию Монголии и Китая. Циклоны же проходят с запада на восток в зоне между 45° - 65° с.ш. и сопровождаются тыловыми антициклоническими вторжениями, происходящими по довольно разнообразным траекториям.

В летний период характерно блокирование зонального потока воздушных масс, в район Байкала происходит выход южных циклонов из Монголии. В случаях, когда воздушные течения приобретают зональный характер, по югу Сибири движутся антициклоны. Для лета и осени характерны также синоптические процессы, которые можно назвать смешанной формой циркуляции. При этом с северо-запада на Прибайкалье и далее в Монголию происходит вторжение антициклонов. Осенью преобладают зональные формы циркуляции; усиливаются вторжения в тыловых частях западных циклонов, наблюдается развитие азиатского зимнего антициклона и переход к зимним формам циркуляции.

В условиях горного рельефа Прибайкалья характер размещения орографических структур определяет не только пространственное распределение климатических показателей, но и сами процессы климатообразования – формирование горно-долинной, внутридолинной, бри-

*Метеорология**Бибаева А.Ю.*

зовой циркуляции и т.д. Как видим, первостепенную роль в климатообразовании на региональном уровне начинает играть радиационный фактор, способствуя дифференциации микроклимата геосистем в зависимости от инсоляционной экспозиции, высоты, формы рельефа, типа подстилающей поверхности (вид растительности, выходы коренных пород и др.). Посредством рельефа, в свою очередь, происходит дифференциация растительного покрова.

Таким образом, радиационные условия и циркуляция атмосферы создают общий фон метеорологических элементов, а все микро- и мезомасштабные климатические различия в значительной мере обусловлены воздействием подстилающей поверхности и регулируется ею.

Согласно данным ВНИИГМИ-МЦД [3], в годовом ходе температуры воздуха на территории Предбайкалья максимум отмечается в июле, минимум – в январе; в котловине озера Байкал в годовом ходе наблюдается сдвиг минимальной температуры на февраль. В зимний период антициклональный режим погоды (Сибирский антициклон) обуславливает малооблачную погоду со слабыми ветрами и низкими температурами воздуха. Для Иркутской обсерватории средняя многолетняя температура января составляет $-17,6^{\circ}$; продолжительность зимнего сезона – 174 дня [21]. Горизонтальные барические градиенты в этот период направлены с суши на озеро [4]. В горных районах на возвышенных участках теплее, чем в низинных и котловинных благодаря широкому развитию температурных инверсий.

В теплый период года на фоне малоградиентного фона пониженного атмосферного давления в Сибири над Байкалом образуется локальный барический максимум, связанный с охлаждающим влиянием водных масс озера. Горизонтальные барические градиенты в этот период направлены с озера на сушу [4]; увеличивается повторяемость циклонов и выпадает 65–85 % суммы осадков [18]. В горных районах часть осадков имеет локальный характер вследствие интенсивно развивающейся здесь внутримассовой конвективной облачности [4].

Данных о высотных градиентах температуры для территории Западного Прибайкалья в научной литературе не представлено ввиду отсутствия пунктов метеорологических наблюдений в горных местоположениях. В работе [23] приведены некоторые данные для горных районов Западного Забайкалья, описывается изменчивость градиента температур по высотным поясам. В нижнем поясе гор (до 700 м) вследствие инверсий практически весь год сохраняется отрицательный градиент температур. Также он характерен и для высотного пояса 1400–1600 м. Положительные значения ($0,36-0,9^{\circ}\text{C}/100\text{м}$) градиент приобретает на высотах 700–1200 м [23].

Термическое влияние оз. Байкал обуславливает особый тип климата на его побережьях, приближенного к морскому: уменьшение годовых амплитуд температуры воздуха, снижение континентальности климата. Воздействие Байкала распространяется по долинам крупных рек (Ангара, Верхняя Ангара, Селенга, Баргузин) в глубь суши на 30–40 км [23]. Горные хребты препятствуют теплообмену котловины озера с окружающей сушей.

В центральной части западного побережья Байкала выделены две зоны: зона, где влияние Байкала распространяется на все элементы климата (побережье, о. Ольхон и восточные склоны Приморского хребта до 1000 м над у.м.), и зона, где такое влияние практически отсутствует [4]. Термический режим первой зоны находится под воздействием формирующихся над озером воздушных масс, вследствие чего средняя месячная температура воздуха здесь осенью и зимой выше, а летом ниже, чем на окружающей суше; абсолютная годовая амплитуда температуры воздуха на $10-15^{\circ}\text{C}$ ниже по сравнению с верхними поясами гор [4]. В зоне влияния Байкала продолжительность безморозного периода составляет 4–4,5 месяца; это на 1–1,5 месяца больше по сравнению с горными районами. Годовое количество осадков в прибрежной степной зоне составляет 200–300 мм, в горной части – 500 мм [4].

Метеорология

Бибаева А.Ю.

Материалы и методы

Температура воздуха и ее изменения в значительной степени определяют условия распространения различных растительных сообществ. В условиях потепления и аридизации климата Восточной Сибири особый интерес представляет изучение термических характеристик геосистем различных высотных поясов гор, а также микроклиматических условий восстановления геосистем, подверженных пирогенному воздействию. С этой целью в 2021 г. организованы мониторинговые площадки в верхних поясах севера Приморского хребта на трех точках (рис. 1):

1) в подгольцовом поясе на выположенной приводораздельной поверхности на высоте 1280 м над у.м.; на удалении от Байкала 9,8 км;

2) в горнотаежном поясе на гари (после прохождения низового устойчивого пожара в 2015 г.) на высоте 1041 м на у.м., в 150 м от кромки пожара, на пологом склоне юго-восточной экспозиции с уклоном 2–3°; на удалении от Байкала 6,7 км;

3) в горнотаежном поясе (контрольный участок) в лиственнично-сосновом с подростом из кедра, пихты и ели с подлеском из ольхи кустарниковой (*dushecia fruticosa*), кустарничково-зеленомошном с баданом лесу на высоте 1039 м на у.м., в 150 м от кромки пожара, на пологом склоне ю-в экспозиции с уклоном 2-3°; на удалении от Байкала 6,7 км.

Согласно работе [4] влияние Байкала на элементы микроклимата заложенных нами мониторинговых площадок минимально, так как они расположены на высотах более 1000 м над у.м.

Наблюдения за термическим режимом приземного слоя воздуха осуществлялись при помощи автономных регистраторов температуры Thermochron iButton DS1925L-F5 с диапазоном измерения температуры от -40 до +85°C (погрешность измерения $\pm 0,5$ °C). Термографы установлены на высоте 2 м над подстилающей поверхностью на стволах деревьев с северной стороны (рис. 2, а) или на деревянном штативе (рис. 2, б). Во избежание искажений в измерениях при попадании прямых солнечных лучей датчики регистраторов температуры защищены природными материалами (береста, сухие веточки), имеющими низкий коэффициент теплопроводности.

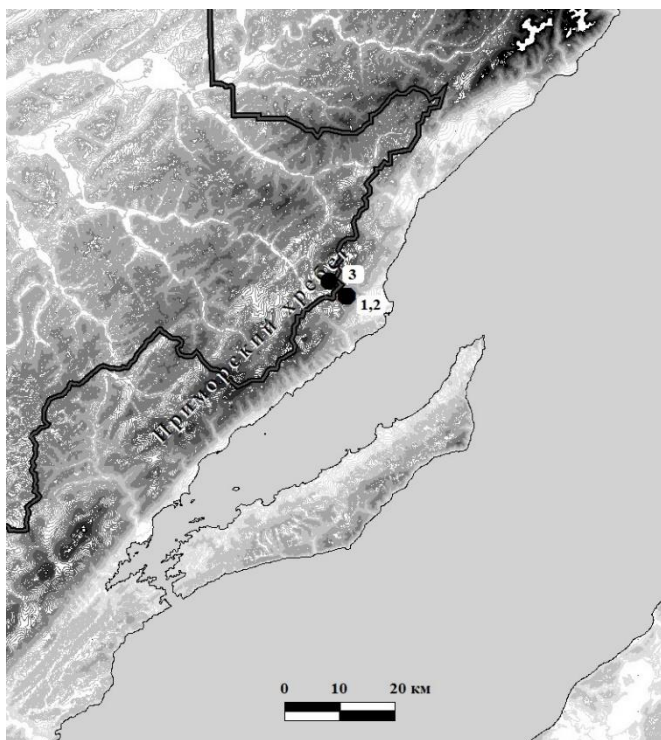


Рис. 1. Размещение мониторинговых площадок в верхнем поясе Приморского хребта. Линией показаны границы Прибайкальского национального парка: 1–3 – мониторинговые площадки
 Fig. 1. Location of monitoring sites in the upper belt of the Primorsky Ridge. The line shows the boundaries of the Pribaikalsky National Park. 1–3 – monitoring sites

Метеорология

Бибаева А.Ю.

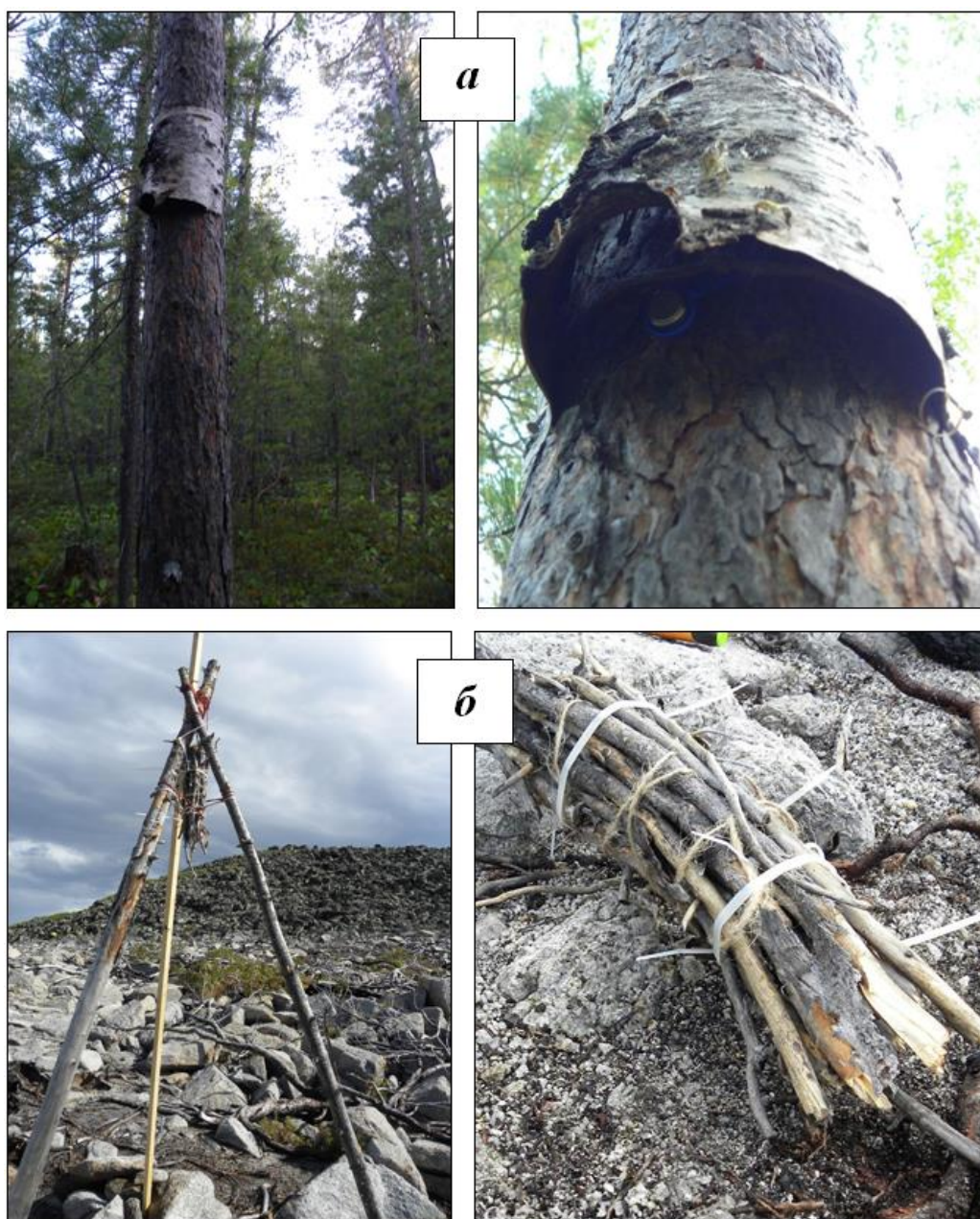


Рис. 2. Установка термографа Thermochron iButton DS1925L-F5:
a – в горнотаежном поясе (1039 м над у.м.) и *б* – подгольцовом поясе (1280 м)
 Fig. 2. Installation of Thermochron iButton DS1925L-F5 thermograph in
a) mountain taiga belt (1039 m above sea level) and *b*) podgoltsovyi belt (1280 m)

Регистрация метеопараметров производилась восемь раз в сутки синхронно с измерениями станций метеорологической сети. Установленная на приборах учета периодичность измерений позволяет выявить годовой ход температуры приземного слоя воздуха, внутрисуточную динамику, установить даты перехода среднесуточных температур через заданные значения, оценить длительность вегетационного периода. Ряд данных охватывает период наблюдений с августа 2021 г. по июль 2022 г. (период последнего извлечения информации с автономных регистраторов). Корректность использования данных термографов Thermochron iButton серии DS для комплексных ландшафтных исследований подтверждена в работе [6].

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через заданные значения определялись по методике Д.А.Педея [20].

Метеорология

Бибаева А.Ю.

Сравнительные данные по станциям Баяндай, Узуры и Качуг приведены на основе анализа базы данных сайта «Расписание погоды» gr5.ru за 2021–2022 гг.

Полевые физико-географические исследования проводились в 2020–2022 гг., т.е. по прошествии 5–7 лет с начала самовосстановления геосистем после пирогенного воздействия.

В тексте использован термин «апериодическая амплитуда», т.е. «разность между средними максимальными и средними минимальными температурами», которые в том числе обусловлены адвективными процессами [23, с.85].

Коэффициент теплообеспеченности рассчитывался по формуле:

$$K_T = \frac{\sum t_+}{\sum t_-} \times 100$$

где K_T – коэффициент теплогообеспеченности, %; $\frac{\sum t_+}{\sum t_-}$ – отношение суммы положительных к сумме отрицательных температур воздуха.

Результаты исследования и обсуждение

Внутригодовая динамика температуры приземного слоя воздуха в подгольцовом и горнотаежном поясах севера Приморского хребта (Прибайкалье) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Динамика среднемесячной температуры (°C) приземного слоя воздуха в верхних ландшафтных поясах севера Приморского хребта (Западное Прибайкалье) в 2021–2022 гг.

Dynamics of the average monthly temperature (°C) of the surface air layer in the upper landscape belts in the north of the Primorsky Ridge (Western Pribaikalye) in 2021–2022

Период		Подгольцовый пояс 1280 м над у.м.	Горнотаежный пояс 1040 м над у.м.	
			Лесной участок	Горельник
2021	Август	12,1	13,1	14,0
	Сентябрь	3,6	5,0	5,5
	Октябрь	-2,2	-1,1	-1,0
	Ноябрь	-10,1	-8,6	-8,6
	Декабрь	-16,4	-15,3	-15,3
2022	Январь	-17,6	-17,2	-17,1
	Февраль	-17,2	-16,9	-16,6
	Март	-11,1	-10,1	-9,4
	Апрель	-2,3	-0,4	0,2
	Май	6,7	7,8	8,4
	Июнь	13,6	14,0	15,0
	Июль	13,3	14,8	15,3
Среднегодовая температура воздуха		-2,3	-1,3	-0,8
Амплитуда периодическая		31,2	32,0	32,5
Амплитуда апериодическая		37,7	39,0	39,7
Коэффициент теплообеспеченности		0,64	0,78	0,86

Среднегодовая температура воздуха в верхних ландшафтных поясах Приморского хребта в 2021–2022 гг. на всех точках наблюдения имеет отрицательные значения: от $-2,3^\circ$ в подгольцовом поясе до $-1,3^\circ$ в горнотаежном поясе на контрольном участке и $-0,8^\circ$ в горельнике 2015 г. Для сравнения в предгорьях (Предбайкальская впадина) она составила $-0,3^\circ\text{C}$, а на побережье оз. Байкал, имеющего черты морского климата, в этот период отмечена положительная среднегодовая температура воздуха – на ст. Узур $+0,1^\circ\text{C}$.

Метеорология

Бибаева А.Ю.

Резкая континентальность климата территории проявляется в больших годовых амплитудах температур воздуха: в 2021–2022 гг. в верхних поясах севера Приморского хребта она составляла 31–32,5° (см. табл. 1), в пределах Предбайкальской впадины на ст. Баяндай – 35°, ст. Качуг – 40°; в прибрежной зоне оз. Байкал на ст. Узур – 36°С. Согласно [22] снижение годовой амплитуды температуры воздуха в верхних поясах гор обусловлено своеобразной стратификацией атмосферы благодаря инверсиям температур в зимний период и снижению температуры с высотой летом.

Горный рельеф обуславливает резкую дифференциацию термического режима по местоположениям. В годовом ходе температуры воздуха в верхних ландшафтных поясах минимум отмечается в январе; в горнотаежном поясе максимум приходится на июль, в подгольцовом он смещен на июнь (см. табл.1). Это обусловлено менее интенсивным локальным развитием внутримассовой конвективной облачности в подгольцовом поясе гор в июне и, следовательно, большим поступлением солнечной радиации к земной поверхности.

В зимний период на возвышенных участках теплее, чем в более низких, долинных или котловинных. Так, по данным сайта r5.ru средняя температура января в 2022 г. в пределах Предбайкальской впадины составила (ст. Баяндай) -18,7°; на водоразделах Приморского хребта -17,6 °С, в горнотаежном поясе -17,1÷-17,2 °С.

Различия в условиях термического режима особенно велики в декабре перед ледоставом [23]. В 2021 году на берегах Байкала (ст. Узур) было на 8,7 °С теплее (по среднемесячным значениям), а в верхних ландшафтных поясах Приморского хребта на 1,8–2,8 °С теплее, чем на окружающих материковых пространствах региона (ст. Баяндай).

Абсолютные годовые минимумы температур распределяются следующим образом: -29,5° в горнотаежном поясе и -31,3°С в подгольцовом. Абсолютные годовые максимумы температур увеличиваются с уменьшением высоты над уровнем моря и увеличением прихода солнечной радиации к земной поверхности: +26,9° в подгольцовом поясе, +28,6° в горнотаежном поясе и +29,3 °С в горельнике. Таким образом, аperiodическая амплитуда температуры воздуха составляет 37° для подгольцового пояса, 39° – для горнотаежного пояса и 39,7°С – для горельника. Разница в периодической амплитуде температуры воздуха между ландшафтными поясами составляет 0,8–1,3°, аperiodической – 1,3–2°С, увеличиваясь с высотой. Дефицит теплообеспеченности также возрастает с высотой (см. табл.1).

В годовом ходе приземной температуры воздуха центрального Прибайкалья прослеживается две смены термического режима, обусловленные формированием и разрушением ледового покрова оз. Байкал. Первый переходный период длительностью 13–14 дней зарегистрирован с 14 по 26 января 2022 г. и хорошо индицируется на графике (рис. 3, а). Данные дистанционного зондирования Земли (Landsat 8) подтверждают, что установление ледового покрова в 2022 г. в центральной части оз. Байкал происходило с 12 по 19 января. В этот период среднесуточные температуры воздуха на побережье Байкала выше, чем в горах. После установления ледового покрова на прибрежной станции температуры снижаются. Как сообщается в работе [23], в этот период в условиях мощного Сибирского антициклона с незначительной повторяемостью адвективных процессов в нижних слоях атмосферы возрастает повторяемость зимних инверсий, представляющих собой сочетание радиационных и антициклональных инверсий. Обратная смена термического режима (рис. 3, б) имеет более плавный и более длительный переходный период (с 29 апреля по 13 мая 2022 г.), связанный с освобождением холодных водных масс Байкала от ледового покрова. По данным космических снимков Landsat 8 разрушение ледового покрова в 2022 г. 4–11 мая.

Отмечается [1], что средней многолетней датой замерзания Байкала на ст. Узур является 7 января, вскрытия – 23 мая, однако по годам наблюдаются значительные колебания. По данным Иркутского гидрометцентра, в 2022 г. ледяной покров на оз. Байкал установился на 9–12 дней позже средних многолетних сроков.

Метеорология

Бибеева А.Ю.

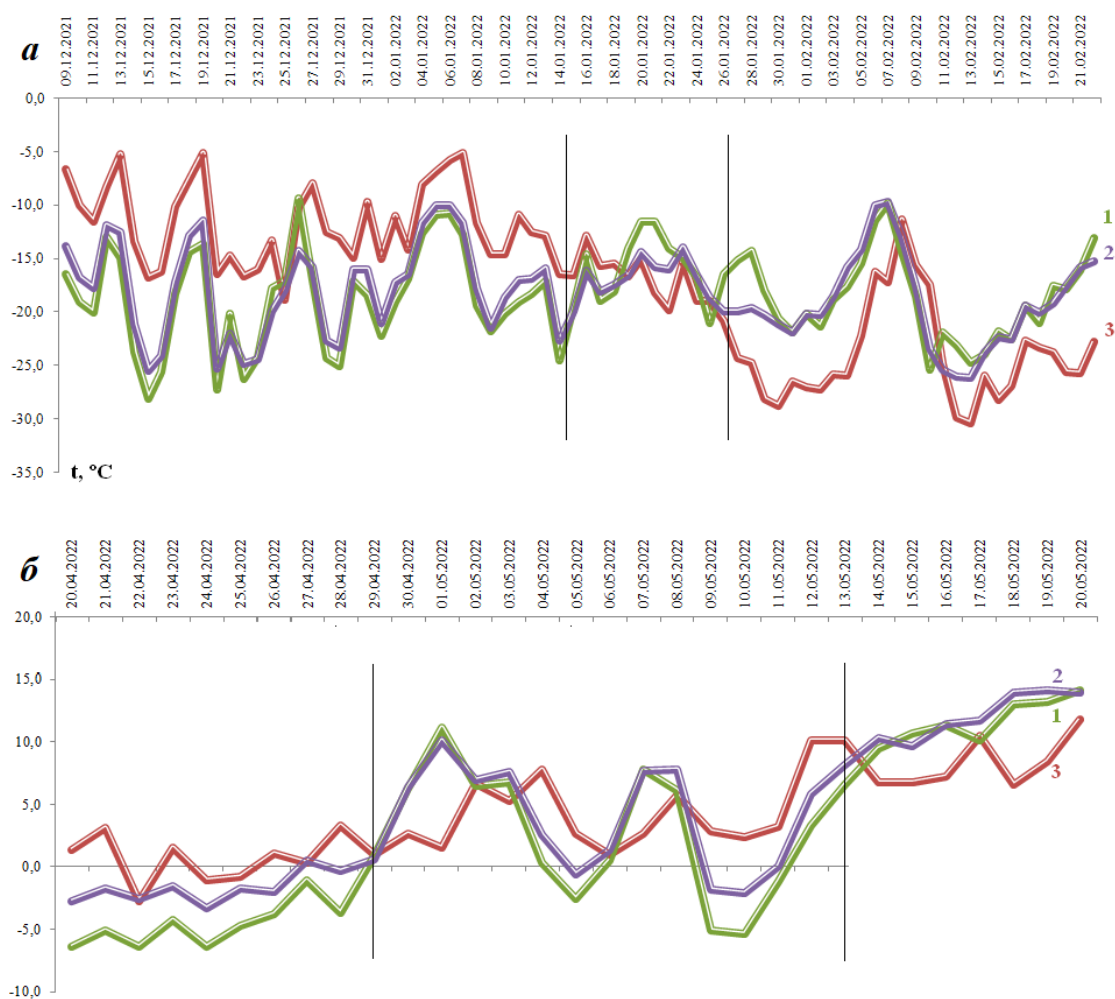


Рис. 3. Термический режим центрального Прибайкалья: *а* – в зимний период 2022 г.; *б* – в весенний период 2022 г. Приморский хребет: 1- подгольцовый пояс (1280 м над у.м.); 2-горнотаежный пояс (1040 м); 3 – побережье оз.Байкал – ст. Узур (456 м)

Fig. 3. Thermal regime of the central Pribaikalye a) in the winter period of 2022; b) in the spring of 2022. Primorsky Ridge: 1 – podgoltsovyy belt (1280 m above sea level); 2 – mountain-taiga belt (1040 m); 3 – coast of Lake Baikal - station Uzur (456 m)

В годовом ходе температуры воздуха наибольшее ее повышение происходит в марте – мае на 7–10 °С в горнотаежном поясе и на 6–9 °С в подгольцовом (см. табл. 1). Наибольшая скорость снижения среднемесячной температуры воздуха характерна для конца августа – сентября на 8–8,5 °С.

Летом различие по температуре воздуха между подгольцовым и лесным поясом составляет 1,5–2 °С, в межсезонье 2–2,5 °С (при перепаде высот в 240 м); в пределах горнотаежного пояса средние месячные температуры воздуха на горах в среднем выше на 0,6–0,9 °С, чем под пологом леса (в зимний период разница составляет 0,1–0,3 °С).

С увеличением высоты местности прослеживается закономерность убывания сумм положительных температур воздуха. По данным сайта «Расписание погоды» gr5.ru в 2022 г., сумма активных температур выше +10 °С составила на предгорных станциях 1716° (ст. Баяндай), 1236° – на ст. Узур; в северной части Приморского хребта: 1100° С – в подгольцовом поясе на высоте 1280 м над у.м.; 1235° – в горнотаежном поясе на высоте 1040 м над у.м. на участке без пирогенного воздействия и 1300° – в горельнике. Таким образом, в котловине оз.Байкал значения сумм активных температур выше +10°С сопоставимы с таковыми в верхней части горнотаежного пояса Приморского хребта, образующего западный борт котловины озера.

Метеорология

Бибаева А.Ю.

За начало осеннего сезона принимается средняя дата первого мороза. В 2021 году первые осенние заморозки в подгольцовом поясе отмечены 7 сентября, в лесном поясе – 26 сентября. При этом в подгольцовом поясе заморозки начались на фоне еще высоких средних суточных температур воздуха 4,5–7,8°C в результате интенсивного радиационного выхолаживания, преимущественно в ночные часы; в горнотаежном же поясе они сопряжены со снижением среднесуточных температур до 3,2–5,8°C.

Устойчивые переходы температуры приземного воздуха через 0, +5, +10, +15 °C. В горных условиях ход среднесуточной температуры воздуха в весенний и осенний периоды имеет волнообразный характер и отличается сложными (многократными) переходами через 0°, +5°; +10°; +15°C. В табл. 2 представлены даты устойчивого перехода температуры воздуха через заданные значения, вычисленные на основе методики Д.А. Педея [20].

Таблица 2

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через заданные значения в подгольцовом и горнотаежном поясах севера Приморского хребта

Dates of stable transition of air temperature through the set values in the podgoltsovyi and mountain taiga belts in the north of the Primorsky Ridge

Климатические параметры	Подгольцовый пояс	Горнотаежный пояс		
		Контрольный участок	Горельник	
Даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через заданные значения	<i>вторая половина 2021 г.</i>			
	ниже +10°	2 сентября	3 сентября	3 сентября
	ниже +5°	3 сентября	22 сентября	22 сентября
	ниже 0°	26 сентября	26 сентября	26 сентября
	<i>первая половина 2022 г.</i>			
	выше 0°	29 апреля	29 апреля	29 апреля
	выше +5°	13 мая	12 мая	12 мая
выше +10°	10 июня	10 июня	10 июня	
Сумма положительных температур выше +10°	1100	1235	1300	
Длительность вегетационного периода с температурами выше +10°	84	85	85	
Длительность периода вегетационного периода с температурами +15°, дней*	Эпизодически	Эпизодически	Эпизодически	
Продолжительность холодного периода, дней	215	215	215	

* согласно [3] устойчивый переход температуры воздуха характеризуется интервалом времени длительностью не менее полумесяца, если длительность температурного периода менее 15 дней – период рассматривается как кратковременный, эпизодический.

Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0, +5 и +10 °C в верхних ландшафтных поясах севера Приморского хребта (1040–1280 м над у.м.) практически не различаются. Первые осенние заморозки в подгольцовом поясе в 2021 г. зарегистрированы 7 сентября (-1 °C); в горнотаежном поясе – на 19 дней позже – 26 сентября (до -1,2 °C, в подгольцовом поясе до -3,2 °C). Устойчивый переход температур приземного слоя воздуха от положительных к отрицательным осуществлялся 26 сентября 2021 г. на всех трех мониторинговых точках. Для сравнения в Предбайкальской впадине (по данным ст. Баяндай) данный переход происходил на 17 дней позже – 13 октября, а на побережье Байкала (ст. Узур) – на 18 дней позже – 14 октября.

В начале весны заморозки сильно задерживают начало вегетации. Они связаны с тем, что в тылу циклонов, проходящих с запада на восток, часто происходит заток холодного воздуха, вызывающего резкое похолодание [22]. Заморозки бывают и в начале лета. В 2022 году крайний заморозок в подгольцовом поясе отмечался 7-8 июня 2022 г. (-0,4 °C), в горнотаежном поясе – 12 мая – (-0,7°C; для сравнения в подгольцовом поясе в этот день регистрировалось до -1,8 °C). Переход к устойчивым положительным температурам в 2022 г. в верхних поясах севера Приморского хребта осуществлялся 29 апреля, в Предбайкальской впадине,

Метеорология

Бибеева А.Ю.

расположенной западнее хребта (ст. Баяндай), – 6 апреля, а на побережье оз. Байкал (ст. Узур, 456 м над у.м.) – 8 апреля, т.е. примерно на три недели раньше, чем в горных местоположениях. Таким образом, холодный период в верхних поясах севера Приморского хребта продолжительнее более чем на месяц (39–40 дней в 2021–2022 гг.) по сравнению с окружающими территориями.

Примечательно, что сроки перехода от устойчивой среднесуточной температуры воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сторону понижения существенно различаются по высотным поясам: в подгольцовом поясе в 2021 г. переход осуществлялся довольно резко (переход через значение $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 2 сентября, а через значение $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 3 сентября); в горнотаежном поясе он отмечен на 19 дней позднее – 22 сентября; в Предбайкальской впадине (ст. Баяндай) – 24 сентября; на побережье оз. Байкал (ст. Узур) – 26 сентября. Обратный переход температуры через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ к положительным значениям осуществлялся на 1 день раньше в горнотаежном поясе – 12 мая – по сравнению с подгольцовым – 13 мая (см. табл.2); в Предбайкальской впадине (ст. Баяндай) – 30 апреля; на побережье оз. Байкал (ст. Узур) – 12 мая.

Важной характеристикой вегетационного сезона является устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В 2022 г. в верхних поясах севера Приморского хребта он проходил 10 июня, в Предбайкальской впадине на ст. Баяндай – 13 мая, на побережье оз. Байкал на ст. Узур – 13 июня. Обратный переход от устойчивой средней суточной температуры воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в верхних поясах севера Приморского хребта в 2021 г. отмечен 2 сентября в подгольцовом поясе и 3 сентября – в горнотаежном. В данный сезон в Предбайкальской впадине на ст. Баяндай также переход регистрировался 3 сентября, в прибрежной зоне Байкала – 5 сентября. В результате длительность вегетационного периода в горах и на побережье Байкала сокращена примерно на 1 месяц по сравнению с Предбайкальской впадиной.

Как видно из графика на рис. 4, для верхнего пояса северной части Приморского хребта в 2022 г. устойчивый переход температуры воздуха выше $+15^{\circ}$ не регистрируется; теплый период года характеризуется эпизодическим повышением температуры приземного слоя воздуха длительностью 2–8 дней в подгольцовом поясе, 4–10 дней на фоновом участке в горнотаежном поясе и 9–12 дней – в горельнике.

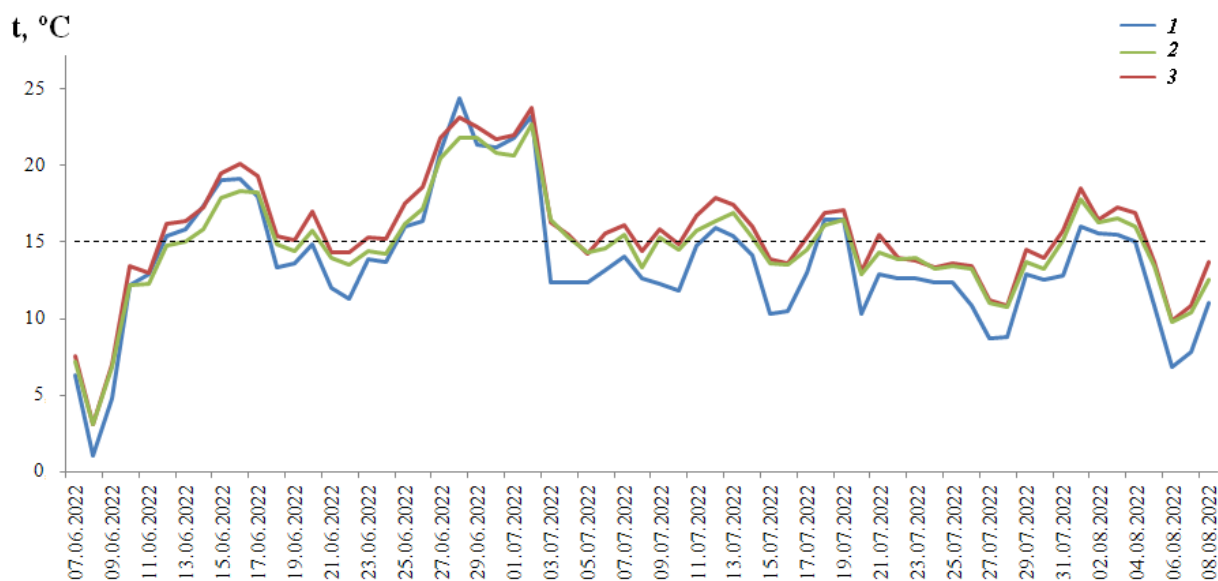


Рис. 4. Переход температуры приземного слоя воздуха через $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ в северной части Приморского хребта:

1 – в подгольцовом; 2 – горнотаежном поясах на контрольном участке; 3 – в горельнике 2015 г.

Fig. 4. The transition of the surface air layer temperature through $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the northern part of the Primorsky Ridge in the podgoltsovyy belt (1) and mountain taiga belt in the control area (2) and in the burnt area in 2015 (3)

Метеорология
Бибаева А.Ю.

Суточная динамика температуры воздуха зависит от времени года. На рис. 5 представлены усредненный суточный ход температуры призмического воздуха в январе и июле на трех точках наблюдения. Максимум суточного хода температуры приходится на 14 ч, минимум отмечается в предрассветные часы: летом в 5 ч утра, зимой в 8 ч утра. В пределах горнотаежного пояса древесный покров уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры воздуха в январе на $0,9^\circ$, в июле – на $0,6^\circ$ за счет задержки части солнечной радиации в дневное время и излучения с подстилающей поверхностью ночью.

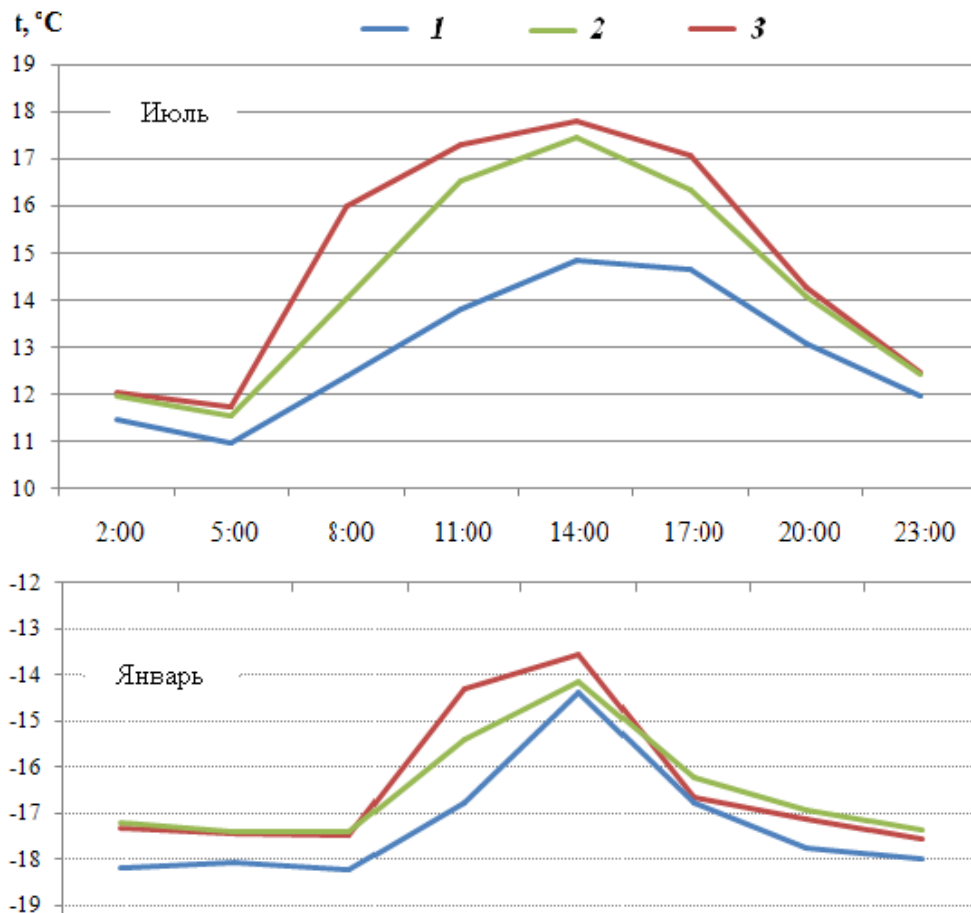


Рис. 5. Средняя суточная динамика температуры воздуха в январе и июле 2022 г.:

1 – подгольцовый пояс, горнотаежный пояс; 2 – контрольный участок, 3 – горельник

Fig. 5. Average daily dynamics of air temperature in January and July 2022:

1 – podgoltsovyyi belt, mountain taiga belt; 2 – control area, 3 – burnt area

Для горнотаежного пояса характерны более высокие температуры воздуха по сравнению с подгольцовым: в ночные часы разница составляет $0,6-1,0^\circ$ в зимний период, $0,5-0,6^\circ$ – летом, в дневные часы – $0,2^\circ$ зимой и $2,6^\circ\text{C}$ – летом. В пределах горнотаежного пояса температура воздуха на гари имеет более высокие значения в дневные часы ($0,3-0,8^\circ$ летом; $0,6^\circ$ зимой); ночью в летний период температуры воздуха выравниваются, зимой – на гари температуры снижаются ниже фоновых горнотаежного пояса (см. рис. 5).

Весной разница в дневных и ночных температурах воздуха горнотаежного и подгольцового поясов возрастает: в апреле в дневные часы она достигает $3,3^\circ$, в ночные – $1,0-1,4^\circ$; осенью – в октябре она составляет $1,8^\circ$ и $0,8^\circ$ соответственно. Кроме того, осенний период характеризуется меньшими амплитудами суточных колебаний температур (рис. 6).

Метеорология

Бибаева А.Ю.

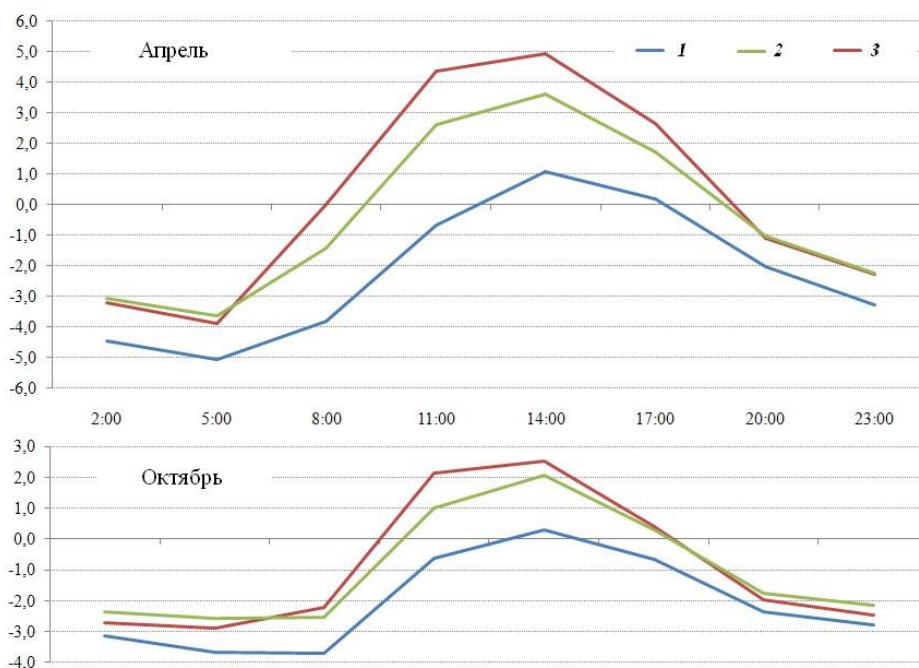


Рис. 6. Средняя суточная динамика температуры воздуха в апреле 2022 г. и октябре 2021 г.:

1 – подгольцовый пояс, горнотаежный пояс; 2 – контрольный участок, 3 – горельник

Fig. 6. Average daily dynamics of air temperature in April 2022 and October 2021:

1 – podgoltsovyi belt, mountain taiga belt; 2 – control area, 3 – burnt area

Изменчивость амплитуды внутрисуточной динамики температуры воздуха по сезонам года представлена на графике (рис. 7). Максимальные значения амплитуды (9,9–11,4°C) характерны для горнотаежного пояса весной, минимальные (4,9–5,7°C) – в ноябре и январе. В подгольцовом поясе амплитуда суточного хода температур изменяется сравнительно плавно от 4,2 до 7,2°C: минимальные значения наблюдаются в сентябре и июле, максимальные регистрируются в феврале.

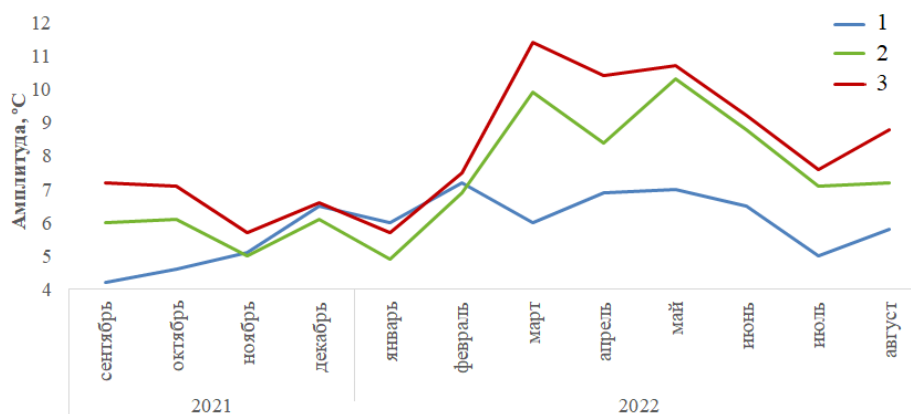


Рис. 7. Динамика суточной амплитуды температуры приземного слоя воздуха в 2021–2022 г.:

1 – подгольцовый пояс; горнотаежный пояс; 2 – контрольный участок, 3 – горельник

Fig. 7. Dynamics of the daily amplitude of the surface air temperature in 2021–2022:

1 – podgoltsovyi belt, mountain taiga belt; 2 – control area, 3 – burnt area

*Метеорология**Бибеева А.Ю.*

Заключение

Восточносибирская тайга относится к категориям земель с ограниченными возможностями интенсивного использования. На значительной части Прибайкалья сформирована расширенная сеть особо охраняемых природных территорий, действует особый природоохранный режим, регламентируемый федеральным законом «Об охране озера Байкал». Именно это обуславливает в качестве основного вида деятельности природоохранную, направленную на сохранение пространственно-временной структуры географических систем, – сохранение разнообразия и контраста геосистем, их коренных и переменных состояний, ландшафтных связей.

В последнее десятилетие в Прибайкалье значительно усилилось влияние пирогенного фактора. В районе исследования наиболее сильные пожары катастрофического характера прошли в 2015 г. В результате чего была сильно нарушена коренная растительность, значительно изменены или ослаблены ее средоформирующие и средозащитные функции.

Микроклиматические мониторинговые исследования в верхних ландшафтных поясах Приморского хребта, начатые в 2021 г., позволили в общих чертах представить термический режим горнотаежного и подгольцового поясов в современных условиях циркуляции атмосферы. Среднегодовая температура воздуха в верхних поясах Приморского хребта имеет отрицательные значения $-0,8 \div -2,3^{\circ}\text{C}$; она ниже, чем в окружающих предгорных ландшафтах: в Предбайкальской впадине $-0,3^{\circ}\text{C}$, на побережье оз. Байкал $+0,1^{\circ}\text{C}$. В годовом ходе температуры воздуха в верхних ландшафтных поясах минимум отмечается в январе; максимум – горнотаежном поясе приходится на июль, в подгольцовом – на июнь, что связано с локальным характером формирования внутримассовой конвективной облачности, наиболее интенсивно развивающейся в июле, и, как следствие, способствующей снижению прихода солнечной радиации к земной поверхности.

Величина годовой амплитуды температуры воздуха снижается с высотой с $35-40^{\circ}$ до $30,5^{\circ}\text{C}$, главным образом, за счет снижения летних температур в верхних поясах гор. Как следствие, с увеличением высоты местности прослеживается убывание сумм активных температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ в среднем на $56^{\circ}\text{C}/100$ м подъема на участке без пирогенного воздействия и $83^{\circ}\text{C}/100$ м при сравнении открытых участков подгольцового и горнотаежного (горельник) поясов.

Длительность вегетационного периода в горах и на побережье Байкала сокращена примерно на 1 месяц по сравнению с Предбайкальской впадиной. Сроки устойчивого перехода температур воздуха через 0° и $+10^{\circ}\text{C}$ для подгольцового и горнотаежного поясов Приморского хребта практически не различаются. Однако осенний период 2021 г. в подгольцовом поясе характеризуется более динамичным и ранним (на 19 дней) переходом температуры воздуха ниже $+5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с горнолесным поясом вследствие более интенсивного радиационного выхолаживания. Кроме того, для верхнего пояса северной части Приморского хребта устойчивый переход температуры воздуха выше $+15^{\circ}$ не регистрируется; теплый период года характеризуется лишь эпизодическим ее повышением.

Суточная динамика температуры воздуха характеризуется изменчивостью в зависимости от времени года. Максимум суточного хода температуры приходится на 14 ч, минимум отмечается в предрассветные часы: летом в 5 ч утра, зимой в 8 ч утра. Амплитуда суточных температур снижается с высотой примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ на 100 м поднятия. В пределах горнотаежного пояса древесный покров уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры воздуха в январе на $0,9^{\circ}$, в июле – на $0,6^{\circ}$ за счет задержки части солнечной радиации в дневное время и излучения с подстилающей поверхности ночью. В зимний период суточные амплитуды температуры подгольцового и горнотаежного поясов различаются на $1-1,5^{\circ}$, летом – около 3° , весной эта разница возрастает до $4-5,5^{\circ}\text{C}$.

Важно, что в результате исследования получены первые микроклиматические данные постпирогенной восстановительной динамики геосистем горнотаежного пояса. Согласно

Метеорология

Бибаева А.Ю.

данным наблюдений гари характеризуются более высокими абсолютными и динамическими показателями температуры воздуха по сравнению с нетронутыми пожаром участками. Их микроклиматические особенности обусловлены изменением отражающей способности подстилающей поверхности в результате уничтожения растительного покрова. Ожидается, что в перспективе мониторинг микроклиматических параметров позволит выявить длительность периода постпирогенного восстановления микроклиматических показателей до фоновых значений для разных топогеосистем северной части Приморского хребта. Полученные данные в дальнейшем позволят понимать направления решения экологических проблем в регионе и подобрать комплекс природоохранных мероприятий, направленных на восстановление коренной растительности Центральной экологической зоны и Зоны атмосферного влияния Байкальской природной территории.

Список литературы

1. Беркин Н.С., Макаров А.А., Русинек О.Т. Байкаловедение: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Ирк. гос. ун-та, 2009. 291 с.
2. Бибаева А.Ю. Пирогенное преобразование геосистем Западного Прибайкалья: факторы, условия, современное состояние // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2021. №1. С.3–18. DOI: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.3>
3. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР): свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». М., 2023. Режим доступа: URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 02.04.2023)
4. Буфал В.В., Линевич Н.Л., Башалханова Л.Б. Климат Приольхонья // География и природные ресурсы. 2005, № 1. С. 66–73.
5. Василенко О.В., Воропай Н.Н. Особенности формирования климата котловин юго-западного Прибайкалья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 2. С. 104–111.
6. Василенко О.В., Воропай Н.Н. Применение автоматических термографов (термогигрографов) для микроклиматического мониторинга // Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: Envigomis-2018. Томск: Изд-во Том. центра научно-технической информации, 2018. С. 412–415
7. Голубцов В.А., Вантеева Ю.В., Бронникова М.А., Черкашина А.А., Знаменская Т.И. Состав стабильных изотопов углерода органического вещества буроземов предгорий хребта Восточный Саян // Почвоведение. 2023. № 2. С. 184–202.
8. Голубцов В.А., Вантеева Ю.В., Воропай Н.Н., Василенко О.В., Черкашина А.А. Влияние локальных условий почвообразования на состав стабильных изотопов углерода почв Приольхонья // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022а. № 4. С. 84–96.
9. Голубцов В.А., Вантеева Ю.В., Воропай Н.Н., Василенко О.В., Черкашина А.А., Зазовская Э.П. Состав стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$) как показатель динамики органического вещества в почвах западного побережья озера Байкал // Почвоведение. 2022б. № 12. С. 1489–1504.
10. Горичев Ю.П., Юсупов И.Р., Давыдычев А.Н., Кулагин А.Ю. Широколиственные насаждения района широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала (некоторые результаты исследований) // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 2 (23). С. 16–20.
11. Зенкова И.В. Летняя динамика температуры в горных почвах заповедника "Пасвик" // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 4. С. 715–724.
12. Зенкова И.В., Штабровская И.М. Влияние гидротермических условий на подстилочных беспозвоночных вырубков и гарей Хибин // Лесоведение. 2022. №3. С. 1–17. DOI: 10.31857/S0024114822030123.
13. Иванов Е.Н. Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 25. С. 54–65.
14. Иванов Е.Н., Воропай Н.Н. Мониторинг почвенной температуры горных территорий юга Восточной Сибири // Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: мат. Всес. к. 2013. С. 60–62.
15. Коваленко С.Н., Китов А.Д., Шушарин П.В. Экспедиция клуба Портулан в район г. Мунку-Сардык в 2019 году // Геология и окружающая среда, 2022. Т.2. № 4. С. 176–195. DOI: 10.26516/2541-9641.2022.4.176.
16. Коркин С., Кайль Е. Постановка режимных наблюдений за температурой пород на территории природного парка «Сибирские Увалы» // МНИЖ. 2013. №5-3 (12).
17. Куприянов А.Н., Абдуова А.А. Методика изучения температуры почвы и воздуха с помощью автономных температурных регистраторов на территории Сырдарья-Туркестанского регионального природного парка // Наука и мир. 2020. № 5-1 (81). С. 29–33.
18. Максютова Е.В., Кичигина Н.В., Воропай Н.Н., Балыбина А.С., Осипова О.П. Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 72–80.
19. Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Василенко О.В. Метеорологический режим Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) в период абляции // Лёд и снег. 2021. Т. 61. №2. С. 179–194.
20. Педь Д. А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология. 1951. №10. С. 38–39

Метеорология
Бибаева А.Ю.

21. Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России» ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». М., 2020. Режим доступа: URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 02.04.2023).
22. Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал / под ред. В.В.Протопопова. Новосибирск: Наука, 1979. 256 с.
23. Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Новосибирск: Наука. 1977. 271 с.
24. Aalto J., Tuustjarvi V., Niittynen P., Kemppinen J., Rissanen T., Gregow H., Luoto M. Microclimate temperature variations from boreal forests to the tundra // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022. 323. 109037.
25. De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B.R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D.M., Decocq, G., Pauw, K.D., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D.H., Koелеmeijer, I.A., Lembrechts, J.J., Marrec, R., Hylander, K. Forest microclimates and climate change: importance, drivers and future research agenda. *Glob. Change Biol.*, 2021. 27 (11), 2279–2297. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>.
26. Potter, K.A., Woods, H.A., Pincebourde, S. Microclimatic challenges in global change biology. *Glob. Change Biol.*, 2013. 19 (10), 2932–2939. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12257>.
27. Tuustjärvi, V. A., Niittynen, P., Kemppinen, J., Luoto, M., Rissanen, T., and Aalto, J.: Variability and drivers of winter near-surface temperatures over boreal and tundra landscapes, *EGU sphere* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-576>, 2023.
28. Vasilenko O.V., Voropay N.N. Microclimatic features of landscapes in the territory with a sparse network of meteorological observations. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Development Factors, Opportunities and Gaps*, 2021. p. 012037.

References

1. Berkin, N.S., Makarov, A.A. and Rusinek, O.T. (2009) *Baikalovedenie: study guide*, Izdatel'stvo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, Irkutsk, Russia, 291 p.
2. Bibaeva, A.Yu. (2021) Pyrogenic Transformation of geosystems of the Western Cibaikalia: factors, conditions, current state, *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, vol.35, pp. 3-18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.3>.
3. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. (2023) "Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)", *FGBU «VNIIGMI-MCD*, <http://meteo.ru>.
4. Bufal, V.V., Linevich, N.L. and Bashalkhanova, L.B. (2005) Climate of the Olkhon region, *Geography and natural resources*, No. 1, pp. 66-73.
5. Vasilenko, O.V. and Voropay, N.N. (2015) Features of climate formation of depressions in South-Western Baikal Region, *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, № 2, pp. 104-111.
6. Vasilenko, O.V., Voropay, N.N. (2018) Use of automatic thermographs (thermohygrographs) for microclimatic monitoring. *International conference on environmental observations, modeling and information systems: Enviromis'2018*. Izd.Tomsk Center for Scientific and Technical Information, Tomsk, Russia, pp. 412-415.
7. Golubtsov, V.A., Vanteeva, Yu.V., Bronnikov, A.M.A., Cherkashina, A.A. and Znamenskaya, T.I. (2023) Stable carbon isotopic composition of organic matter in cambisols of Eastern Sayan foothills, *Pochvovedenie*, № 2, pp. 184-202.
8. Golubtsov, V.A., Vanteeva, Yu.V., Voropay, N.N., Vasilenko, O.V. and Cherkashina, A.A. (2022a) Effect of local environmental factors on the stable carbon isotopic composition of soils in Olkhon Region, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*, 4, pp. 84-96.
9. Golubtsov, V.A., Vanteeva, Yu.V., Voropay, N.N., Vasilenko, O.V., Cherkashina, A.A. and Zazovskaya, E.P. (2022b). Stable isotopic composition ($\delta^{13}C$) as a proxy of organic carbon dynamics in soils of the western shore of Lake Baikal, *Pochvovedenie*, 12, pp. 1489-1504.
10. Gorichev, Y.P., Yusupov, I.R., Davydychev, A.N. and Kulagin, A.Y. (2018) Broad-leaved plants of the Southern Urals broad-leaved-conifer forests (some results of the studies), *Samarskij nauchnyj vestnik*, T.7, 23 (2), pp. 16-20.
11. Zenkova, I.V. (2013) Summer temperature dynamics in the mountain soils of the Pasvik Nature Reserve, *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 16 (4), pp. 715-724.
12. Zenkova, I.V. and Shtabrovskaya, I.M. (2022) Hydrothermal conditions affecting the forest litter invertebrates in the cuttings and burnt areas of Khibiny Mountains, *Lesovedenie*, 3, pp. 1-17. DOI: 10.31857/S0024114822030123.
13. Ivanov, E.N. (2018) Modern methods of in situ studying for mountain glaciers on Eastern Siberia's south, *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*, 25 (3), pp. 54-65. DOI: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54>
14. Ivanov, E.N. and Voropay N.N. (2013) Soil temperature monitoring in mountainous areas in the south of Eastern Siberia, *Sibirskoe soveshchanie po klimato-ekologicheskomu monitoringu. Materialy Vseossijskoj konferencii*, pp. 60-62.
15. Kovalenko S.N., Kitov A.D. and Shusharin P.V. (2022) Expeditions of the Portulan Club to the area of Munku-Sardyk in 2019, *Geologiya i okruzhayushchaya sreda*, 2 (4), pp. 176–195. DOI: 10.26516/2541-9641.2022.4.176.
16. Korkin, S., Kayl, E. (2013) A staging of regime observations for the temperature of rocks in the territory of Natural Park "Siberian Uvaly", *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 12 (5-3), pp.17-19.
17. Kupriyanov, A.N. and Abduova, A.A. (2020) Methods for studying soil and air temperature using autonomous temperature recorders on site Syr Darya-Turkestan Regional Nature Park, *Nauka i mir*, 81(5-1), pp. 29-33.
18. Maksyutova E.V., Kichigina N.V., Voropay N.N., Balybina A.S., Osipova O.P. (2012). Tendencies of hydroclimatic changes on the Baikal Natural Territory, *Geography and Natural Resources*, 33(4), pp. 304-311.
19. Osipov, E.Yu., Osipova, O.P. and Vasilenko, O.V. (2021) Meteorological regime of the Sygtykinsky glacier (the Kodar Ridge) during the ablation period, *Lyod i sneg*, 61(2), pp. 179-194.
20. Ped', D.A. (1951) On determining the dates of stable transition of air temperature through certain values. *Meteorology and Hydrology*, №10, pp. 38–39.

Метеорология

Бибаева А.Ю.

21. Razuvaev V.N., Bulygina O.N., Korshunova N.N., Kleshchenko L.K., Kuznetsova V.N., Trofimenko L.T., Sherstyukov A.B., Shvets N.V., Davletshin S.G., Zvereva G. .N. (2020) *Nauchno-prikladnoj spravochnik «Klimat Rossii»*, FGBU «VNIIGMI-MCD», <http://meteo.ru>
22. *Environment-forming role of forests in the Baikal basin* (1979), edited by V.V.Protopopov, Izd.Nauka, Novosibirsk, Russia, 256 p.
23. *The structure and resources of the climate of Baikal and adjacent spaces* (1977), Izd. Nauka, Novosibirsk, Russia, 271 p.
24. Aalto, J., Tyystjarvi, V., Niittynen, P., Kemppinen, J., Rissanen, T.,Gregow, H. and Luoto, M. (2022) Microclimate temperature variations from boreal forests to the tundra, *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 109037.
25. De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B.R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D.M., Decocq, G., Pauw, K.D., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klinges, D.H., Koelemeijer, I.A., Lembrechts, J.J., Marrec, R., Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: importance, drivers and future research agenda, *Glob. Change Biol*, 27 (11), 2279–2297. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>.
26. Potter, K.A., Woods, H.A. and Pincebourde, S. (2013) Microclimatic challenges in global change biology, *Glob. Change Biol*, 19 (10), 2932–2939. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12257>.
27. Tyystjärvi, V. A., Niittynen, P., Kemppinen, J., Luoto, M., Rissanen, T., and Aalto J. (2023) Variability and drivers of winter near-surface temperatures over boreal and tundra landscapes, *EGUsphere* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-576>.
28. Vasilenko, O.V. and Voropay, N.N. (2021) Microclimatic features of landscapes in the territory with a sparse network of meteorological observations, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Development Factors, Opportunities and Gaps*, 012037.

Статья поступила в редакцию: 25.04.2023, одобрена после рецензирования: 17.08.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 25 April 2023; approved after review: 17 August 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторе

Анна Юрьевна Бибаева

кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории теоретической географии
Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН;
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Information about the author

Anna Y. Bibaeva

Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Laboratory of Theoretical Geography,
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia
e-mail: pav_a86@mail.ru

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 631.95

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136

**ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ОТКРЫТЫХ ПЕСКОВ
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ В 2022 Г.****Валерия Витальевна Дорошенко**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград, Россия

doroshenko-vv@vfanc.ru, Author ID: 1143179, Scopus ID: 57223023789

Аннотация. Рассматривается ежемесячная динамика пространственного размещения открытых песков (очагов опустынивания и песчаных массивов) за 2022 г. в северо-восточной части Ставропольского края – Левокумском и Нефтекумском районах. Картографирование открытых песков проводилось с использованием ГИС-технологий и материалов дистанционного зондирования Земли (Landsat-8, 9) за каждый месяц 2022 г., за исключением января, ноября и декабря. Минимальная выявленная площадь открытых песков составляет 19,5 тыс. га (июнь), максимальная – 53,3 тыс. га (август), что составляет 6,3% общей площади территории исследования. Общий прирост площади открытых песков на конец года составил 25,9 тыс. га (в 2 раза по сравнению с началом года). За весь период исследования выявлено почти 4 тыс. участков, занятых песками, общей площадью более 300 тыс. га. За рассматриваемый период зарегистрировано 14 пыльных бурь (общая продолжительность составила 29 дней). Наиболее интенсивная зарегистрированная пыльная буря с наибольшей скоростью ветра и наименьшей видимостью за весь исследуемый период в начале марта 2022г. привела к увеличению площади песков в 1,5 раза. Наибольший прирост площади открытых песков наблюдался в августе (в 2,1 раза, на 28 тыс. га), когда были отмечены самые продолжительные в году пыльные бури. Установлена зависимость между продолжительностью пыльных бурь в течение месяца и приростом площади открытых песков. В исследовании учтена площадь засоления в виде сорových понижений.

Ключевые слова: опустынивание, пыльные бури, открытые пески, Ставропольский край, данные ДЗЗ, ГИС-технологии

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100405-9 «Картографическое моделирование состояния, функционирования и динамики процессов опустыненных территорий с применением информационных технологий».

Для цитирования: Дорошенко В. В. Динамика площади открытых песков на северо-востоке Ставропольского края в 2022 г. // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.127–136. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-127-136

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136

DYNAMICS OF THE AREA OF OPEN SANDS IN THE STAVROPOL REGION IN 2022**Valeriya V. Doroshenko**Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the RAS, Volgograd, Russia
doroshenko-vv@vfanc.ru, Author ID: 1143179, Scopus ID: 57223023789

Abstract. The article examines monthly dynamics of spatial distribution of open sands (desertification hotbeds and sand mas-sifs) in the north-eastern part of the Stavropol region (Levokumsky and Neftekumsky districts) for 2022. The sands were mapped using GIS technologies and Earth remote sensing materials (Landsat-8, 9) for each month of 2022, with the exception of January, November, and December. The minimum identified area of open sands is 19.5 thousand ha (June), the maximum is 53.3 thousand ha (August), which is 6.3% of the total study area. The total increase in the area of open sands at the end of the year was 25.9 thousand ha (a twofold increase compared to the beginning of the year). For the entire period under study, almost 4 thousand sand plots were identified, with a total area of more than 300 thousand ha. During the study period, 14 dust storms were registered (with the total duration of 29 days). The most intense dust storm of these, with the highest wind speed and the lowest visibility, occurred in early March 2022, and it led to a 1.5-fold increase in the sand area. The largest increase in the area of open sands was noted in August (by 2.1 times, by 28 thousand ha), when the longest dust storms of the year occurred. The relationship between the duration of dust storms during a month and the increase in the area of open sands has been established. The study takes into account the salinization area in the form of sor depressions.

Keywords: desertification, dust storms, open sands, Stavropol region, remote sensing data, GIS technologies



Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

Acknowledgments: the study was carried out as part of the state assignment of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, research No. 122020100405-9 ‘Cartographic modeling of the state, functioning, and dynamics of processes on deserted territories with the use of information technologies’.

For citation: Doroshenko, V.V. (2023). Dynamics of the area of open sands in the Stavropol region in 2022. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 127–136. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-127-136

Введение

Пыльные бури, значительно участвовавшие с 2017 г., оказывают огромное влияние на развитие процессов опустынивания на территории Прикаспийской низменности [17; 20]. Увеличение площадей открытых песков приводит к сокращению продуктивности и площади пастбищ у регионов с животноводческой специализацией. Последствия пыльных бурь обусловливает разрушение объектов инфраструктуры и ухудшение транспортной доступности отдаленных населенных пунктов [8]. Массивы открытых песков, образовавшиеся в результате переноса песков во время бурь, могут служить очагами дефляции и способствовать формированию последующих пыльных бурь.

Исследования, проводимые ранее на востоке Ставропольского края, например [7; 16; 15; 20], как правило, учитывают площадь открытых песков, зафиксированную в рамках вегетационного периода или в один период года – в период максимальной (конец весны или начало лета) или минимальной (конец лета и начало осени) вегетации, и не учитывают сезонную динамику процессов опустынивания [4]. При этом необходим также учет воздействия пыльных и песчаных бурь, оказывающих значительное влияние на динамику площади открытых песков вне зависимости от вегетационного периода [20]. В связи с этим целью настоящего исследования является проведение картографирования открытых песков с учетом количества и продолжительности пыльных бурь по состоянию на каждый месяц 2022 г., кроме января, ноября и декабря (в связи с невозможностью получения безоблачных спутниковых снимков).

Зона исследования охватывает часть Кумо-Манычской впадины и Терско-Кумской низменности, которые являются частью Прикаспийской низменности [9]. В административном отношении территория исследования включает в себя Левокумский и Нефтекумский муниципальные районы, расположенные на северо-востоке Ставропольского края. Данная территория располагается в переходной зоне между степной и полупустынной природными зонами, по агроклиматическому районированию относится к очень засушливому агроклиматическому району [2]. На севере и востоке к зоне исследования примыкают территории Республики Калмыкия (Ики-Бурульский и Черноземельский районы) и Республики Дагестан (Ногайский район), также в значительной мере подверженные опустыниванию и воздействию пыльных бурь [8; 11; 12; 15; 18; 19; 22; 23]. Очаги опустынивания, распространенные также в Курском и Степновском районах Ставропольского края, прилегающих с юга к зоне исследования, являются стабильными и мало подвержены воздействию пыльных и песчаных бурь, их площади и конфигурация незначительно изменились в течение последних 30 лет [7].

Материалы и методы

Использование данных дистанционного зондирования позволяет значительно снизить трудовые и временные затраты на проведение исследований ландшафтов, а значит, – увеличить периодичность исследований, повысить их оперативность и проводить ретроспективный анализ даже для участков, на которые отсутствуют данные наземных наблюдений [14; 24]. В исследовании использовались мультиспектральные космические снимки «Landsat-8, 9» с пространственным разрешением 30 м. Дешифрирование очагов опустынивания и массивов открытых песков проводилось визуальным способом с использованием комбинации каналов «естественные цвета» (красный-зеленый-синий спектральные каналы), которая обеспечивает достаточную контрастность для дифференциации песков и элементов окружающего ландшафта (рис. 1). Для обеспечения максимально объективного учета ежемесячной ди-

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

намики площадей песков были использованы спутниковые снимки с датами, наиболее приближенными к концу месяца (табл. 1). Конфигурация сцен «Landsat» и границ зоны исследования позволяет использовать одну сцену для картографирования открытых песков по состоянию на определенный месяц, но при наличии облачного покрова или других помех применялись дополнительные снимки с иными датами и номерами сцен. В связи со сплошным облачным покровом, сохранявшимся в течение января, ноября и декабря 2022 г., картографирование песков по состоянию на эти месяцы не проводилось. Похожие метеорологические условия складывались на прилегающей территории Ногайского района (Республика Дагестан) в ноябре 2022 г. [4]. Подробно методика выполнения работ описана в [7, 20]. Полевая верификация результатов дешифрирования материалов космической съемки с использованием данной методики показала достаточную степень достоверности [20].

Таблица 1

Даты съемки использованных космических снимков
Dates when the satellite images used in the study were shot

Месяц	Основной снимок		Дополнительный снимок	
	№ сцены и витка	Дата съемки	№ сцены и витка	Дата съемки
Февраль	170029	15.02	170029	07.02
Март		30.03	170029	22.03
Апрель		28.04	-	-
Май		30.05	-	-
Июнь		23.06	170029	07.06
			171029	30.06
Июль		26.07	170029	25.07
Август		26.08	-	-
Сентябрь		26.08	-	-
Октябрь		13.10	-	-

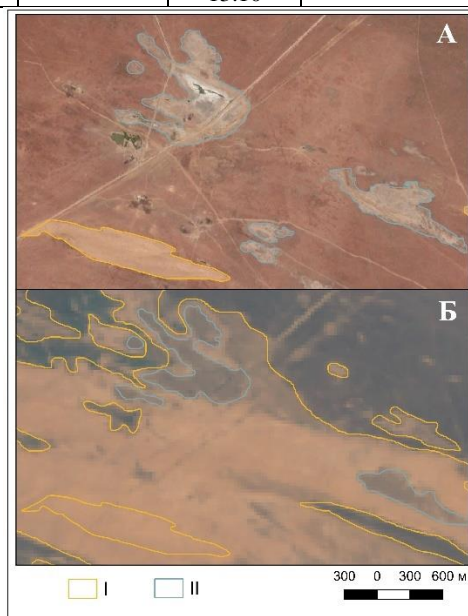


Рис. 1. Фрагмент космического снимка (45.53438° с. ш., 45.1344° в. д.): А – материалы Google Earth (август 2020 г.); Б – материалы Landsat-8 (март 2022 г.); I – границы песчаных массивов; II – границы соровых понижений
Fig. 1. A fragment of a satellite image (45.53438° N, 45.1344° E): A – Google Earth materials (August 2020); Б – Landsat-8 materials (March 2022); I – boundaries of sand masses; II – boundaries of sor depressions

Среднемноголетнее количество осадков в зоне исследования составляет около 300 мм (по данным метеостанций в г. Южно-Сухокумск и г. Буденновск), но в последние 10 лет наблюдается тренд к аридизации климата (сокращению среднегодового количества осадков и повышению среднегодовых температур), что благоприятствует развитию процессов опустынивания [2; 7]. Данные о пыльных бурях были получены с помощью сервиса

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

(<http://www.pogodaiklimat.ru/>) как о днях с отметкой явления «пыльная буря» и дальностью видимости менее 4 км для ближайших метеостанций в городах Арзгир, Буденновск, Зеленокумск.

Левокумский и Нефтекумский районы Ставропольского края подвержены антропогенному воздействию, оказывающему значительное воздействие на аридные пастбища. Западная часть зоны исследования почти не подвержена эоловому накоплению песков благодаря высокой степени распаханности и наличию сети защитных лесных насаждений, в то время как восточная часть практически лишена не только древесных, но и кустарниковых насаждений, способных противостоять переносу минеральных частиц во время пыльных и песчаных бурь. Также сохранению энергии ветров способствует равнинный тип рельефа Прикаспийской низменности и, в частности, Кумо-Манычской впадины [21]. Большое влияние на развитие процессов опустынивания оказывает наличие нефтедобывающих устройств, т.к. их создание и эксплуатация приводят к формированию разветвленной сети дорог без твердого покрытия, которые также могут служить очагами дефляции.

Значительное воздействие на интенсивность процессов опустынивания в восточной части зоны исследования оказывает выпас малого рогатого скота. Сокращение площади открытых пастбищ вследствие перевыпаса и засыпания пастбищных угодий песком в результате пыльных и песчаных бурь с 2010 по 2022 г. привело к сокращению поголовья овец и коз более чем на 400 тыс. голов [7]. При этом пастбищная нагрузка на оставшиеся территории снизилась незначительно или осталась неизменной в связи с сокращением пригодных для выпаса земель.

В исследовании учитывались границы сорных понижений и солончаков, полученные в ходе предварительных исследований данной территории. Соры имеют сходные с открытыми песками спектральные характеристики, а потому могут искажать площади опустынивания, получаемые в результате визуального или полуавтоматического дешифрирования материалов спутниковой съемки [3; 6; 13].

Обработка растровых материалов космической съемки и их дешифрирование, а также формирование картографических материалов проводились в программной среде ГИС «QGIS 3», статистическая обработка полученных данных выполнялась в среде «MS Excel».

Результаты и обсуждение

В результате экспертного дешифрирования материалов спутниковой съемки за весь период исследования (февраль-октябрь 2022 г.) выявлено более 3,8 тыс. очагов опустынивания и песчаных массивов общей площадью 311,2 тыс. га (рис. 2).

В количественном отношении преобладают очаги опустынивания площадью до 10 га (2,4 тыс. участков, 63,2% общего количества), при этом их площадь составляет всего 7 тыс. га. В площадном отношении наибольший вес имеет класс объектов с площадью более 1 тыс. га – всего выявлено 48 таких участков с общей площадью 204,5 тыс. га (65,7% общей площади).

Полученные данные проанализированы с дифференциацией по месяцам (табл. 2) и сопоставлены с продолжительностью пыльных бурь, зарегистрированных ближайшими метеостанциями.

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

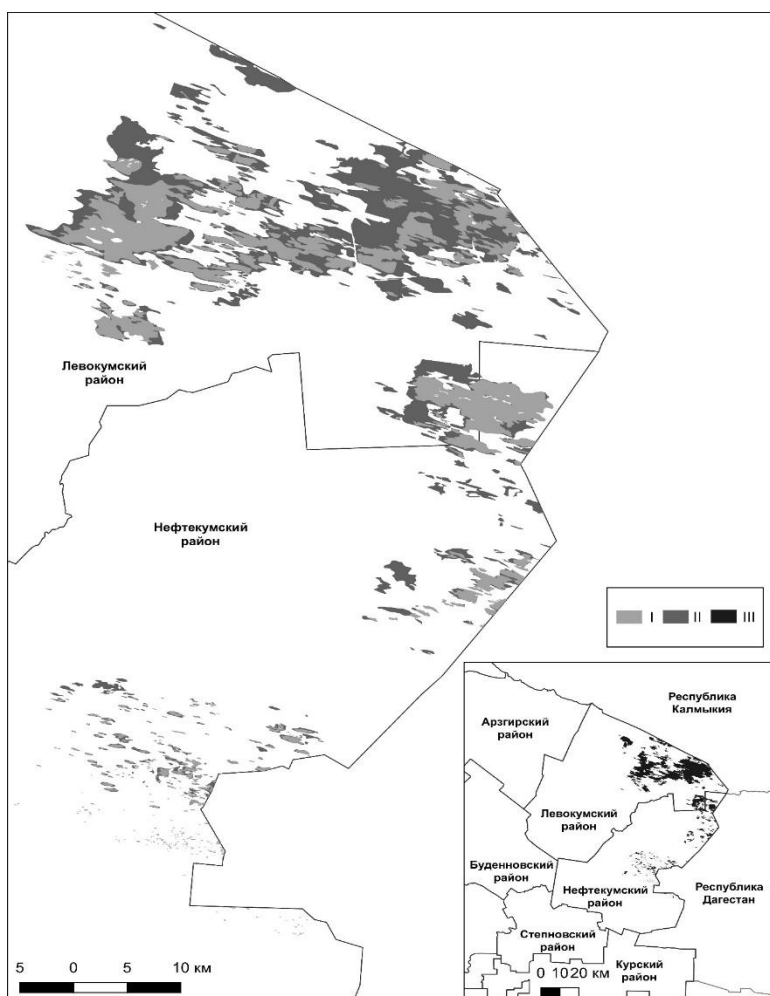


Рис. 2. Пространственное распределение открытых песков в зоне исследования в 2022 г.: I – неизменная в течение года площадь, II – прирост площадей на конец года, III – максимальная площадь (по состоянию на август 2022 г.)
Fig. 2. Spatial distribution of open sands in the study area in 2022 (I – area unchanged during the year, II – area increase at the end of the year, III – maximum area (as of August 2022))

Таблица 2

Ежемесячная динамика площади открытых песков
Monthly dynamics of the area of open sands

Показатель	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Площадь песков, тыс. га	24,5	37,8	28,4	23,1	19,5	25,3	53,3	48,9	50,4
Количество очагов	494	468	458	357	305	559	384	428	395
Средняя площадь очага, га	49,6	80,8	62,0	64,7	63,9	45,3	138,8	114,3	127,6
Пыльные бури, кол-во дней	-	4	3	-	1	1	16	3	1
Прирост площади песков, %	-	54,3	-24,9	-18,7	-15,6	29,7	110,7	-8,6	3,1

Полученные данные о площадях опустынивания соответствуют данным, полученным в других исследованиях, например [20], где площадь опустынивания по состоянию на май 2022 г. составила 22,5 тыс. га.

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

Общая площадь территории исследования составляет 848,4 тыс. га (468,7 тыс. га – Лёвокумский район, 379,7 тыс. га – Нефтекумский район). Таким образом, на начало 2022 г. доля площади открытых песков составляла 2,9% общей площади исследуемой территории; в июне, когда была зарегистрирована наименьшая площадь, занятая песками, – 2,3%; в августе в результате продолжительных пыльных бурь доля песков увеличилась до 6,3%; на конец года доля площади открытых песков составила 5,9% общей площади. В случае формирования пыльных бурь в конце 2022 г. или начале 2023 г., до начала вегетационного периода и возможного закрепления открытых песков растительностью, зафиксированная на конец года площадь песков может рассматриваться как потенциальный источник минерального материала, подверженного эоловому переносу.

В 2022 году было зарегистрировано 14 пыльных и песчаных бурь общей длительностью 29 дней. При этом большая часть бурь сопровождалась восточным ветром со скоростью от 5 до 26 м/с. Дальность видимости, отмеченная на метеостанциях, может быть использована в качестве индикатора интенсивности пыльной бури и переноса песка наряду со скоростью ветра. В 2022 г. она, в основном, составляла от «менее 2 км» до «менее 4 км», но во время пыльной бури (04.03-05.03), зарегистрированной на метеостанциях в городах Арзгир, Буденновск и Зеленокумск, видимость оставляла «менее 0,2 км» и «менее 0,05 км» (рис. 3).

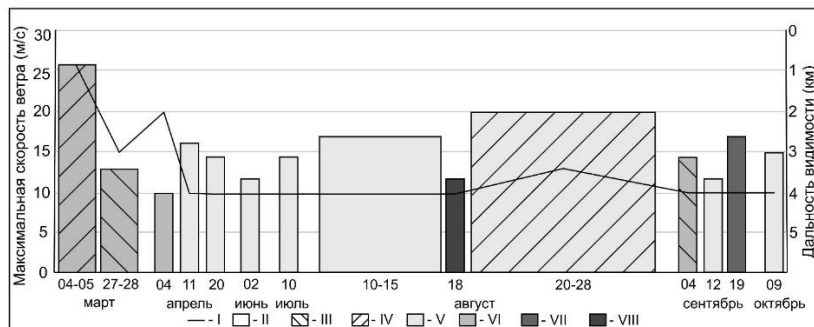


Рис.3. График продолжительности и интенсивности пыльных бурь в 2022 г.: I – средняя дальность видимости, II – на одной метеостанции, III – на двух метеостанциях, IV – на трех метеостанциях, V – преобладание восточного ветра, VI – западного ветра, VII – северо-западного ветра, VIII – северного ветра

Fig. 3. Schedule of duration and intensity of dust storms in 2022 (I – average visibility range, II – a dust storm was registered at one weather station, III – a dust storm was registered at two weather stations, IV – a dust storm was registered at three weather stations, V – predominance of the east wind, VI – predominance of the west wind, VII – predominance of the north-west wind, VIII – predominance of the north wind)

Между количеством дней с зарегистрированными пыльными бурями и приростом площадей открытых песков выявлена сильная положительная связь ($r = 0,83$). Тренд прироста площадей песков в соответствии с количеством дней, в которые были зарегистрированы пыльные бури, показывает достоверность данных ($R^2 = 0,7$). Наибольшее изменение отмечено между площадями открытых песков по состоянию на июль и август – в связи с масштабной пыльной бурей, длившейся с 20.08 по 28.08 (9 дней), площадь открытых песков увеличилась на 28 тыс. га (в 2,1 раза). При этом не менее значительно изменение площадей в марте по сравнению с февралем, когда в результате непродолжительной (с 04.03 по 05.03) пыльной бури площадь открытых песков увеличилась в 1,5 раза. Эта буря характеризовалась наибольшей зарегистрированной скоростью ветра (26 м/с) и наименьшей видимостью (от 0,05 до 2 км) на всех трех рассматриваемых метеостанциях, следовательно, данная пыльная буря была наиболее интенсивной в 2022 г. При последовательных пыльных бурях принесенный ветром ранее материал может подвергаться повторному выдуванию, что обуславливает дальнейшее нарастание площади открытых песков. Похожая ситуация могла наблюдаться в августе 2022 г., когда были зарегистрированы три пыльные бури с минимальными по продолжительности перерывами: с 10.08 по 15.08 (6 дней), 18.08 и с 20.08 по 28.08 (9 дней). В отсутствие пыльных бурь или при их малой продолжительности и интенсивности площадь

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

открытых песков постепенно снижается, вероятно, в результате зарастания тонкого слоя перенесенного ветром песка или распространения растительности, приспособленной к произрастанию на песке. В связи с тем, что во время песчаных бурь вместе с минеральными частицами переносятся также семена растений, при подходящих условиях зарастание песков может происходить в течение короткого времени [8]. В то же время отмечается небольшой (до 20%) прирост площади открытых песков в июле несмотря на то, что пыльные бури в июне и июле имели минимальную продолжительность. Это может быть связано с особенностями вегетации растительности в засушливой зоне Ставропольского края – к середине лета наблюдается спад вегетации растительности, снижается проективное покрытие, в связи с чем увеличивается площадь участков, которые могут распознаваться как открытые пески при дешифрировании материалов спутниковой съемки [10].

Также показателем развития процессов опустынивания может служить средняя площадь песчаного массива или очага опустынивания. На юге зоны исследования располагается несколько очагов опустынивания, слабо изменяющихся с течением времени даже в условиях учащения пыльных бурь, но в северной её части площади песчаных массивов значительно видоизменяются в течение года. В начале периода исследования, в феврале, когда площадь опустынивания была близка к минимальной, а пыльные бури не регистрировались, средняя площадь очага составляла 46,6 га, при этом площадь крупнейшего объекта составила 6 тыс. га. В мае, когда площадь открытых песков была на уровне, сопоставимым с февральским, средняя площадь очага возросла на 12,4 га, а количество выявленных объектов уменьшилось, что свидетельствует об объединении многих небольших песчаных массивов в результате пыльных бурь. Площадь наибольшего выявленного объекта при этом осталась практически неизменной и составила 6,2 тыс. га. В августе зарегистрированы наибольшая продолжительность пыльных бурь (как отдельной бури, насчитывавшей 9 дней, так и в сумме дней за месяц), наибольшая площадь открытых песков и наибольшая средняя площадь очага. Наибольший объект за весь период исследования также отмечен в августе, его площадь составляет 21,5 тыс. га.

До 2017 года, после которого отмечаются учащение и интенсификация пыльных бурь, очаги опустынивания в зоне исследования по конфигурации соответствовали антропогенному способу образования, представляя собой небольшие (до 5 га) участки открытых песков, расположенные вблизи пастушьих стоянок, колодцев, устройств нефтедобычи и других подобных объектов. Очаги опустынивания такого вида медленно увеличиваются по площади и в случае сокращения или исчезновения антропогенной нагрузки могут зарости без вмешательства человека [7]. В 2022 г. более 98% выявленных песчаных массивов имеет вытянутую в направлении преобладающих ветров форму, что свидетельствует об их формировании в результате пыльных бурь.

Учет соровых понижений в процессе дешифрирования открытых песков необходим, т.к. позволяет более объективно оценивать развитие опустынивания [3; 5; 6]. При этом представляется важным не просто исключение засоленных участков из площадей, занятых песками, но и учет возможности засыпания соров песком в результате интенсивных пыльных и песчаных бурь. Накопленный в понижении материал может быть перенесен далее при последующих пыльных бурях, или возможно даже зарастание соров, заполненных песком [1]. Большая часть соровых понижений остается чистой от перемещаемого ветром песка, но при этом они могут служить котловинами выдувания – выдуваемый с поверхности соров материал отличается от песка по цвету и, как правило, формирует примыкающий к сору с подветренной стороны тонкий шлейф, не превышающий 2 км в длину. За исследованный период было отмечено полное засыпание песком более 1 тыс. соровых понижений общей площадью 2,6 тыс. га. При этом средний размер засыпанного сора составил 2,5 га, а максимальная площадь не превышает 200 га. Сорковые понижения более крупных размеров были засыпаны

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

только частично в результате пыльных и песчаных бурь, наблюдавшихся в августе 2022 г. При этом оценка объемов песка в сорových понижениях с использованием исключительно дистанционных материалов возможна только приблизительно в связи с отсутствием данных о толщине слоя наносов, которая не может быть приравнена к глубине сора относительно окружающей местности [6].

Заключение

Последовательное дешифрирование материалов спутниковой съемки, фиксирующей состояние открытых песков на конец каждого месяца в исследуемый период, позволило выявить взаимосвязь между продолжительностью и интенсивностью пыльных бурь и приростом площади открытых песков. В результате определена динамика площадей открытых песков в 2022 г. и выявлен прирост их в 2 раза (на 25,9 тыс. га). На конец года открытые пески занимали почти 6% общей площади зоны исследования. Максимальная зафиксированная площадь песков составляла 53,3 тыс. га (август 2022 г.), в этот же период наблюдалась наиболее продолжительная пыльная буря. Данные территории могут служить источником минерального материала для формирования последующих пыльных бурь. Выявлена положительная статистическая связь между продолжительностью пыльных бурь и приростом площадей открытых песков. После 2017 г. основным фактором, влияющим на рост площадей открытых песков, стал климатический, а не антропогенный. Тем не менее перевыпас и другие виды антропогенного воздействия содействуют появлению очагов дефляции как источников материала для пыльных бурь. Проведен анализ воздействия пыльных бурь на сорových понижения, которые могут аккумулировать песок до следующей пыльной бури.

Данные о динамике площадей открытых песков, полученные путем дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли, могут оперативно обновляться для выявления кризисных территорий. Полученные оперативные данные позволят планировать мелиоративные мероприятия и использоваться при регулировании поголовья малого рогатого скота.

Список источников

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: Изд-во «МБА», 2021. 700 с.
2. Антонов С. А. Изменение агроклиматического районирования территории Ставропольского края для повышения продуктивности агроландшафтов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3(71). С. 8–11. doi:10.25930/0erb-cm88.
3. Берденгалеева А. Н., Дорошенко В. В. Пространственное распределение сорových понижений на юге европейской России по данным дистанционного зондирования // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4(119). С. 6–11. doi:10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11.
4. Биарсланов А. Б., Шинкаренко С. С., Гаджиев И. Р. Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 1. С. 160–175. doi: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175.
5. Гасанов Г. Н., Асадулаев З. М., Асварова Т. А., Гасанова З. У., Гаджиев К. М., Баширов Р. Р., Абдулаева А. С., Ахмедова З. Н., Мусаев М. Р., Магомедов Н. Р., Айтеемиров А. А., Десинов С. Л. Экологические аспекты формирования солончака реградированного в Терско-Кумской низменности Прикаспия // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 4. С. 86–97.
6. Дорошенко В. В. Геоинформационное картографирование сорových понижений и солончаков в Ставропольском крае // Известия Нижневолжского агроуниверситета. комплекса: наука и высшее образование. 2022. № 4 (68). С. 553–561. doi:10.32786/2071-2022-04-64.
7. Дорошенко В. В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3(118). С. 31–36. doi: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36.
8. Дорошенко В. В., Балынова В. В. Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4(119). С. 24–29. doi:10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29.
9. Кулик К. Н. Агроресомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
10. Лапенко Н. Г., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г. Растительность степных фитоценозов и особенности ее вегетации в условиях Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2(193). С. 9–19. doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19.

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

11. Манаенков, А. С., Сурхаев Г. А., Сурхаев И. Г. Актуальные задачи лесной мелиорации в Терско-Кумском междуречье // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2017. № 2(46). С. 97–104.
12. Очир-Горяева М. А., Экмайер А., Вайцензггер В. Динамика процессов опустынивания в Республике Калмыкия с середины 1980-х гг. до настоящего времени // Oriental Studies. 2020. Т. 13. № 6. С. 1613–1622. doi: 10.22162/2619-0990-2020-52-6-1613-1622.
13. Пищулов С.А. Комплексная характеристика сорных понижений Северо-Западного Прикаспия (на примере Астраханской области). // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 2 (24). С. 123–126.
14. Рулев А. С., Юферев В. Г., Юферев М. В. Методология геоинформационного моделирования // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 5. С. 5–6.
15. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н. Мониторинг подверженных опустыниванию земель Республики Калмыкия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 130–141. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
16. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291–297. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
17. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Последствия пыльных бурь на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 17. №7. С. 270–275.
18. Шинкаренко С. С., Джамирзоев Г. С., Васильченко А. А. Проблема опустынивания в биосферном резервате ЮНЕСКО Кизлярский залив // Географический вестник. 2021. № 4(59). С. 99–112. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112.
19. Шинкаренко С. С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168.
20. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019–2022 гг // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С.319–327. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.
21. Юферев В. Г., Мелыхова А. В., Бальнова В. В. Геоинформационный анализ рельефа Кумо-Манычской впадины // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 2. С.67–76. doi: 10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.9.
22. Юферев В. Г., Беляев А. И., Синельникова К. П. Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С.465–473. doi: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
23. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10, No. 2. P.140–147. doi: 10.1134/S2079096120020043.
24. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. A new approach to the monitoring of desertification centers // Arid Ecosystems. 2011. Vol. 1. No. 3. P. 125-130. doi: 10.1134/S2079096111030127.

References

1. National report "Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)" (2021), ed. by R.S.-H. Edelgeriev, Moscow: Publishing house "IBA Publishing House", 700 p.
2. Antonov S. A. (2018), Changing the agro-climatic zoning of the Stavropol Territory to increase the productivity of agricultural landscapes, *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*, no. 3(71), pp. 8–11. doi: 10.25930/0erb-cm88.
3. Berdengalieva, A. N., Doroshenko, V. V. (2022), Spatial distribution of sor depressions in the south of European Russia according to remote sensing data, *Scientific and Agronomic Journal*., no 4(119), pp. 6–11. doi: 10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11.
4. Biarslanov, A. B. Shinkarenko, S. S., Gadzhiev, I. R. (2023), Mapping and analysis of seasonal dynamics of desertification areas in the north of Dagestan by monthly composites Sentinel-2, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 20, no. 1, pp. 160–175, doi: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175.
5. Gasanov, G.N., Asadulaev, Z.M., Asvarova, T.A., Gasanova, Z.U., Gadzhiev, K.M., Bashirov, R.R., Abdulaeva, A.S., Akhmedova, Z.N., Musaev, M.R., Magomedov, N.R., Aitemirov, A.A., Desinov, S.L. (2019), Ecological Aspects of the Formation of Regraded Solonchak in the Terek-Kuma Lowland of the Caspian, *South of Russia: ecology, development*, no. 14(4), pp. 86–97, doi: 10.18470/1992-1098-2019-4-86-97.
6. Doroshenko, V. V. (2022), Geoinformation mapping of sor depressions and salt marshes in the Stavropol Territory *Izv. Nizhnevolskogo agrouniversitet. complex: science and higher education*, no. 4 (68), pp. 553–561, doi: 10.32786/2071-2022-04-64.
7. Doroshenko, V. V. (2022), Geoinformation analysis of the development of desertification processes in the Stavropol Territory, *Scientific and agronomic Journal*, no. 3(118), pp. 31–36, doi: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36.
8. Doroshenko, V. V., Balynova, V. V. (2022), Assessment of modern desertification processes in the Republic of Dagestan on the example of a local sand massif, *Scientific and Agronomic Journal*, no. 4(119), pp. 24–29, doi: 10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29.
9. Kulik, K. N. (2004). Agroforestry mapping and phytocological assessment of arid landscapes, Volgograd: ed. VNIALMI, 248 p.
10. Lapenko, N. G., Eroshenko, F. V., Storchak, I. G. (2020), Vegetation of steppe phytocenoses and features of its vegetation in the conditions of the Stavropol Territory, *Agrarian Bulletin of the Urals*, no. 2(193), pp. 9–19, doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19.
11. Mанаенков, А. С., Сурхаев, Г. А., Сурхаев, И. Г. (2017), Actual problems of forest reclamation in the Tersko-Kum interfluvium, *Izv. Nizhnevolskogo agrouniversitet. complex: science and higher education*, 2017, no. 2(46), pp. 97–104.

Экология и природопользование
Дорошенко В.В.

12. Ochir-Goryaeva, M. A., Ekmayer, A., Vaitsenegger, V. (2020), Dynamics of desertification processes in the Republic of Kalmykia from the mid-1980s to the present, *Oriental Studies*, vol. 13, no. 6, pp. 1613–1622, doi: 10.22162/2619-0990-2020-52-6-1613-1622.
13. Pishchulov, S.A. (2013), Complex characteristics of the sor depressions of the North-Western Caspian Sea (on the example of the Astrakhan region), *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, no. 2 (24), pp. 123–126.
14. Rulev, A. S., Yuferev, V. G., Yuferev, M. V. (2011), Methodology of geoinformation modeling, *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2011, no. 5, pp. 5–6.
15. Titkova, T. B., Zolotokrylin, A. N. (2022), Monitoring of desertification-prone lands of the Republic of Kalmykia, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 19, no. 2, pp. 130–141, doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
16. Shinkarenko, S. S., Bartalev, S. A. (2021), Assessment of the area of desertification in the south of the European part of Russia in 2021, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 18, no. 4, pp. 291–297, doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
17. Shinkarenko, S. S., Bartalev, S. A. (2021), Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September–October 2020, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 17, no. 7, pp. 270–275.
18. Shinkarenko, S. S., Jamirzoev, G. S., Vasilchenko, A. A. (2021), The problem of desertification in the UNESCO Kizlyar Bay Biosphere Reserve, *Geographical Bulletin*, no. 4(59), pp. 99–112, doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112.
19. Shinkarenko, S. S. (2019), Spatio-temporal dynamics of desertification on Black lands, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 16, no. 6, pp. 155–168.
20. Shinkarenko, S. S., Bartalev, S. A., Berdengalieva, A. N., Doroshenko, V. V. (2022), Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019–2022, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 19, no. 5, pp. 319–327, doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.
21. Yuferev, V. G., Melikhova, A.V., Balynova, V. V. (2022), Geoinformation analysis of the relief of the Kumo-Manych depression, *Natural systems and resources*, vol. 12, no. 2, pp. 67–76, doi: 10.15688/SMP.jvolsu.2022.2.9.
22. Yuferev, V. G., Belyaev, A. I., Sinelnikova, K. P. (2022), Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia, *Izv. Nizhnevolzhskiy agrouniversitet. complex: science and higher education*, no. 4(68), pp. 465–473, doi: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
23. Dedova, E. B., Goldvarg, B. A., Tsagan-Manjiev, N.L. (2020), Land degradation of the Republic of Kalmykia: problems and methods of recultivation, *Arid Ecosystems* vol. 10, no. 2, pp. 140–147, doi: 10.1134/S2079096120020043.
24. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. (2011), A new approach to monitoring desertification centers, *Arid Ecosystems*, vol. 1, no. 3, pp. 125–130, doi: 10.1134/S2079096111030127.

Статья поступила в редакцию: 11.04.2023, одобрена после рецензирования: 03.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 11 April 2023; approved after review: 3 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторе

Валерия Витальевна Дорошенко

младший научный сотрудник
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук,
400062 Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 97

Information about the author

Valeriya V. Doroshenko

Junior Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences;

97, prospekt Universitetskiy, Volgograd, 400062, Russia
e-mail: doroshenko-vv@vfanc.ru

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

Научная статья

УДК 504.3.054+551.5

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-137-146

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕМЯН КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Алексей Сергеевич Шуткин¹, Константин Григорьевич Шварц², Владимир Александрович Шкляев³,
Лариса Викторовна Новоселова⁴

^{1, 2, 3, 4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

³ ФГБУ УралНИИ «Экология», г. Пермь, Россия

¹ ashutkin@mail.ru

² kosch@psu.ru

³ shklyaeavl@yandex.ru

⁴ novoselova@psu.ru

Аннотация. На основании проведенного исследования в г. Перми была определена дальность ветрового разлета семян клена ясенелистного (*Acer negundo*). На первом этапе в долине верхнего течения р. Уинка Мотовилихинского района г. Перми были определены средний вес семян этого инвазионного растения, скорость их оседания. Моделирование процесса распространения семян проводилось для одного дерева средней высоты. Дерево рассматривалось как точечный источник, для чего вычислялась скорость сброса количества семян, которая оценивалась как мощность источника.

Далее, путем математического моделирования на основе Гауссовой модели факела была определена дальность разлета семян инвазионного растения и были получены поля потока семян на поверхность почвы. Все расчеты выполнялись для различных условий стратификации атмосферы при фиксированном направлении ветра. Скорость ветра оценивалась как наибольшая, с обеспеченностью 5%.

Было установлено, что наибольшее расстояние пролета семян соответствовало слабой и умеренно устойчивой стратификации атмосферы. Расстояние до зоны максимального осаждения семян составляло от 35 до 107 м при скорости ветра 7 м/с.

Полученные данные могут быть использованы для написания муниципальной программы поэтапной замены клена ясенелистного на разных типах зеленых территорий г. Перми на основании регионального закона «Об озелененных территориях Пермского края».

Ключевые слова: математическое моделирование, клен ясенелистный, *Acer negundo*, инвазионные виды, Гауссова модель факела

Для цитирования: Шуткин А. С., Шварц К. Г., Шкляев В. А., Новоселова Л. В. Математическое моделирование распространения семян клена ясенелистного в городской среде // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С. 137–146. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-137-146

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-137-146

MATHEMATICAL MODELING OF THE SPREAD OF ACER NEGUNDO SEEDS IN THE URBAN ENVIRONMENT

Alexei S. Shutkin¹, Konstantin G. Schwartz², Vladimir A. Shklyaev³, Larisa V. Novoselova⁴

^{1, 2, 3, 4} Perm State University, Perm, Russia

³ Ural State Research Institute of Regional Environmental Issues 'Ekologiya', Perm, Russia

¹ ashutkin@mail.ru

² kosch@psu.ru

³ shklyaeavl@yandex.ru

⁴ novoselova@psu.ru

Abstract. *Acer negundo* is an invasive species. It is a serious problem for natural, protected, and other green areas of the city of Perm. In some areas of small river valleys, it constitutes up to 80% of woody plants, and in public green areas – up to 30%. In recent decades, the expansion of *Acer negundo* has been increasing. Its invasion threatens biodiversity, hinders natural regeneration of other plant species, and deteriorates the appearance of landscaped areas. The rate of distribution of *Acer negundo* exceeds the possibilities of visual surveys. Thus, the results of such surveys do not provide a reliable picture of the current distribution of the invasive plants and of the potential for their distribution. Our research work aimed to determine the distribution range of *Acer negundo* seeds by means of modeling. Based on a study of the distribution of *Acer negundo* in the city of Perm, the range of wind scattering of



Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

its seeds was identified. In the valley of the upper reaches of the Uinka River in the Motovilikhinsky District of Perm, the average weight of *Acer negundo* seeds, the number of seeds per tree, and the seed settling rate were determined. The tree was considered as a point source, for which the rate of discharge of seed quantity was determined, which was estimated as the source power. Further, by mathematical modeling based on Gaussian flare model, the seed dispersal range of the invasive plant was determined and seed flux fields to the soil surface were obtained. All calculations were performed for different conditions of atmospheric stratification and at fixed wind direction. The wind speed was estimated as the highest, with a probability of 5%.

It was found that the greatest seed flight distance corresponded to weak and moderately stable stratification of the atmosphere. The distance to the zone of maximum seed deposition was from 35 to 107 m with a wind speed of 7 m/s.

These data were prepared for developing a municipal program of phased replacement of *Acer negundo* in different types of green areas of the city of Perm on the basis of the regional law 'On Green Areas of the Perm Region'.

Keywords: *Acer negundo*, invasive species, Gaussian plume model, mathematical modeling

For citation: Shutkin, A.S., Schwartz, K.G., Shklyayev, V.A., Novoselova, L.V. (2023). Mathematical modeling of the spread of *Acer negundo* seeds in the urban environment. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.137–146. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-137-146

Введение

Инвазия клена ясенелистного – проблема зеленых территорий г. Перми. Это угрожает биоразнообразию, препятствуя естественному возобновлению других видов растений, ухудшает внешний вид озелененных территорий. На отдельных участках в долинах малых рек клен ясенелистный составляет до 80% древесных растений, а в зонах специального озеленения – до 30% [15]. В монографии «Деревья и кустарники города Перми: справочник» [17] так же указано, что клен растет преимущественно в долинах и по берегам рек и озер.

По результатам осмотра более 697 тыс. деревьев на улицах, в скверах и парках семи административных районов г. Перми в 2001 г. было выявлено, что клен ясенелистный составляет от 12,9% (Дзержинский р-н) до 30,2% (Ленинский район) всего обследованного состава [10].

Клен ясенелистный занесен в Черную книгу флоры Средней России [8]. Черной книгой флоры России рекомендовано полностью прекратить посадки вида *Acer negundo*, включая декоративные культивары, но это часто не принимается во внимание, и в южных регионах России, Крыму, Краснодарском крае клен ясенелистный активно высаживается как в городах, так и в лесопосадках.

Благодаря малой повреждаемости болезнями, обильному плодоношению, высокой всхожести, быстрому росту клен ясенелистный способен внедряться в естественные ценозы и вытеснять аборигенные виды. Таким образом, он обедняет биоразнообразие, нарушает экологические системы. В первую очередь страдают поймы рек и нарушенные территории.

Клен обладает сильными аллелопатическими свойствами. Например, проведенные исследования [8, 19] показали, что он окисляет вещества, содержащиеся в выхлопах автомобилей, до более ядовитых. В отличие от кленов нашей флоры клен американский опыляется ветром, поэтому образует огромное количество пыльцы. Пыльца клена ясенелистного является аллергеном.

Математическое моделирование и другие математические методы необходимы для прогнозирования распространения инвазионных растений на больших территориях, так как темпы распространения этих растений превышают возможности визуальных обследований.

В региональном законе «Об озелененных территориях Пермского края» от 5 апреля 2022 г. внесено требование о необходимости предотвращения распространения клена ясенелистного [16]. В настоящее время реализуются мероприятия, направленные на озеленение территорий общего пользования г. Перми, согласно которым посадка в городе клена ясенелистного не допускается.

Работа по математическому моделированию ветрового разлета семян клена ясенелистного проведена в рамках этой муниципальной программы.

Материалы и методы исследования

Материалы для исследования были собраны в «саду соловьев» у р. Уинки, который находится в Мотовилихинском районе г. Перми между микрорайонами Садовый и Город-

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

ские горки. Площадь сада 10 га; длина сада вдоль р. Уинки – 600 метров, а ширина – от 60 до 200 м.

В начале двухтысячных годов на склоны р. Уинки было отсыпано большое количество строительного мусора и глины. Нарушенные территории массово занял клен ясенелистный.

Математическое моделирование ветрового разлета семян включает в себя этап определения мощности эмиссии источника. Для этого было проведено определение среднего веса семян клена ясенелистного. Общий вес отобранных 1000 семян составил 61 г, а исходя из этого средний вес одного семени – 0,061 г. Скорость оседания семян была определена путем их сбрасывания с шестого этажа здания и составила 0,66 м/сек.

Общая мощность источника (одного дерева) оценивалась путем подсчета количества семян на дереве – около 300000 штук, а время их сброса составило один год. Таким образом, мощность источника составила 2г/ч, или 0,000576 (г/с).

Так как готовой математической модели для расчета дальности распространения семян клена ясенелистного нет, то можно воспользоваться созданными моделями, используемыми для расчета рассеивания примеси в атмосфере. Распространение загрязнений в воздухе (в частности аэрозоля) математически похоже на распространение семян клена, поэтому было решено использовать подобные модели. Самые популярные модели, используемые для распространения загрязнений, – ОНД–86 [11], МРР [7, 12, 13], Гауссова модель факела [7, 12, 14, 18] и квазитрехмерная модель [21–23]. Модели ОНД–86 и МРР плохо подходят к городской среде со своеобразной застройкой, различными характеристиками подстилающей поверхности и большим разнообразием погодных условий; квазитрехмерная модель требует трудно получаемых данных и избыточна в нашей работе. По этим причинам была использована модель Гаусса.

Моделирование условий распространения семян для отдельно стоящего дерева при использовании Гауссовой модели факела позволило оценить максимальное расстояние распространения семян при различных погодных условиях и заданной скорости ветра. Один из вариантов решения уравнения турбулентной диффузии примеси позволяет определить концентрацию загрязняющих веществ [4–6, 9, 14]:

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q}{2\pi i \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right], \quad (1)$$

где c – объемная концентрация примеси; Q – мощность источника; H – эффективная высота источника (м); y – расстояние в поперечном направлении от оси факела (м); z – высота над уровнем земли (м); U – скорость ветра на высоте источника (м/с); σ_y , σ_z – стандартные отклонения поперек потока в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно (м).

Профиль ветра, зависящий от состояния устойчивости атмосферы, определялся по формуле

$$U(z) = U(10)(z/10)^p, \quad (2)$$

где $U(10)$ – скорость ветра на уровне флюгера, z – высота, на которой определяется ветер (принимается равной эффективной высоте источника H), p – параметр, зависящий от условий устойчивости и шероховатости поверхности (табл. 1).

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

Таблица 1

Оценка показателя степени p при различных состояниях устойчивости атмосферы и шероховатости поверхности по [6]
Estimation of the degree indicator p at different states of atmospheric stability and surface roughness according to [6]

z_0 м	Класс устойчивости					
	A	B	C	D	E	F
0.10	0.08	0.09	0.11	0.16	0.34	0.54
1.00	0.17	0.17	0.20	0.27	0.38	0.61

Значения стандартных отклонений могут быть вычислены по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Значения стандартных отклонений σ_y , σ_z для расстояний от 50 м до 1 км в условиях городской застройки (по [6])
Standard deviations σ_y , σ_z for distances from 50 m to 1 km in urban areas (according to [6])

Класс устойчивости	σ_y м	σ_z м
A, B	$0,32 \times (1+0,0001 x) - 1/2$	$0,24 \times (1+0,0001 x) / 2$
C	$0,22 \times (1+0,0001 x) - 1/2$	$0,20 \times x$
D	$0,16 \times (1+0,0001 x) - 1/2$	$0,14 \times (1+0,0003 x) - 1/2$
E, F	$0,11 \times (1+0,0001 x) - 1/2$	$0,08 \times (1+0,00015 x) - 1/2$

Обычно концентрация примеси, рассчитываемая для источника мощностью Q , г/с, зависит от высоты источника H и скорости ветра. При заданных параметрах можно определить поле концентрации в различных единицах (г/м³ или мг/м³).

Задача определения поля концентрации решалась при различных классах устойчивости приземного слоя воздуха: А – сильная неустойчивость, В – умеренная, С – слабая неустойчивость D – равновесное состояние; Е – слабая и F – умеренная устойчивость [7].

Высота источника определялась следующим образом: измененная высота деревьев составляла от 12 до 15 м, но, учитывая, что основная часть семян расположена в кроне дерева, можно принять среднюю высоту источника равной 12 м ($H=12$).

В этом случае можно вычислить поправочный коэффициент, позволяющий уточнить скорости ветра на высоте источника. Из формулы (2) следует, что при неустойчивости состоянии атмосферы (типа А) для городских условий получаем: $U(z) = U(10) \cdot 1,2^{0,17} = 1,03 \cdot U(10) \approx U(10)$, т.е. скорость ветра на высоте источника и уровне анеморумбометра можно считать одинаковыми.

При устойчивом состоянии атмосферы (F) $U(z) = 1,12 \cdot U(10)$, что также указывает на незначительные отличия в скоростях ветра на высоте H и высоте ветроизмерительного прибора.

При определении потока семян на поверхность и зоны их распространения необходимо вычислять концентрацию семян не в единицах массы, а в их количестве. В этом случае мощность источника должна определяться в единицах семян, а не граммах за единицу времени. Учитывая малое значение секундного выброса, мощность источника (Q) определялась как количество семян за сутки.

Так как основной сброс семян происходит в зимнее время, была рассчитана мощность выброса для этого промежутка времени. Было учтено, что зимой опадает примерно 60–80% семян (при среднем значении 70%) [1, 3, 20]. Исходя из этого следует, что наибольший сброс семян зимой за один день равен: $Q = 300000/N \cdot 0,7 \approx 2333$ ед./сутки, где $N=90$ – количество зимних дней.

При расчетах экологических оценок используют максимальную скорость ветра, возможную с 5%-ной обеспеченностью, которая для Перми составляет 7 м/с ($U=7$ м/с).

В формуле (1) слагаемое $-\exp(-(z+H^2)/2\sigma_z^2)$ используется для примеси, не взаимодействующей с поверхностью, а в нашем случае семена остаются на поверхности, поэтому его можно опустить. Не для всех семян, после их оседания на поверхности, могут наблюдаться

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

благоприятные условия для прорастания. В городе это могут быть поверхность дорог, улиц с твердым покрытием, водоемы. Учитывая этот фактор, добавлялся коэффициент вероятности попадания семян в благоприятную среду, который был принят равным 0,7 ($k=0,7$).

Конечный результат расчетов должен позволить определить поток семян на поверхность (P), который находится с учетом скорости оседания ($V=0,66$ м/сек).

Таким образом, после всех изменений формула для оценки потока семян на поверхность за один день будет записываться следующим образом:

$$P = \frac{kQV}{2\pi l \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right), \quad (3)$$

где высота z соответствует земной поверхности ($z=0$).

Результаты исследования и их обсуждение

При помощи разработанной программы по формуле (3), задавая полученные ранее необходимые параметры, был рассчитан поток семян на земную поверхность при различных условиях стратификации атмосферы. Результаты расчетов максимального потока семян и расстояние до точки максимума от источника эмиссии представлены в табл. 3. Расчеты выполнялись для всех типов стратификации: сильной и умеренной неустойчивости, слабой неустойчивости, равновесного состояния, для слабой и умеренной устойчивости.

Таблица 3

Максимальные значения седиментации семян при различной стратификации атмосферы
Maximum values of seed sedimentation under different atmospheric stratification conditions

Тип стратификации	Расстояние от источника, м	Величина седиментации P , ед./сут. м ²
Тип 1, сильная и умеренная неустойчивость	35	0,094
Тип 2, слабая неустойчивость	43	0,114
Тип 3, равновесное состояние	61	0,109
Тип 4, слабая и умеренная устойчивость	107	0,091

Анализ полученных результатов показывает, что точка максимума потока при слабой и умеренной устойчивости наиболее удалена от источника семян, а ближе всего она будет расположена при сильной и умеренной неустойчивости. Наибольшее значение потока наблюдается при слабой неустойчивости (табл. 3).

Были оценены поперечные размеры полей седиментации семян до изолинии 0,001 при разных расстояниях от источника на поверхности земли для всех типов стратификаций (табл. 4). Дополнительно оценивался поток семян на оси факела ($y=0$).

Таблица 4

Поперечные размеры полей седиментации семян (L) и величина седиментации на оси факела (P) при различной стратификации атмосферы
Transverse dimensions of the seed sedimentation fields (L) and the value of sedimentation on the plume axis (P) under different atmospheric stratification conditions

Тип стратификации	Расстояние от источника по оси факела, м					
	100		150		200	
	L	P	L	P	L	P
Тип 1, сильная и умеренная неустойчивость	82	0,028	109	0,013	128	0,008
Тип 2, слабая неустойчивость	61	0,047	82	0,023	99	0,013
Тип 3, равновесное состояние	47	0,076	65	0,042	81	0,026
Тип 4, слабая и умеренная устойчивость	33	0,090	48	0,076	61	0,053

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

Анализ этих данных показал, что при неустойчивой стратификации за счет интенсивной турбулентности зона рассеивания потока семян вблизи источника (на расстоянии 100 м) наиболее широкая, что подтверждается теорией.

Дополнительно были построены поля потока семян при одном из направлений ветра на земной поверхности для всех типов стратификации (рис. 1–4).

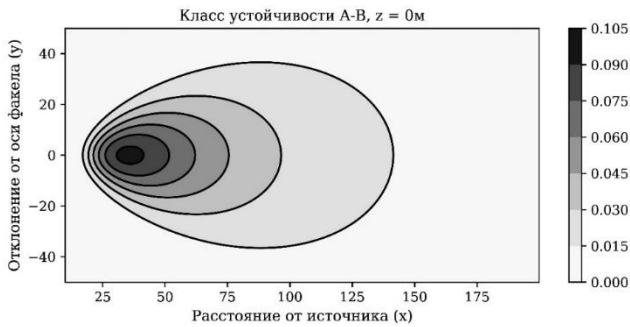


Рис. 1. Поле осевших семян, ед./ (сут.м²) при западном направлении ветра при наличии сильной и умеренной неустойчивости

Fig. 1. The field of settled seeds, un./ (day·m²) with a westerly wind direction in the presence of strong and moderate instability

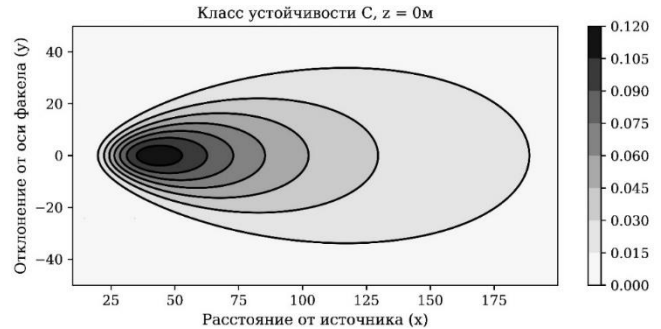


Рис. 2. Поле количества осевших семян (ед./ сут.м²) при западном направлении ветра при наличии слабой неустойчивости

Fig. 2. The field of settled seeds, un./ (day·m²) with a westerly wind direction in the presence of weak instability

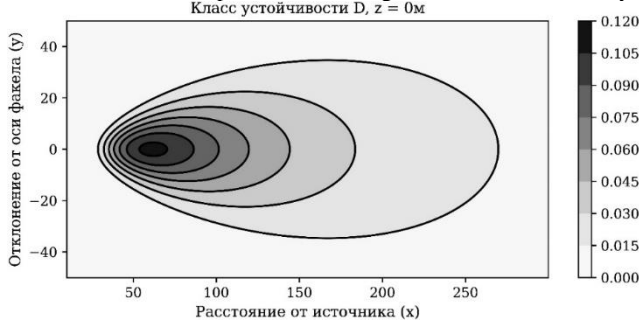


Рис. 3. Поле осевших семян (ед./ сут.м²) при западном направлении ветра в равновесных условиях

Fig. 3. The field of settled seeds, un./ (day·m²) with a westerly wind direction in equilibrium conditions



Рис. 4. Поле осевших семян (ед./ сут.м²) в приземном слое при западном направлении ветра при слабой и умеренной устойчивости

Fig. 4. The field of settled seeds, un./ (day·m²) in the surface layer with a westerly wind direction with weak and moderate stability

Сравнение полей концентраций при различных условиях стратификации показало, что в первом случае (сильная и умеренная неустойчивости) зона основного оседания семян находится на более близком расстоянии от источника, чем при других условиях стратификации. Зона наибольшего разлета семян наблюдается в условиях устойчивой атмосферы.

Этот вывод подтверждается величиной потока семян P на оси факела при различных классах устойчивости (рис. 5).

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

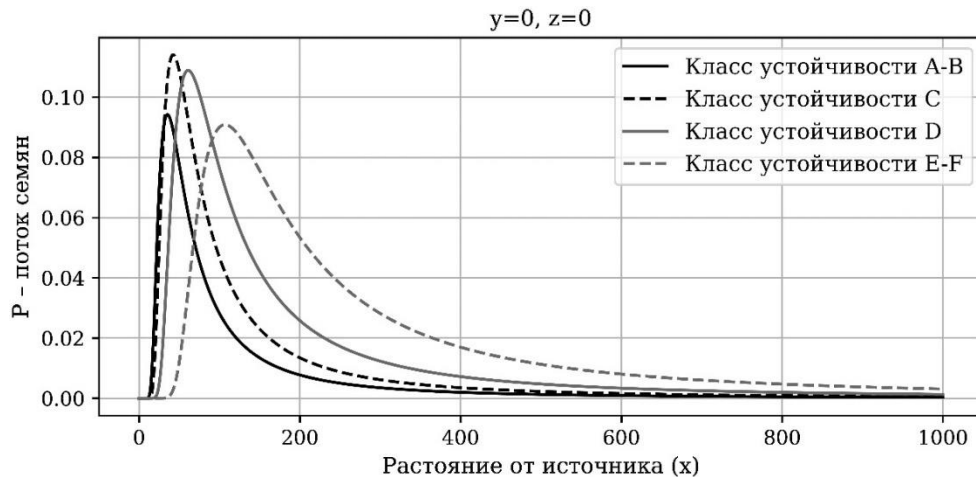


Fig. 5. Dependence of the seed flow (P, un./day·m²) on the distance to the source (x) on the plume axis for different resistance classes (A-F)

Например, наибольшая концентрация семян в классах устойчивости E, F приходится на расстояния 100–120 м вместо 35–60 м при устойчивом или равновесном случае. Наибольшее расстояние рассеивания семян приходится на классы устойчивости E, F– 400–500 м, что существенно больше других вариантов вместо 150–250 м.

По данным работы [2] указано, что расстояние максимального ветрового переноса крылаток – 50 м, а в работе [1] отмечается, что из-за относительно низкой скорости рассеивания семян с ветром достаточно зоны сдерживания, простирающейся на 50–250 м от источников семян. Также отмечено, что возможно рассеивание на большие расстояния, но не в массовом масштабе (распространение семян по насту, при штормовом ветре и др.). Однако существует возможность провоза семян автомобилями и поездами или движением по воде. При таких условиях скорость рассеивания может быть даже в 100 раз больше, так что диаметр буферной зоны для контроля над распространением клена может достигать 5–10 км.

В работе [20] отмечается, что распространение клена ясенелистного происходит очагами, расстояние между которыми составляет от 10 до 50 м (рис. 6).

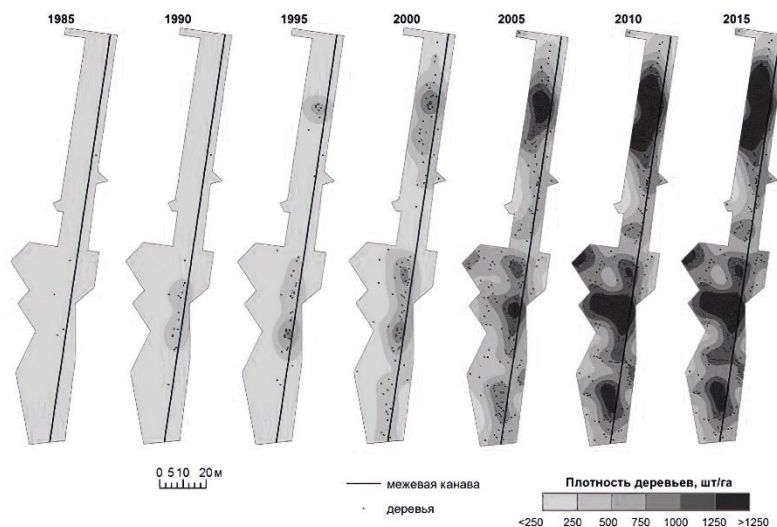


Fig. 6. Distribution of *Acer negundo* in the Yamskaya steppe area in different years [20]

Результаты расчетов при неустойчивом и равновесном состояниях устойчивости атмо-

Экология и природопользование
Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

сферы (А–D) хорошо согласуются с исследованиями других авторов, что говорит о хорошем соответствии используемой модели. В случае устойчивых типов стратификации (Е, F) оценки, полученные по нашей модели, существенно отличаются от результатов других исследований. Вероятнее всего, ранее проведенные исследования могли проводиться при условиях стратификации, отличающихся от устойчивого состояния (Е, F). Применяемая модель, использующая различные классы устойчивости, позволяет дополнить ранее проведенные исследования. На ее основе можно оценить ареалы распространения семян клена при использовании разнообразных погодных условиях, наблюдаемых в течение года.

Заключение

Математическое моделирование и другие математические методы необходимы для прогнозирования распространения инвазионных растений на больших территориях, так как темпы распространения этих растений превышают возможности визуальных обследований. Таким образом, результаты визуальных обследований не дают достоверной картины о текущем распространении инвазионных растений и потенциальных возможностях их распространения.

Данная работа показала, на каком расстоянии от материнского дерева клена можно обнаружить его потомков. Это позволит скорректировать дальнейшие исследования по данной тематике и дополнить математическим обоснованием проводимые работы практического характера. Полученные данные можно будет использовать для дальнейших работ по устранению клёнов из городов и, в частности, из г. Пермь. Наряду с этим данное исследование можно применять для разработки муниципальной программы поэтапной замены клена ясенелистного на разных типах зеленых территорий г. Перми.

В результате моделирования рассеивания семян клена получены следующие данные: наибольшее количество семян, разносимых ветром, находятся на расстоянии 35–60 м от самого дерева (ветер максимально способен отнести семена на 250–500 м). Новые сеянцы клена ясенелистного можно обнаружить на расстоянии до 500 м от материнского дерева, но основная часть будет расти на удалении около 50 м от дерева.

Список источников

1. Mędrzycki, P. (2011), NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Acer negundo*. 2011. [Электронный ресурс]. URL: https://www.nobanis.org/globalassets/speciesinfo/a/acer-negundo/acer_negundo.pdf (дата обращения: 05.03.2023).
2. Sachse U. Die Populationsbiologie von *Acer negundo* L., einem aggressiven Neophyten in Eurasien. // Postdoktorandenstipendium SA 445/1–1. DFG, Berlin. (1991).
3. Агишев В.С. Стратегия жизни клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.) за пределами естественного ареала // Современные научные исследования и инновации. 2016. №8 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/08/70744> (дата обращения: 05.03.2023).
4. Антонова А.М., Воробьев А.В., Воробьев В.А., Дутова Е.М., Покровский В.Д. Моделирование распространения в атмосфере загрязняющих веществ выбросов электростанций на базе программного комплекса "skat" // Известия ТПУ. 2019. №6 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rasprostraneniya-v-atmosfere-zagryaznyayuschih-veschestv-vybrosov-elektrostantsiy-na-baze-programmnogo-kompleksa-skat> (дата обращения: 14.05.2023).
5. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А. В. Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал. Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. ун-та, 2007. 255 с.
6. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примеси / под ред. Ньистадта Ф.Т.М., Ван Допа Х. М.: Гидрометеоздат, 1985.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. М.: Гидрометеоздат, 1985. 271 с.
8. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 9–12.
9. Гаргер Е.К., Гаврилов В.П., Жуков Г.П., Самарская Н.А. Лагранжева модель регионального переноса и рассеяния полидисперсной примеси в нижних слоях тропосферы // Труды ИЭМ. 1986. Вып. 14 (129). С. 20–30.
10. Лебедева И.М. Леса и растительность города // Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2001 г.: справочно-информ. материалы. Пермь, 2002. С. 23–29.
11. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86), утв. Госкомгидрометом СССР 4 августа 1986 г. № 192. М., 1986.
12. Методические указания по расчету осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ. СПб.: ГГО им. А.И. Воейкова, 2005.
13. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (МРР). Утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017, № 273. М., 2017.

Экология и природопользование

Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

14. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере на основании модели «Факела» // Вестник российских университетов. Математика. 2011. №1. С. 196–198.
15. Новоселова Л.В., Хохлова Ю.Е., Баглей Н.В. Роль экологической общественности в решении проблемы фитоинвазии клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на территории Перми // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться. Пермь, 2022. С. 438–446.
16. Об озелененных территориях Пермского края: Закон Пермского края от 05.04.2022, № 57-ПК. Пермь, 2022.
17. Овеснов С.А., Молганова Н.А., Василенко В.В. Деревья и кустарники города Перми // Справочник. Нижний Новгород, 2019. 226 с.
18. Попов Н.С., Бодров В.И., Перов В.Л. Основные направления в моделировании загрязнения воздушного бассейна за рубежом // Химическая промышленность за рубежом. 1984. Вып. 3. С.28–45.
19. Силаева Т.Б. О «цветных» книгах (или «разноцветных» книгах) вообще и Красной книге в частности // Российский научный мир. 2013. № 1. С. 101–107.
20. Украинский П.А., Терехин Э.А., Арбузова М.В. Ретроспективный анализ пространственных закономерностей расселения клена ясенелистного в охранной зоне участка Ямская степь (заповедник Белогорье) // Принципы экологии. 2021. № 1. С. 77–89.
21. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Математическое моделирование мезомасштабных и крупномасштабных процессов переноса примеси в бароклинной атмосфере. М.; Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований, 2015. 156 с.
22. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Моделирование мезомасштабных атмосферных процессов над большим городом // Метеорология и гидрология. 1994. №9. С. 29–38.
23. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Моделирование процессов переноса примеси в свободной атмосфере с помощью квазитрехмерной модели // Метеорология и гидрология. 2000. №8. С. 44–54.

References

1. Mędrzycki, P. (2011), NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Acer negundo*, available at: https://www.nobanis.org/globalassets/speciesinfo/a/acer-negundo/acer_negundo.pdf (Accessed: 5 March 2023).
2. Sachse U. (1991), Die Populationsbiologie von *Acer negundo* L., einem aggressiven Neophyten in Eurasien., Postdoktorandenstipendium SA 445/1–1. DFG, Berlin.
3. Agishev V.S. (2016), Life strategy of the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) outside its natural range, *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*, no. 8, available at: <https://web.snauka.ru/issues/2016/08/70744> (Accessed: 5 March 2023).
4. Antonova A.M., Vorob'ev A.V., Vorob'ev V.A., Dutova E.M. Pokrovskiy V.D. (2019) Simulation of the spread of polluting territories in the atmosphere on the basis of the SKAT complex, *Izvestiya TPU* no. 6, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rasprostraneniya-v-atmosfere-zagryaznyayuschih-veschestv-vybrosov-elektrostantsiy-na-baze-programmnogo-kompleksa-skat> (Accessed: 5 March 2023).
5. Arguchintsev V.K. (2007), Modeling of Mesoscale Hydrothermodynamic Processes and Transport of Technogenic Impurities in the Atmosphere and Hydrosphere of the Lake Baikal Area, V.K. Arguchintsev, A.V. Arguchintseva. – Irkutsk: Izd-vo Irkutsk.gos. un-ta, p. 255
6. Atmospheric turbulence and modeling of admixture propagation (1985), edited by N'istadta F.T.M., Van Dopa Kh. *Gidrometeoizdat*.
7. Berlyand M.E. (1985), *Prognoz i regulirovanie zagryazhenii atmosfery* [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, *Gidrome-teoizdat Publ.*, 1985. 272 p.
8. Vinogradova Yu.K. (2009), The Black Book of the Flora of Central Russia: Alien Plant Species in the Ecosystems of Central Russia, Yu.K. Vinogradova, S.R. Mayorov, L.V. Khorun. – M.: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, pp.9–12.
9. Garger E.K., Gavrilov V.P., Zhukov G.P., Samarskaya N.A. (1986), Lagrangian model of regional transport and scattering of polydisperse impurities in the lower layers of the troposphere, *Trudy IEM*, vol. 14(129), pp. 20–30.
10. Lebedeva I.M. (2002) Forests and vegetation of the city of Perm, *Sostoyanie i okhrana okruzhayushchei sredy g. Permi v 2001 g.: spravочно-inform. materialy*. Perm', pp. 23–29.
11. Methodology for calculating the concentrations in the atmospheric air of harmful substances contained in the emissions of enterprises (OND-86) (1986), approved Goskomgidromet of the USSR 4 August 1986 no. 192.
12. Guidelines for the calculation of averaged over a long period of concentrations of harmful substances emitted into the atmosphere (2005), SPb.: GGO im. A.I. Voeykova.
13. Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmospheric air (MRR) (2017), Approved by order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 6 June 2017 no. 273.
14. Modeling the spread of pollutants in the atmosphere based on the Fakel model (2011), *Vestnik rossiiskikh universitetov. Matematika*, no. 1, pp. 196–198.
15. Novoselova L.V., Khokhlova Yu.E., Bagley N.V. (2022), The role of the environmental community in solving the problem of Phyto invasion of the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the territory of Perm, *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem Fitoinvazii: ostanovit' nel'zya sdavat'sya*, pp.438–446.
16. About the green zones of the Perm region, Law of the Perm Territory dated April 5, 2022 no. 57-ПК.
17. Ovesnov S.A., Molganova N.A., Vasilenko V.V (2019), Trees and shrubs of the city of Perm: reference book: monograph / *Nizhny Novgorod*, p. 226
18. Popov N.S., Bodrov V.I., Perov V.L. (1984) The main directions in modeling air pollution abroad // *Khimicheskaya promyshlennost' za rubezhom*, vol. 3, pp. 28–45.
19. Silaeva T.B. (2013), About the Red Data Book and other «Colored» (Or «Multicolored») Data Books, *Rossiyskiy nauchnyy mir*, no. 1, pp.101–107.
20. Ukrainskiy P.A., Terexhin E.A., Arbusova M.V. (2021), Retrospective analysis of the spatial patterns of the distribution of the ash-leaved maple in the buffer zone of the Yamskaya steppe site (Belogorye reserve), *Printsipy ekologii* no. 1, pp.77–89.
21. Shvarts K.G., Shklyayev V.A. (2015), Mathematical modeling of mesoscale and large-scale pollutant transfer processes in a baroclinic atmosphere, K. G. Shvarts, V. A. Shklyayev. Perm. un-t. — M.–Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, p.156.

Экология и природопользование

Шуткин А.С., Шварц К.Г., Шкляев В.А., Новоселова Л.В.

22. Shvarts K.G., Shklyayev V.A. Modeling of mesoscale atmospheric processes over a large town (1994) // Russian Meteorology and Hydrology, no. 9, pp. 21–29.

23. Shvarts K.G., Shklyayev V.A. Modeling the pollution transport in the free atmosphere with a quasi-3D model (2000), Russian Meteorology and Hydrology, no. 8, pp. 18–26.

Статья поступила в редакцию: 24.05.2023, одобрена после рецензирования: 03.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 24 May 2023; approved after review: 3 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Алексей Сергеевич Шуткин

студент кафедры прикладной математики и информатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Alexei S. Shutkin

Student, Department of Applied Mathematics and Informatics, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: ashutkin@mail.ru

Константин Григорьевич Шварц

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и информатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Konstantin G. Schwartz

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Applied Mathematics and Informatics; Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: kosch@psu.ru

Владимир Александрович Шкляев

кандидат географических наук, доцент, профессор кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15
Старший научный сотрудник, Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем; 614039, г. Пермь, пр. Комсомольский, 61а

Vladimir A. Shklyayev

Candidate of Geographical Sciences, Professor at the Department of Meteorology and Environmental Protection; Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia.

Senior Researcher, Ural State Research Institute of Regional Environmental Issues;

61a, Komsomolsky Av., Perm, 614039, Russia.

e-mail: shklyayevvl@yandex.ru

Лариса Викторовна Новоселова

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и генетики растений, заведующая лабораторией цитогенетики и генетических ресурсов растений, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Larisa V. Novoselova

Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Botany and Plant Genetics, Head of the Laboratory of Cytogenetics and Plant Genetic Resources; Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: novoselova@psu.ru

Вклад авторов

Шуткин А.С. – проведение расчетов и исследований, участие в обсуждении результатов.

Шварц К.Г. – идея, экспертное мнение, участие в обсуждении результатов.

Шкляев В.А. – предоставление материалов, экспертное мнение, участие в обсуждении результатов.

Новоселова Л.В. – предоставление материалов, экспертное мнение.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Alexei S. Shutkin – carrying out calculations and research; participation in the discussion of the results.

Konstantin G. Schwartz – the idea; expert opinion; participation in the discussion of the results.

Vladimir A. Shklyayev – provision of materials; expert opinion; participation in the discussion of the results.

Larisa V. Novoselova – provision of materials; expert opinion.

The authors declare no conflict of interest.

RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-147-159

THE EVALUATION OF DEVELOPMENT EFFICIENCY FOR THE TOURISM AND RECREATION COMPLEX IN THE REGIONS OF RUSSIA WITH THE DEA METHODEvgeny V. Konyshev¹, Azat A. Safarian²^{1, 2} Perm State University, Perm, Russia² Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia¹ konj@bk.ru, SPIN-код: 8723-2196² azatsafaryan@mail.ru, SPIN-код: 8316-1217

Abstract. The article presents the results of assessing the development efficiency of the tourism and recreation complex of Russia's regions for the period from 2017 to 2021. This period includes both years of stability, characterized by predominance of positive trends in tourism development, and crisis and post-crisis years associated with the effects of the COVID-19 pandemic. Taking into account the complexity of the structure of the tourism and recreation system and the need to improve territorial planning and management, an urgent task is to introduce a comprehensive, aggregated efficiency indicator to be used for assessment of regional tourism. The efficiency coefficient (efficiency score) calculated by means of the DEA (Data Envelope Analysis) method is proposed as such an indicator. The study is novel in that it develops a methodology for assessing the efficiency of regional tourism based on DEA. The essence of this method is as follows: basing on the theory of duality, having data of input and output parameters, it is possible to calculate the value of the efficiency indicator for a set of N-objects (in our study – subjects, i.e., constituent entities of the Russian Federation). For the calculations, we used a model focused on the 'input' and taking into account the variable scale effect. In models of this type, each inefficient object is compared with efficient objects that have the structure (ratios) of indicator values closest to the structure of this inefficient object. This allows one to determine how much to change the parameters of the tourism and recreation complex in order to achieve efficiency equal to 1 (which is the maximum score). The model used seven 'input' indicators and six 'output' indicators. The analysis of the results was carried out in the context of the tourist macro-territories designated in the strategic documents for the development of tourism in the Russian Federation. The data obtained indicate a decrease in the efficiency of tourism development in the Russian Federation, with the exception of a number of regions and two tourist macro-territories. The results of the study can be used to adjust regional tourism development programs.

Keywords: tourist macro-territories, tourism efficiency, tourism and recreation complex, DEA (Data Envelope Analysis), tourism in Russian regions

For citation: Konyshev E.V., Safarian A.A. (2023). The evaluation of development efficiency for the tourism and recreation complex in the regions of Russia with the DEA method. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.147–159. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-147-159

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ

Научная статья

УДК 911.5/.9

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-147-159

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В РЕГИОНАХ РОССИИ МЕТОДОМ DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)Евгений Валерьевич Конышев¹, Азат Арменович Сафарян²^{1, 2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия² Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия¹ konj@bk.ru, SPIN-код: 8723-2196² azatsafaryan@mail.ru, SPIN-код: 8316-1217

Аннотация. В статье представлены результаты оценки эффективности развития туристско-рекреационного комплекса регионов России за период с 2017 по 2021 г. Этот период включает в себя как годы стабильности и преобладания положительных тенденций в развитии туризма, так и кризисные и посткризисные года, обусловленные влиянием пандемии COVID-19. Учитывая сложность структуры туристско-рекреационной системы, в целях совершенствования территориального планирования и управления, актуальной задачей является использование комплексного, агрегированного показателя эффективности при оценке регионального туризма. В качестве такого показателя предлагается коэффициент эффективно-



Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

сти, рассчитанный методом DEA (Data Envelopment Analysis). Разработка методики оценки эффективности развития регионального туризма на основе метода DEA определяет научную новизну исследования. Суть метода DEA состоит в том, что на основе теории двойственности, имея данные входных параметров и выходных параметров, можно рассчитать для множества N -объектов (в нашем исследовании субъекты РФ) значение показателя эффективности. Для расчетов применялась модель, ориентированная на «вход» и учитывающая переменный эффект масштаба. В моделях такого типа каждый неэффективный объект сопоставляется с эффективными объектами, имеющими структуру (соотношения) значений показателей, наиболее близкую к структуре этого неэффективного объекта. Это позволяет определить величину, на которую нужно изменить параметры туристско-рекреационного комплекса, чтобы достичь единичной эффективности. В модели применялось семь «входных» показателей и шесть «выходных». Анализ результатов осуществлялся в разрезе туристских макротерриторий, обозначенных в стратегических документах развития сферы туризма в Российской Федерации. Полученные данные свидетельствуют о снижении эффективности развития туризма в Российской Федерации, за исключением ряда регионов и двух туристских макротерриторий. Результаты исследования могут быть использованы для корректировки региональных программ развития туризма.

Ключевые слова: туристские макротерритории, эффективность туризма, туристско-рекреационный комплекс, метод DEA (Data Envelopment Analysis), туризм в регионах России

Для цитирования: Конышев Е.В., Сафарян А.А. Оценка эффективности развития туристско-рекреационного комплекса в регионах России методом DEA (Data Envelopment Analysis) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С. 147–159. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-147-159

Introduction

The tourism sector in Russia belongs to the priority sectors of economic development. Almost all regions are making efforts to create attractive tourist products, develop the tourism industry and infrastructure, increase the efficiency of using the tourism and recreation potential and boost the tourist flow. Each region has its own unique set of factors and conditions for the development of tourism, which contributes to regional heterogeneity. Therefore, it is extremely difficult to compare regions with each other and to rank them according to the level of tourism development. As a rule, such tasks arise in the process of developing strategic territorial planning documents.

The development of tourist infrastructure is one of the priority goals of the national project ‘Tourism and the Hospitality Industry.’ At the same time, tourist macro-territories act as the main objects of territorial planning and management as well as of the distribution of state subsidies [24]. Thus, in order to improve state regulation of tourism, it is necessary to regularly assess the efficiency of regional tourism.

Tourism efficiency is defined as ‘the ability of tourist destinations to use the capabilities of their hotels, travel agencies and scenic spots (districts) to maximize tourist demand.’ The assessment of tourism efficiency can help to correctly direct the intensive use of capital in the tourism industry, depending on the input and output of tourist resources [20]. At the same time, it is desirable to present the value of efficiency in the form of one aggregated indicator. In the light of this, the DEA method can be used to assess the efficiency of the functioning of the tourism and recreation complex. Although the DEA method is mainly used to evaluate the efficiency of individual enterprises, it can also be successfully applied to evaluate tourist regions [5]. The DEA method is based on the construction of the efficiency boundary that reflects the position of the evaluation objects that have the maximum efficiency value among all objects with a given amount of input data in the input-output space. The objects that do not lie on the border of efficiency do not function effectively. In this case, the value of inefficiency is directly proportional to the distance of the point from the efficiency boundary. The efficiency limit is determined with the DEA method, which is based on linear programming.

The method was developed by American scientists A. Charnes, W. Cooper, and E. Rhodes in 1978 [6]. The advantage of this method is that it allows for a comparative analysis of the functioning of objects with similar tourism and recreation potential and the level of the tourist infrastructure development. This approach enables simultaneous processing of multiple input indicators (independent factors) and output indicators (dependent variables), while also taking into account variables external to the system under consideration (for example, environmental factors). Another advantage of the method is that it does not require a priori indication of weight coefficients for the

variables and does not impose any restrictions on the functional form of the dependence between inputs and outputs. Unlike regression analysis, the DEA method is aimed at identifying not averaged trends but best practices. Additionally, if there are databases for a certain time period, it is possible to calculate the change in the aggregated performance indicator for each object over time.

Thus, the purpose of the study is to test the DEA method when used to assess the technological efficiency of the tourism and recreation complex of Russian regions in the period from 2017 to 2021.

Literature review

The DEA method is intended to compare the relative efficiency of objects. Efficiency is understood to mean the ratio of utility functions created based on the values of input and output parameters of objects. The method is successfully used to evaluate the efficiency of the functioning of homogeneous objects, for example, industrial and agricultural enterprises, banks, healthcare and education institutions, government and judicial bodies, etc. [9]. Today it is widely accepted all over the world, covering a huge number of areas. The main areas of research using the DEA method are healthcare, banking, insurance, higher education, social sphere, transport, supply chain management, sustainability, and energy policy.

Although the method was proposed back in 1978, it became most widespread after 2000. At the same time, the method is constantly being developed and modified. In addition to the analysis algorithm itself, the software is also being improved. For example, there have been developed DEEOS (DEA online software), MaxDEA, Open Source DEA, DEAFrontier, DEA software, and PIM-DEA. It also becomes possible to integrate the method with other programs, for example, Microsoft Excel. DEEOS has, among other things, the special features for the application in the field of education, banking, insurance, medicine, transport, agriculture, energy, and tourism.

Over time, more sophisticated DEA-based methods have also emerged, such as a two-stage, cross-efficient, ultra-efficient, virtually-efficient, hybrid model.

In Russian science, the DEA method is known by several names:

- operating environment analysis;
- data shell analysis;
- wrap data analysis;
- shell data analysis.

Morgunov E.P. [18] comes to the conclusion that when choosing the name, it is necessary to rely on such criteria as compliance with the theory of the method, originality, and euphony. In this paper, we will use the original abbreviation DEA, to avoid confusion.

The scope of application of the DEA method at the regional level is very wide. Aleskerov F.T., Belousova V. Yu. [2], consider the efficiency of universities by analyzing 24 studies conducted with the help of the DEA around the world. The authors conclude that the DEA is widely used for evaluating the efficiency of universities, but the input parameters and the results obtained differ, and there is no single universally accepted approach. At the same time, different modifications of the method make it possible to take into account the heterogeneity of the initial sample in different ways. Aleskerov F.T. and Demin S. [1] use two DEA-based methods to assess the vulnerability of regions to natural disasters, comparing the efficiency of 27 regions with a high seismic risk index. The authors note that both methods (the standard DEA approach and the method based on the sequential exclusion of alternatives) provide a reasonable ranking of regions by the efficiency of preventive measures.

Saein A.F. and Saen R.F [22] used an improved DEA model to assess a region's vulnerability to earthquakes. De Almada Garcia Adriano et al. [10] applied DEA to assess the safety level at a nuclear power plant. Using DEA, Zemtsov S. and Kostimer M. [39] assess the efficiency of Russian innovation systems and conclude that the proposed approach allows one to assess the ability of regional innovation systems to create new technologies, but it does not take into account their ability

to implement new products. Kutyshkin A.V. and Shulgin O.V. [15] use the DEA method to assess the efficiency of regional water consumption systems, and, in their other work, to estimate the efficiency of municipal medical institutions in the region. Zemtsov S.P. et al. [28] employ DEA to assess environmental efficiency and sustainable development in the Russian Federation over the past 20 years. Yureskul E.A. [27] relies on the DEA method to assess the efficiency of state power, considering the municipal and federal levels.

Nasrutdinov M.N. [19] uses the DEA methodology to analyze investment efficiency in the regions of the Russian Federation. The author receives a result where, as of 2017, only 17 regions are effective in terms of using their resources. In addition, with the help of the analysis the goals of regional development are outlined.

From the above examples, it becomes clear that the main areas of the method application in Russia coincide with those covered in foreign studies, with the exception of tourism. The latter circumstance seems very strange, given the active use of DEA for assessing the service sector and tourism in foreign research works. For example, according to the DEAOS research [30], from 1996 to 2019, there was an increase in the number of articles on tourism using the DEA method (the largest number was published in 2018). In the articles studied, the most popular keywords were DEA, tourism, efficiency, and hotel. The leaders among the scientific journals publishing articles based on the DEA method were *Tourism Management* and *International Journal of Hospitality Management*.

Examples of the DEA application in tourism studies are presented further. Wijesinghe B.S. [25] proposed the DEA method for determining the efficiency of tourism management. Baker M. and Riley M. [3] were the first to use the method to evaluate efficiency in the hotel business. Further studies in the field of tourism were conducted by Botti, Briec & Cliquet [4]; Hung, Shang & Wang [13]; Sigala [23]; Yang, C., & Lu, W. M. [26]; Gómez-Vega and Picazo-Tadeo [11] calculate the competitiveness indicator for 136 destinations in the world. Chin-wei Huang [7] presents a comprehensive performance indicator used to measure the overall efficiency of the supply chain in the tourism sector. Radovanov et al. [21] use the DEA two-level assessment method to include sustainability factors in the overall assessment of the efficiency of tourism development. Factors such as the share of GDP from the tourism industry, the number of tourist arrivals, the number of World Heritage sites, etc. were used. 27 EU countries and 5 Balkan countries were analyzed from 2011 to 2017.

Martin J.C. et al. [17] analyze the tourism competitiveness of 17 regions of Spain, applying criteria such as the diversification and structure of the tourist product, human resources and their development, political priorities and tourism management, social and economic indicators, transport accessibility, tourism strategy and competition. The authors conclude that for a more accurate assessment, destination management organizations should also participate in the assessment and make adjustments. In the research work by Ilić I. and Petrevska I. [14], the DEA method is used to assess the efficiency of tourism in 15 European countries. They use tourism costs and the number of beds as input parameters, with income, the number of tourist arrivals, and the number of nights spent used as output parameters. At the city level, Li Wenhua [16] conducts research using the DEA-Malmquist method. The paper provides a dynamic analysis of tourism efficiency for 14 cities of the Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2004 to 2018. Tourism investments are used as input parameters, while output parameters include profit and the number of tourists.

Summing up, we can say that the DEA method is widely applied both at the industry level and at the regional level. The method is popular in a variety of studies on the tourism sector. It is also suitable for comparative analysis of efficiency at different spatial levels.

Materials and methods

The DEA method is based on the construction of the so-called efficiency boundary, which reflects the position of the evaluation objects with the maximum efficiency score among all objects in the input-output space. Those objects that do not lie on the border of efficiency function inefficient-

ly. The value of inefficiency is directly proportional to the distance of the point from the efficiency boundary. The advantage of the DEA method is that it allows for a comparative analysis of the functioning of the tourism and recreation complex in regions with a similar set of input characteristics.

Suppose there are K input parameters and M output parameters for each of N objects (the term 'object' can mean regions, industries, enterprises, educational institutions, etc.). For the i -th object, they are represented by column vectors x_i and y_i , respectively. Then the matrix X of dimension $K \times N$ represents the matrix of input parameters for all N objects, and the matrix Y of dimension $M \times N$ represents the matrix of output parameters for all N objects. There appears a mathematical programming problem, which, using the theory of duality, can be formulated in the following form:

$$\begin{aligned} -y_i + Y\lambda &\geq 0, \\ \theta x_i - X\lambda &\geq 0, \\ \lambda &\geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

where θ – is a scalar, and λ is a vector of constants of dimension $N \times 1$. The value θ obtained when solving the problem will be a measure of the efficiency of the i -th object (region). At the same time, efficiency cannot take on a value of more than 1. For each object (region), a similar problem is solved N times.

Such a model is input-oriented and implies a constant scale effect, i.e., an increase in resource consumption leads to a proportional increase in production. In order to take into account the possibility of variable scale effects, a restriction on the sum of weight coefficients (λ) should be added to this model:

$$\sum \lambda_i = 1$$

As a result, after adding this restriction, a convex combination of reference objects is formed [8]. It is the application of the input-oriented model that makes it possible to assess the technological efficiency of the development of the tourism and recreation complex and determine directions for optimizing the management process.

As a rule, if it is necessary to evaluate the technological efficiency of the development of the tourism and recreation complex, an input-oriented model should be used. In this case, the technological efficiency indicator is the value by which the input parameters need to be changed in order to achieve efficiency equal to 1, which is a maximum score. In other words, the current performance values can be obtained with lower indicators characterizing the tourism and recreation complex (the main recommendations will be associated with a decrease in the values characterizing the tourism and recreation complex). It is also necessary to choose models that take into account the variable scale effect. In models of this type, each inefficient object is compared with efficient objects that have a structure (ratios) of indicator values closest to the structure of this inefficient object.

An essential condition for the selection of evaluation indicators and their division into input and output is their technological connection. It is also necessary to take into account the availability of indicators and their universality for all regions. The possibility of collecting data for a certain period is also of great importance. In this study, data for the period from 2017 to 2021 were used to assess the efficiency of the development of the tourism and recreation complex. Seven indicators were applied as 'input', and six – as 'output' (Table 1).

Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

Table 1

Input and output indicators for the research base (by authors)
 Входные и выходные параметры для расчета (разработано авторами)

Input indicators			
1.	The number of people employed in the tourism sector (in thousand people)	https://www.fedstat.ru/indicator/58699	The aggregated indicator was calculated as the sum of those employed in hotels and catering establishments, in travel agencies and other organizations providing services in the field of tourism, in sanatorium-resort organizations, museums, botanical gardens, zoos, state nature reserves, and national parks
2.	The number of rooms in collective accommodation facilities (in units, value of the indicator for the year)	https://www.fedstat.ru/indicator/31586	Ready-made indicator, without additional calculations
3.	The number of seats in public catering facilities (in units, value of the indicator for the year)	https://www.fedstat.ru/indicator/43259	Ready-made indicator, without additional calculations
4.	The number of travel agencies (in units, value of the indicator for the year)	https://www.fedstat.ru/indicator/31615	The number of legal entities, citizens engaged in entrepreneurial activity without the formation of a legal entity (individual entrepreneurs engaged in tourism activities). Total number of travel companies engaged in travel agency and tour operator activities, tour promotion, sightseeing activities, and other tourist activities
5.	The total fund of museums of the Ministry of Culture of the Russian Federation (in thousand units, value of the indicator for the year)	https://www.fedstat.ru/indicator/37794	Ready-made indicator, without additional calculations
6.	The area of protected territories of federal, regional, and local significance (in hectares)	https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295	Ready-made indicator, without additional calculations
7.	Investment in fixed assets (in million rubles, per year)	https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204	Activities of hotels and catering establishments in the field of culture, sports, leisure, and entertainment (without small businesses)
Output indicators			
1.	Services of travel agencies, tour operators and other booking services and related services (in thousand rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/58467	Ready-made indicator, without additional calculations
2.	Hotel services and similar services providing temporary housing (in thousand rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/58467	Ready-made indicator, without additional calculations
3.	Services of sanatorium-resort organizations (thousand rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/58467	Ready-made indicator, without additional calculations
4.	Services of other specialized CSR (in thousand rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/58467	The indicator was calculated as the difference between the value of 'Services of specialized collective accommodation facilities' and 'Services of sanatorium-resort organizations'
5.	Turnover of public catering (in million rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/31258	Ready-made indicator, without additional calculations
6.	Services of cultural institutions (in thousand rubles)	https://www.fedstat.ru/indicator/58467	Ready-made indicator, without additional calculations

We believe that the selected indicators of 'entry' sufficiently characterize the development of the tourism and recreation complex while having a transparent collection methodology, and the indicators of 'exit' objectively characterize the economic results of the functioning of the tourism and recreation complex enterprises. In addition, all the data are posted on the website of the Unified Interdepartmental Information and Statistical System and on the website of the Federal State Statistics Service, they are official, reliable, and publicly available. In the course of our research, the indicators were processed and the efficiency was calculated with the use of the DEEP program developed by Professor T. Coeli from Australia (<https://economics.uq.edu.au/cepa/software>).

Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshov, Azat A. Safarian

Results

The efficiency of the development of the tourism and recreation complex was calculated for 85 subjects (constituent territories) of the Russian Federation for a five-year period, from 2017 to 2021. The change in the efficiency is shown in Fig. 1.

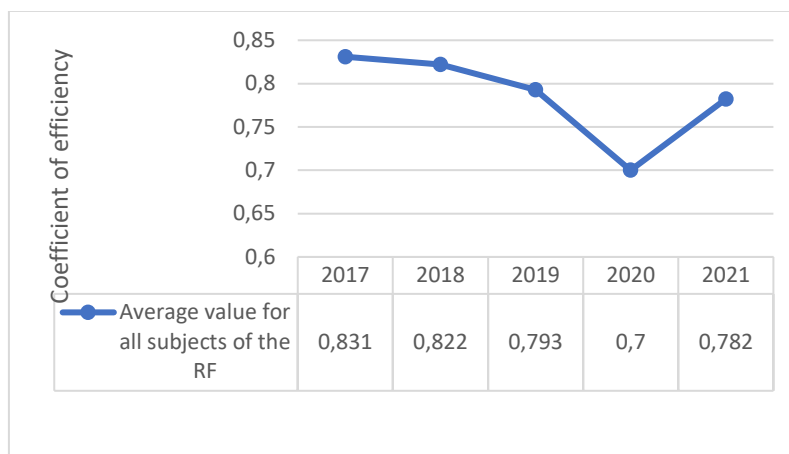


Fig. 1. The average efficiency of the development of the tourism and recreation complex in the subjects of the Russian Federation (compiled by the authors)

Рис.1. Среднее значение эффективности развития туристско-рекреационного комплекса субъектов Российской Федерации (составлено авторами)

The sharp decline in the efficiency that followed a declining but steady trend is explained by the negative impact of the COVID-19 pandemic.

The average efficiency values for the Russian Federation reflect the general trend, but it is more objective to identify spatial differences at the regional level. The objects of spatial analysis of the tourism and recreation complex's development efficiency were tourist macro-territories. On the basis of the State Program of the Russian Federation 'Tourism Development', we compiled a list of 12 tourist macro-territories and their constituent entities, taking into account the potential for tourism development [12]. The macro-territories included subjects of the Russian Federation that met the following criteria: they were attractive to tourists; there were tasks set for them to enhance investment attractiveness, expand the volume of services provided by enterprises of the tourism and recreation complex, develop tourist infrastructure, and increase the growth rate of tourist arrivals.

The subjects of the Russian Federation included in the tourist macro-territory "Bol'shoe Zolotoe Kol'tso" (The Big Golden Ring) are characterized by significant differences in efficiency values (Fig.2). The absolute leader is the Moscow region: it showed the efficiency score equal to 1 throughout all the five-year period. The Tula region is characterized by absolute efficiency values, with the exception of 2020. As a result of restrictions caused by the COVID-19 pandemic, a decrease in performance indicators is noted in 58 out of 85 subjects of the Russian Federation. Among the regions of the macro-territory 'Bol'shoe Zolotoe Kol'tso' (The Big Golden Ring), the efficiency value of the Moscow region did not change, and the Ryazan and Yaroslavl regions showed an increase in comparison with 2017. The Smolensk region has the lowest efficiency values, although there is noted a decrease in the indicator compared to 2017. This may mean that the existing parameters of the region's tourism and recreation complex significantly exceed the required level.

Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

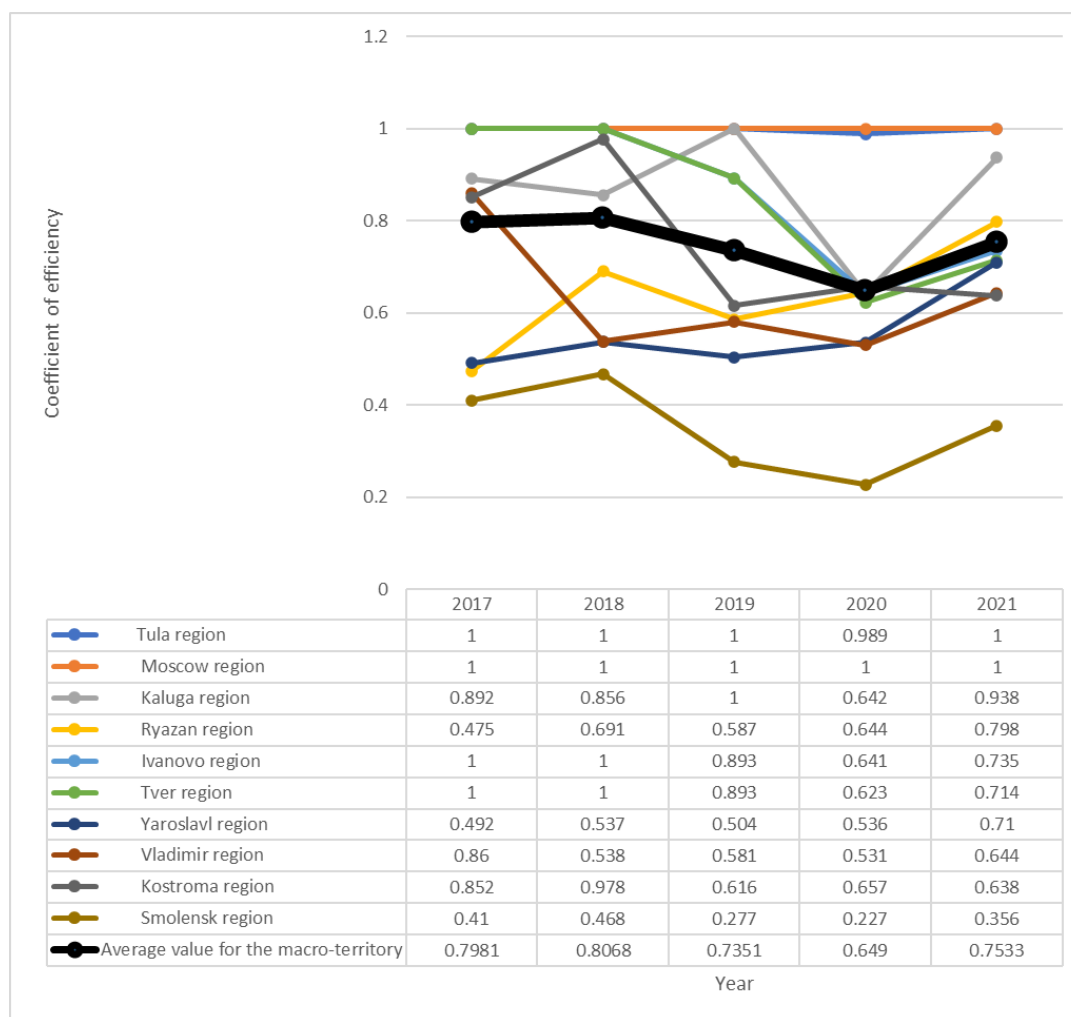


Fig. 2. The efficiency of the development of the tourism and recreation complex in the subjects of the Russian Federation being part of the macro-territory 'Bol'shoye Zolotoe Kol'tso' (The Big Golden Ring) (compiled by the authors)

Рис. 2. Эффективность развития туристско-рекреационного комплекса субъектов Российской Федерации, входящих в "Большое Золотое Кольцо" (составлено авторами)

The tourist macro-territory 'Zapadnyi Yug Rossii' (Western South of Russia) includes only two regions – the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. Throughout the five-year period, the efficiency value for both regions is 1.

The tourist macro-territory 'Dal'niy Vostok' (Far East) comprises three subjects of the Russian Federation: Kamchatka and Sakhalin regions, and Primorsky Krai. The latter had the lowest efficiency values among the three regions – 0.711 in 2021, which is less than in 2017. Efficiency also decreased in the Kamchatka region (from 1 in 2017 to 0.854 in 2021). In the Sakhalin region, on the contrary, the efficiency score equal to 1 was observed throughout all the 5 years, which indicates the optimal ratio of the available parameters of the tourism and recreation complex and the economic results of the functioning of the tourism sector.

The regions of the macro-territory 'Vostochnyi Yug Rossii' (Eastern South of Russia) are characterized by a high level of tourism and recreation potential, the development of the tourism industry, and a stable tourist flow. The region where the efficiency score equal to 1 was observed throughout the study period is Krasnodar Territory. The efficiency in the Rostov region and the Republic of Adygea is below 1. Meanwhile, it should be noted that in 2020 the Rostov region showed an efficiency score equal to 1, which means that the ratio of input and output indicators during the pandemic was more optimal.

Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

The tourist macro-territory ‘Iz Moskvy v Sankt-Peterburg’ (From Moscow to Saint Petersburg) is also characterized by a very high potential, a high level of tourist service, and a significant share of foreigners in the tourist flow. Three out of eight regions demonstrated the efficiency score equal to 1 throughout all the five years, from 2017 to 2021 (Fig. 3).

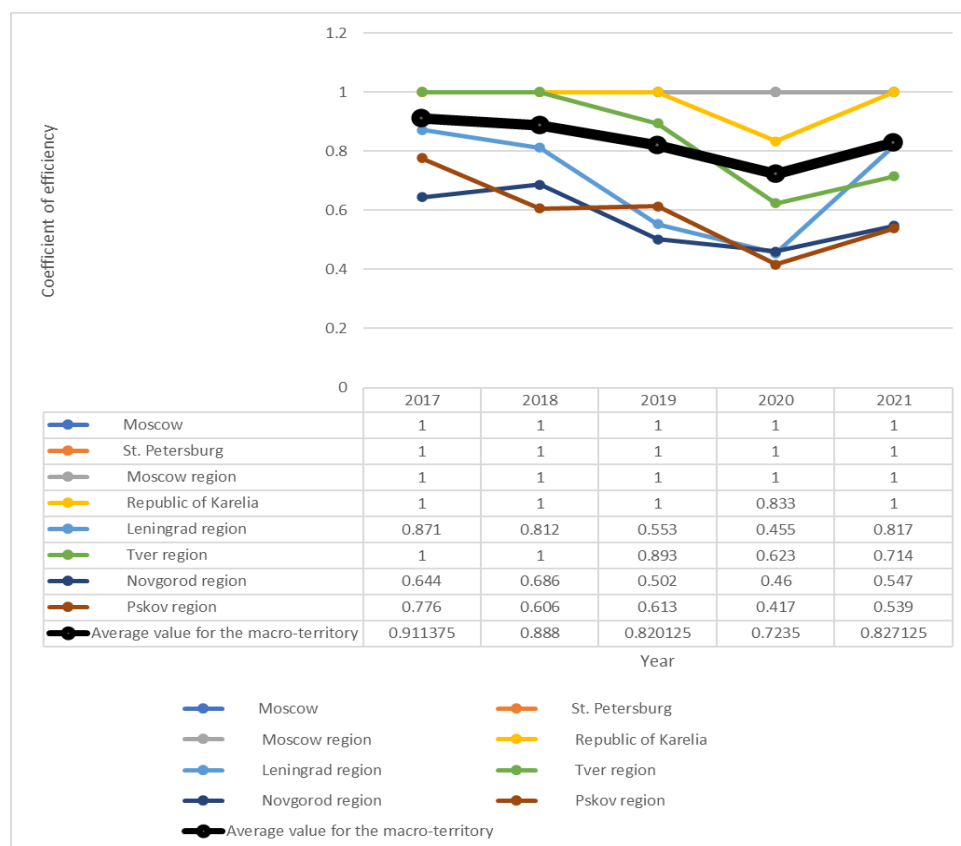


Fig. 3 The efficiency of the development of the tourism and recreation complex in the subjects of the Russian Federation being part of the macro-territory ‘Iz Moskvy v Sankt-Peterburg’ (From Moscow to Saint Petersburg) (compiled by the authors)

Рис.3. Эффективность развития туристско-рекреационного комплекса субъектов Российской Федерации, входящих в макротерриторию "Из Москвы в Санкт-Петербург" (составлено авторами)

These are Moscow, St. Petersburg, and the Moscow region. The Republic of Karelia, after a slight decline in 2020, returned to the efficiency score equal to 1 in 2021. A significant decrease in efficiency is observed in the Tver region. This can be explained by the fact that the pace of development of the tourism and recreation complex exceeds the growth rate of economic results. Consistently low performance indicators are characteristic of the Pskov and Novgorod regions, which are in a transit position between the two capitals.

The tourist macro-territory ‘Bol'shoy Ural’ (The Big Urals) does not have a single entity that would have had the efficiency score equal to 1 throughout all the five years. An overall decline occurred in 2020 and the efficiency score did not recover in 2021 to the values of 2017 (in 2017, all four regions – Perm Krai, the Republic of Bashkortostan, Sverdlovsk, and Chelyabinsk regions showed the efficiency score equal to 1). In general, the most favorable situation in 2021 was in the Perm region (0.933) and Chelyabinsk region (0.928). The Sverdlovsk region had slightly lower efficiency values (0.866), and the Republic of Bashkortostan had the lowest (0.572).

The tourist macro-territory ‘Bol'shaya Volga’ (The Big Volga) is the largest in terms of the number of regions. It consists of 13 subjects of the Russian Federation through the territory of which the Volga River flows (Table 2).

The Republic of Tatarstan and the Nizhny Novgorod region are effective in terms of the ratio of the tourism and recreation complex parameters and the economic results of its development. There is noted an increase in efficiency values in the Republic of Chuvashia and the Astrakhan region, which in 2021 reached a value of 1. A significant reduction in the efficiency indicator was observed in the Ivanovo, Tver, and Saratov regions. Having started in 2019, it intensified in 2020. The efficiency value in the Yaroslavl region increased almost 1.5 times, and, given the growth rate, we

Рекреационная география и туризм
Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

should expect the efficiency score equal to 1 in the coming years.

Table 2

The efficiency of the development of the tourism and recreation complex in the subjects of the Russian Federation being part of the tourist macro-territory 'Bol'shaya Volga' (The Big Volga) (compiled by the authors)
 Эффективность развития туристско-рекреационного комплекса субъектов Российской Федерации, входящих в туристскую макротерриторию "Большая Волга" (составлено авторами)

Russian Federation regions	Technological efficiency				
	2017	2018	2019	2020	2021
Nizhny Novgorod region	1	1	1	1	1
Republic of Tatarstan (Tatarstan)	1	1	1	1	1
Chuvash Republic (Chuvashia)	0.908	0.947	1	0.91	1
Astrakhan region	0.762	0.792	0.927	0.828	1
Ivanovo region	1	1	0.893	0.641	0.735
Tver region	1	1	0.893	0.623	0.714
Yaroslavl region	0.492	0.537	0.504	0.536	0.71
Republic of Mari El	0.722	1	1	0.656	0.649
Saratov region	1	0.789	0.789	0.618	0.648
Volgograd region	0.788	0.806	0.841	0.644	0.647
Kostroma region	0.852	0.978	0.616	0.657	0.638
Samara region	0.664	0.835	0.611	0.596	0.634
Ulyanovsk region	0.527	0.516	0.452	0.424	0.626
The average value for the macro-territory	0.824	0.862	0.81	0.703	0.769

The tourist macro-territories 'Russkiy Sever i Arktika' (The Russian North and the Arctic) and 'Bol'shoy Kavkaz' (The Greater Caucasus) differ from the rest in that they are the only to show positive dynamics of changes in the average regional efficiency. On average, the efficiency index of the macro-territory 'Russkiy Sever i Arktika' (The Russian North and the Arctic) increased from 0.795 in 2017 to 0.88 in 2021, and that of 'Bol'shoy Kavkaz' (The Greater Caucasus) – from 0.788 to 0.832. The efficiency indicator increased in three of the four regions of the tourist macro-territory 'Russkiy Sever i Arktika' (The Russian North and the Arctic – the Murmansk region and the Republic of Karelia had an efficiency coefficient of 1 in 2021). The Republic of Ingushetia is the absolute leader in terms of efficiency growth in the 'Bol'shoy Kavkaz' (The Greater Caucasus) tourist macro-territory (0.191 in 2017 and 1 in 2021). In 2021, the efficiency score equal to 1 was also noted in Stavropol Territory, the Chechen Republic, and the Republic of Dagestan.

Among the regions of the tourist macro-territory 'Bol'shoy Altai' (The Big Altai), the leader is the Altai Republic (in all years except 2020, the efficiency coefficient was equal to one). The efficiency of the Kemerovo region was at approximately the same level during the period under review (0.804 in 2021). However, the situation in Altai Territory looks less optimistic: despite the increasing tourist flow and measures to develop tourism taken at the state and regional levels, the efficiency decreased from 0.891 in 2017 to 0.487 in 2021.

The Kaliningrad region, which is part of the 'Russkaya Baltika' (the Russian Baltic) tourist macro-territory, showed the efficiency score equal to 1 throughout the entire period, which indicates a balance between the tourism and recreation complex and the economic results of tourism development.

The situation is somewhat worse for the two regions that are part of the Baikal tourist macro-territory. In the Irkutsk region, the efficiency decreased from one in 2017 to 0.443 in 2021. In the Republic of Buryatia, after a noticeable decrease in efficiency in 2020, in 2021 the value was 0.702.

Of the eighty-five subjects of the Russian Federation, as of 2021, thirty-two are not part of any of the tourist macro-territories. However, among them, there are regions where the performance indicators were at a high level throughout the five studied years (the efficiency coefficient was equal to one). These are the Udmurt Republic and the Penza region. In 2021, the Kursk region (1), the Magadan region (1), the Nenets Autonomous Okrug (1), the Republic of Sakha (Yakutia) (0.963), the Tyumen region (without Khanty-Mansi Autonomous Okrug and Yamalo-Nenets Auton-

omous Okrug) (0.936), the Chukotka Autonomous Okrug (0.873), and the Kirov region (0.862) had higher efficiency than the national average. Another group of territories to be noted includes the Novosibirsk region (0.856), the Voronezh region (0.832), the Belgorod region (0.828), the Omsk region (0.821), Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra (0.805), the Orenburg region (0.803), the Amur region (0.79), and the Khabarovsk region (0.784) – most of these regions are distinguished not only by the high relative efficiency of the development of the tourism and recreation complex, but can also become part of the existing tourist macro-territories.

Discussion and conclusions

In connection with the national project ‘Tourism and the Hospitality Industry’ and taking into account the need to improve regional policy in the field of tourism, the task of assessing the efficiency of the development of the tourism and recreation complex appears to be urgent. In our opinion, the efficiency coefficient calculated using the DEA method is a universal, aggregated indicator. As the experience of foreign studies shows, it can be used to create ranking lists related to the field of regional tourism, to compare regions with similar tourism and recreation potential, to assess the efficiency of management, environmental safety, development of various types of tourism, and can also be applied for the purposes of territorial planning and management at various levels of spatial organization.

Tourist macro-territories demonstrate different levels and different dynamics of the development efficiency of the tourism and recreation complex (Table 3).

Table 3

Map of changes in the efficiency indicator of the development of the tourism and recreation complex in tourist macro-territories of Russia for 2017-2021 (compiled by the authors)

Изменение показателя эффективности развития туристско-рекреационного комплекса туристских макротерриторий России с 2017 по 2021 гг. (составлено авторами)

<i>Macro-territories of the Russian Federation</i>	2017	2018	2019	2020	2021
Bol'shoe Zolotoe Kol'tso (The Big Golden Ring)					
Zapadnyi Yug Rossii (Western South of Russia)					
Dal'niy Vostok (Far East)					
Vostochnyi Yug Rossii (Eastern South of Russia)					
Iz Moskvy v Sankt-Peterburg (From Moscow to Saint Petersburg)					
Bol'shoj Ural (The Big Urals)					
Bol'shaya Volga (The Big Volga)					
Russkiy Sever i Arktika (The Russian North and the Arctic)					
Bol'shoj Altai (The Big Altai)					
Bol'shoj Kavkaz (The Greater Caucasus)					
Russkaya Baltika (Russian Baltic)					
Baikal					
Not included in the tourist macro-territories					

The gray color indicates the territories where the efficiency is lower than the average for the Russian Federation for the relevant year. The dark gray color indicates the territories where the efficiency is higher than the average for the Russian Federation for the relevant year.

The period from 2017 to 2021 included several key events that could affect the efficiency of the development of the tourism and recreation complex. These include the final stage of the 21st FIFA World Cup from June 14 to July 15, 2018, the introduction and operation of restrictions caused by the COVID-19 pandemic in 2020-2021, the launch of the national project ‘Tourism and the Hospitality Industry’ in 2021.

Unfortunately, it is difficult to unambiguously assess their impact and consequences, given the shortcomings of statistical accounting in the Russian Federation. This is a very time-consuming procedure for each region, requiring the involvement of experts from science, business, and government.

We can definitely say that, despite the general trend of declining efficiency, it is possible to

*Рекреационная география и туризм**Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian*

identify several Russian regions that were on the border of efficiency throughout the entire period under study (the efficiency coefficient was equal to one). In addition to tourist regions recognized as such, this group also comprises those that are not yet included in the tourist macro-territories. In our opinion, regional executive authorities of the Udmurt Republic and the Penza region should make efforts in this direction.

The obtained values of the efficiency coefficient of the tourism and recreation complex's development, showing the position of the regions on or within the efficiency boundary, allow us to develop recommendations for adjusting regional tourism development programs, for measures to be taken to stimulate tourism business, and for reevaluation of the economic importance of tourism.

Further prospects for research using the DEA method in tourism are related to the study of the efficiency of transforming the tourism and recreation potential of regions into capital. In addition, it is possible to assess the efficiency of the development of tourism and recreation clusters, compare the efficiency of the functioning of the tourism and recreation complex components (hotels, restaurants, travel companies), and evaluate the budgetary efficiency of regional tourism policy. It should be noted that not only the basic DEA model can be used, but also some of its modifications (BCC-Output, BCC-Input, ADD, VarMult, InvMult, SBM, FDH-model). This would further increase the scope of practical application of the DEA method.

References

1. Aleksarov, F.T., Demin, S.: (2016). An Assessment of the Impact of Natural and Technological Disasters Using a DEA Approach / International Conference on Dynamics of Disasters. DOI: 10.1007/978-3-319-43709-5_1. Last accessed 10 June 2023.
2. Aleksarov, F.T., Belousov, V.Yu., Petrushenko V.V.: (2015). Modeli obolochchnovo analiza dannix i analiz stoxosticheskoi granici v zadache ocenoki effektivnosti deyatel'nosti universitetov [Models of Shell Data Analysis and Stochastic Frontier Analysis in the Problem of Evaluating the Efficiency of Universities], Problemi upravleniya, no 5. pp. 2–19.
3. Baker, M., & Riley, M.: (1994). New perspectives on productivity in hotels: some advances and new directions. International Journal of Hospitality Management, 13(4), 297–311.
4. Botti, L., Bricc, W., & Cliquet, G.: (2009). Plural forms versus franchise and company-owned systems: A DEA approach of hotel chain performance. Omega, 37(3), 566–578.
5. Carlos Pestana Barros, Laurent Botti, Nicolas Peypoch, Elisabeth Robinot, Bernardin Solonandrasana, George Assaf A.: (2011) Performance of French destinations: Tourism attraction perspectives, Tourism Management, Volume 32, Issue 1, 2011, Pages 141-146, ISSN 0261-5177, <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.01.015>. Last accessed 10 June 2023
6. Charnes, A.: (1978) Measuring the efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European journal of operational research. 1978. Vol. 2. P. 429–444.
7. Chin-wei Huang: (2018) Assessing the performance of tourism supply chains by using the hybrid network data envelopment analysis model Tourism Management, Volume 65, 2018. P. 303–316.
8. Coelli, T.: (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis / T. Coelli, D. S. Prasada Rao, G. E. Battese. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 1998. 275 p.
9. Cooper, W.W.: (2000) Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p.
10. De Almada Garcia Adriano, P., Curty Leal Junior, I., Alvarenga, O.M.: (2013). A weight restricted DEA model for FMEA risk prioritization, Producao 23(3), 500–507.
11. Gómez-Vega, M., Picazo-Tadeo, A.J.: (2019). Ranking world tourist destinations with a composite indicator of competitiveness: To weigh or not to weigh? Tourism Management, 72 (2019), pp. 281–291
12. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federacii «Razvitie turizma» [State program of the Russian Federation "Development of tourism"]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF №2439 ot 24.12.2021.
13. Hung, W. T., Shang, J. K., & Wang, F. C.: (2010). Pricing determinants in the hotel industry: Quantile regression analysis. International Journal of Hospitality Management, 29(3), 378–384.
14. Ilić, I., Petrevska, I.: (2018). Using DEA method for determining tourism efficiency of Serbia and the surrounding countries – Hotel and Tourism Management, 2018, Vol. 6, No.1:73–80.
15. Kutyskhin A.V., Shulgin O.V.: (2022) Ob ispolzovanii metoda analiza sredy funkcionirovaniya dlya ocenki effektivnosti regionalnyx sistem vodopotrebleniya [On the use of the method of analysis of the operating environment to assess the effectiveness of regional water consumption systems], X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Kultura, nauka, obrazovanie: problemy i perspektivy». pp.131–137.
16. Li Wenhua: (2021). Research on the Tourism Efficiency in Guangxi--Based on DEA-Malmquist Model. Li Wenhua. E3S Web Conf. 251 (2021) (DOI: 10.1051/e3sconf/202125101082) Last accessed 10 June 2023.
17. Martín, J. C., Mendoza, C. and Román, C.: (2017). "Regional Spanish Tourism Competitiveness. A DEA-MONITUR approach", REGION, 4(3), pp.153–173.
18. Morgunov E.P. Morgunova O.N.: (2017). Obzor ruskoyazychnyx naimenovaniy metoda ocenki effektivnosti sistem data envelopment analysis [Review of Russian-language names of the method for evaluating the effectiveness of data envelopment analysis systems], Sistemyj analiz v proektirovanii i upravlenii. sbornik nauchnyx trudov XXI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: 2 toms. pp. 208–207

Рекреационная география и туризм

Evgeny V. Konyshev, Azat A. Safarian

19. Nasrutdinov M.N.: (2020). Metodologicheskij podxod k ocenke effektivnosti investicionnoj deyatel'nosti regionov na osnove Data Envelopment Analysis [Methodological approach to evaluating the effectiveness of investment activities of regions based on Data Envelopment Analysis], Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava. vol. 4, no. 1, pp. 105–112.
20. Niavis S., Tsiotas D.: (2019). Assessing the tourism performance of the Mediterranean coastal destinations: A combined efficiency and effectiveness approach //Journal of Destination Marketing & Management. 2019. T.14. C.100–379.
21. Radovanov, B.; Dudic, B.; Gregus, M.; Marcicic Horvat, A.; Karovic, V.: (2020). Using a Two-Stage DEA Model to Measure Tourism Potentials of EU Countries and Western Balkan Countries: An Approach to Sustainable Development. Sustainability 12 (<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/4903>). Last accessed 10 June 2023.
22. Saenin, A.F., Saen, R.F.: (2012) Assessment of the site effect vulnerability within urban regions by data envelopment analysis: a case study in Iran. Comput. Geosci. 48, 280–288.
23. Sigala, M.: (2004). Using Data Envelopment Analysis for Measuring and Benchmarking Productivity in the Hotel Sector. Journal of Travel and Tourism Marketing, 16(3): 39–60.
24. Varivoda V.S.: (2022) Turizm kak prioritnoe napravlenie prostranstvennogo razvitiya regionov Rossijskoj Federacii [Tourism as a priority area for the spatial development of the regions of the Russian Federation], Servis v Rossii i za rubezhom. vol.16. no. 5. pp. 56–65. DOI: 10.5281/zenodo.7394993. Last accessed 10 June 2023.
25. Wijeyesinghe, B. S.: (1993). Breakeven occupancy for a hotel operation. MANAGEMENTACCOUNTING-LONDON-, 71, 32–32.
26. Yang, C., & Lu, W. M.: (2006). Performance benchmarking for Taiwan's international tourist hotels. Information Systems and Operational Research, 44, 229–245.
27. Yureskul E.A.: (2016) Effektivnost gosudarstva: novye podxody [State efficiency: new approaches], Politicheskaya nauka, 2016, vol. 4, pp. 74–92
28. Zemczov S.P., Barinova V.A., Kidyayeva V.M., Lan`shina T.A.: (2020). Ekologicheskaya effektivnost i ustojchivoe razvitiye regionov Rossii za dvadczatiletie syrevogo rosta [Ecological efficiency and sustainable development of Russian regions over the twenty years of raw material growth], Ekonomicheskaya politika. vol. 15, no. 2, pp.18–47.
29. Zemtsov, S., & Kotsimir, M.: (2019). An assessment of regional innovation system efficiency in Russia: the application of the DEA approach. Scientometrics, 120(2), 375–404.
30. Data envelopment analysis online software (<https://www.deaos.com/en-us/product/Product/0006/DEA-and-Tourism/DEA-and-Tourism>). Last accessed 10 June 2023.

Статья поступила в редакцию: 13.06.2023, одобрена после рецензирования: 19.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 13 June 2023; approved after review: 19 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Евгений Валерьевич Коньшев

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой социально-экономической географии, Пермский государственный национальный исследовательский университет 614990, Россия, г. Пермь, Букирева 15,

Азат Арменович Сафарян

доцент Высшей экологической школы Югорский государственный университет; 628012, Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16; доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, Букирева 15,

Information about the authors

Evgeny V. Konyshev

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Socio-Economic Geography, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: konj@bk.ru

Azat A. Safarian

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Higher School of Ecology of Yugra State University; 16, Chekhova st., Khanty-Mansiysk, 628012, Russia Associate Professor, Department of Tourism, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: azatsafaryan@mail.ru

Вклад авторов

Коньшев Е.В. – разработка методики исследования, сбор и обработка данных, анализ результатов, формулировка выводов.

Сафарян А.А. – написание введения, обоснование актуальности и выделение проблемы исследования, обзор источников литературы, оформление и перевод статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Evgeny V. Konyshev – development of research methodology; data collection and processing; analysis of the results; formulation of the conclusions.

Azat A. Safarian – writing the introduction; formulation of the research problem, substantiation of its relevance; review of the literature sources; preparation and translation of the article

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 55:502.64+379.85+338.2

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-160-171

ГЕОТУРИЗМ В КОНЦЕПЦИЯХ НАСЛЕДИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ**Юрий Николаевич Голубчиков¹, Виктор Иванович Кружалин²**^{1,2} Московский государственный университет им. Ломоносова, г. Москва, Россия¹ golubchikov@list.ru, Scopus Author ID: 3305² v.kruzhalin@gmail.com, Scopus Author ID: 6506439072

Аннотация. Тема исследований предопределена негативными последствиями возрастающего сектора свободного времени. Впервые в обозримой истории досуг, а не труд стал заполнять время человека. В то же время у учащейся молодежи заметно массово снизился авторитет старших поколений. Целью исследования является демонстрация возможностей вовлечения людей в научный туризм как самый серьезный вид отдыха. Стихийно формирующаяся на основе Интернета и туризма народная наука и красота как важнейший ресурс географической среды слагают основы туристической (туристской) географии. Она определяется как наука об образовательно-оздоровительных и ценностно-эстетических (аксиологических) ресурсах географической среды. Рассматривается ее соотношение с физической и экономической географией. На основе методологии туристической географии выстраивается геотуризм, приводится его определение. Проводятся разграничения между экотуризмом и геотуризмом, рассматриваемыми в рамках научного туризма. Определяются роль и значение геолого-эстетических природных ресурсов как объектов геотуризма. Обосновываются научно-методические подходы для развития геотуризма как перспективного направления развития туристско-рекреационных систем, в частности, для расширения сети геопарков в России, создаваемых по подобию глобальных геопарков ЮНЕСКО. Показано значение красивых пейзажей в краеведении, оздоровлении и геотуризме. Данное исследование – одна из первых попыток системного изучения геотуризма как одного из путей интеграции наук о Земле с обществом. Результаты работы представляются перспективными для становления теории геонаследия и могут быть использованы для подготовки географов, геологов, геоморфологов, ландшафтоведов и специалистов в области туризма.

Ключевые слова: досуг, геотуризм, георазнообразие, геопарки, туристическая (туристская) география, народная наука, вернакулярные районы

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания «Факторы и механизмы территориальной организации устойчивого развития туризма и рекреации» (ГЗ) (госбюджет, раздел 0110 (для тем по госзаданию), номер 1.19, номер ЦИТИС 121051400059-6.

Для цитирования: Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И. Геотуризм в концепциях наследия и образования // Географический вестник=Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.160–171. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-160-171

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-160-171

GEOTOURISM IN THE CONCEPTS OF HERITAGE AND EDUCATION**Yuri N. Golubchikov¹, Victor I. Kruzhalin²**^{1,2} Moscow State University, Moscow, Russia¹ golubchikov@list.ru, Scopus Author ID: 3305² v.kruzhalin@gmail.com, Scopus Author ID: 6506439072

Abstract. The starting point for this study is the negative consequences of the ever-increasing availability of leisure time. For the first time in human history, time spent on leisure takes precedence over labor. The study aims to demonstrate the possibilities of involving people in science tourism as the most useful type of recreation. Citizen science, developing on the basis of the Internet and tourism, and the nature's beauty, which is one of the most important resources of the geographical environment, form the basis of tourism geography.

It is defined as the science of educational, health-improving, and value-aesthetic (axiological) resources of the geographical environment. We consider the relationships of this science with physical and economic geography. The study also defines the concept of geotourism, the methodology of which is based on tourism geography. We distinguish between eco-tourism and geo-tourism, both considered as part of science tourism. The role of geological aesthetics is explored among the key objects of geotourism. Geotourism is seen as one of the most areas for the development of tourist-recreational services. Russia's geological sites are argued to have a significant untapped potential and could boost the network of geoparks (which is being created after the UNESCO Global Geoparks). We further define the significance of beautiful sceneries in the studies of local history, health services, and ge-



Рекреационная география и туризм
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

otourism. Overall, the present study is one of the first attempts to explore geotourism systematically, as one of the tools for the integration of Earth sciences with society. The study could be used for the establishment of the theory of geo-heritage and for the training of students in geology, geography, geomorphology, landscape and tourism studies.

Keywords: leisure, geotourism, geo-diversity, geo-parks, tourism geography, citizen science, vernacular regions

Funding: the research was funded under the state program 'Factors and mechanisms for the territorial organization of the sustainable development of tourism and recreation'.

For citation: Golubchikov, Yu.N., Kruzhalin, V.I. (2023). Geotourism in the concepts of heritage and education. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.160–171. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-160-171

Введение

За последние 70 лет наука и техника кардинально поменяли жизнь, поскольку люди тратят время и силы не только на выживание и пропитание; возросло главное богатство человека – свободное время. И.В.Зорин и С.Г. Лаковский замечают, что, быть может, впервые в истории труд перестал быть жизненно необходимым в массовых масштабах. «Досуг, а не труд стал символом постмодернизма. Обслуживание деятельности людей в свободное время впервые стало основной хозяйственной деятельностью» [9, с. 75].

Оживились прогнозы о расширении возможностей научного, культурного и оздоровительного развития, которые, к сожалению, не оправдались. Так, заметим, что времени не стало больше ввиду того, что рейс пассажиров реактивного авиалайнера из Москвы во Владивосток составляет 8 ч или из Парижа в Нью-Йорк – 3,5 ч; не прибавили время и мобильные телефоны. Для большинства людей отдыхом является работа. Таковы следствия забвения науки о свободном времени рекреологии, основоположником которой считаем И.В.Зорина.

Одновременно трансформировалось образование. Знания на сегодняшний день передаются не столько через отца к сыну или от учителя к обучаемому, сколько через Интернет и компьютерные игры. Пожалуй, впервые в истории столь массово снизился авторитет взрослых. Наступает осознание исчерпанности традиционного образования. Обучать надо не всему и впрок, а тому, что надо сейчас и тут, а задача учителя сводится к тому, чтобы «научить жить».

Туризм в создавшихся условиях – это эффективное средство наполнения учащихся именно теми знаниями, которые пригодятся в жизни. Походы и путешествия учат быть готовым к неизбежным неожиданностям, связанным с преодолением пространства, устанавливают контакты учеников и учителей. Взаимообучение осуществляется в режиме полилога, включая преподавателя, а иногда и местных жителей. Полученное таким путём знание не отделяется от жизни и составляет с нею целое. Немаловажно, что участники похода непосредственно заботятся друг о друге.

Следует отметить, что пандемия усилила значение краеведения: люди стали посещать местные парки, любоваться природой и храмами. Оказалось, что окружающую красоту люди видят долгих путешествиях. Краеведение должно воспользоваться этим глобальным импульсом к развитию образования, чтобы не упустить этот мощнейший ресурс осмысления мира.

В то же время Интернет и сотовый телефон предоставили людям столь высокую степень личной свободы, мобильности и автономности, что человек может работать, пребывая в путешествии, и путешествовать, не отрываясь от работы. Если еще недавно основу туристского рынка составляли оплачиваемые отпуска рабочих и служащих, то сегодня туризм перестал быть атрибутом свободного времени и вступил в повседневную жизнь. Рассмотрим значение и некоторые возможности, появившиеся вследствие таких преобразований, для научного туризма.

Народная география

На сегодняшний день происходит конструирование туристической (туристской) географии как науки об образовательно-оздоровительных и ценностно-эстетических (аксиологических) ресурсах географической среды. Она вовлекает в географическое осмысление две важные составляющие (рис. 1):

- 1) красоту территории, как важнейшую ее характеристику, значимую не менее богатств ее недр;
- 2) народную науку, стихийно формирующуюся на основе Интернета и туризма.



Рис. 1. Две составляющие туристической географии и геотуризма
Fig.1 The two components of tourism geography and geotourism

Осмысление этих двух ресурсов восходит к великому А. Гумбольдту. В трактовке Гумбольдта слово «Космос» [8] было близким не к космонавтике, а к косметике. Вслед за Гомером и пифагорейцами под космосом Гумбольдт понимал красоту, гармонию и порядок. В «Картинах природы» Гумбольдта описывалась, прежде всего, красота тех или иных мест. Природа «проявляет себя в своих прекрасных продуктах как искусство не только случайно, но и как бы преднамеренно для нас, поскольку мы нигде вне нас эту цель не обнаруживаем», – замечал И.Кант [11]. В последние десятилетия вновь возрождаются применительно к географической оболочке (или биосфере) древние представления как о живом организме, способном сохранять важнейшие условия жизни [12].

А. Гумбольдт также полагал, что «знание и изучение суть радость и право человечества; они суть части народного богатства и нередко замена благ, слишком скудно распределенных природой» [8]. Говоря современными словами, Гумбольдт декларировал право человека на изучение, познание и творчество. Стихийно возникающая на их основе народная наука служит одной из основ туристической географии.

Есть разные обозначения науки о туризме [1]. С туристической географией она соотносится приблизительно как физическая география с физикой или экономическая география с экономикой. Есть физическая география, а есть наука о природе, именуемая физикой. Странная, заметим, наука. В.И. Вернадский обратил внимание на то, что если из физической картины мира убрать жизнь, то сама эта картина нисколько не изменится. Жизнь отсутствует в современной физике - науке о природе [3]. Тем более нет в ней места человеку и человечеству. В физической географии тоже исчез человек, остался лишь антропогенный фактор. В экономической географии не осталось природы, есть только природные ресурсы. Туристическая

Рекреационная география и туризм
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

география преодолевает эти разрывы и совмещает как человека с природой, так и науку с народом.

В старом здании географического факультета МГУ на Моховой 11 было написано «Кто не турист, тот не географ» [24]. Действительно, каждый географ — стихийный турист. Верно, видно и обратное. Поскольку каждый житель планеты пребывал до пандемии какое-то время в году в состоянии туристического подвижничества, то можно предположить, что не менее миллиарда человек стали с туризмом «стихийными географами». Туризм, таким образом, стал величайшим географическим общественным движением. Даже если он осуществляется исключительно ради поиска удовольствий, то и они, однако, не позволяют обретать научные знания и географический опыт. Даже если человек прекрасно представляет то место, куда он едет, несмотря на это поездка изменяет его взгляды на мир, людей и себя. «В этом отношении туризм способствует развитию географических наук и системы географического образования, росту в обществе интереса к географическим сведениям», — пишет А.И.Зырянов [10].

Главная основа для массовых занятий наукой — интернет и туризм. Главная задача географической науки — объяснение сущностных характеристик природы, создание объективного знания и объясняющих теорий. «Народная география», формирующаяся в недрах традиционной или массовой культуры, оперирует бытовыми понятиями и образами, которые возникают в результате непосредственного наблюдения и практической деятельности. Всевозможные интерпретации пространства индивидами и группами людей получили название вернакулярных (от англ. vernacular — местный, народный, обыденный) районов [32; 33; 40]. Среди виртуальных картин различных субъектов о пространстве и месте главенствуют те, которые были когда-то отнесены В.С. Преображенским к бытовой геоэкологии [22]. Среди них — пейзажная аттрактивность, криминогенная обстановка, дифференциация цен, инфраструктурные и экологические условия. Они нередко в более яркой и символической формах представляют реальную ситуацию. Как отмечает С. Гибсон: «Хотя наука о туризме и не воспринимается некоторыми всерьез, считаясь маргинальной, туризм оказался важнейшей точкой пересечения в географии и всё более и более реализуется его способность к критическим, интегративным и императивным исследованиям» [34].

Вернакулярный подход привнес в географию районы восприятия топофильных и топофобных образов, семантический анализ пространства разными социокультурными и этнокультурными группами, символику смысла и ценности места [25; 27]. А.В. Гладкий отмечает, что обыденные представления людей о пространстве часто представляют реальную ситуацию в более яркой и символической форме [5]. Так, для жителей городов, особенно крупных мегаполисов, имеют значение локализация и функциональная принадлежность территорий, системы связей между ними («пять минут от метро»). За пределами города для его жителей начинается другое пространство, которое наделено совершенно другими свойствами и попадает под характеристики бескрайности, однообразия, пустоты. Сельские жители более ярко воспринимают пространство за пределами населённого пункта, их пребывания в площади, высотах, протяжённости, ориентации, а искусственные ограничения пространства и линии коммуникаций они могут и не учитывать.

Долгое время обыденные представления людей о пространстве считались географами ненаучными и нередко воспринимались как предрассудки. Вместе с тем сами географы всё чаще рассматривают выделяемые ими регионы как социальные конструкции. Любой регион становится в определённом смысле вернакулярным. Всё более проясняется, что не только сами географы, но и политики, предприниматели, журналисты, учителя или общественные ассоциации играли свою роль в процессе формулирования регионов, которые могут в конечном итоге даже исчезать (деинституционализироваться) [39].

Как отмечает Д.В. Николаенко, «гуманистические» географы показали, что помимо знания профессиональных географов есть разнообразное географическое знание непрофессионалов. Почти каждый человек в определённой степени географ. Различие лишь в специ-

Рекреационная география и туризм

Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

альной подготовке. Один учится для географического познания, другой осваивает его спонтанно. Как бы ни оценивали соотношение различных типов географического знания, следует признать, что они относительно самостоятельны и реально сосуществуют. У каждого свои достоинства и недостатки. Их невозможно редуцировать друг к другу. Нет оснований оценивать обыденное географическое знание как некий «второй сорт», равно как и третировать научно-географическое знание за его динамизм и профессиональную узость. У них различные функции и области приложения» [19].

Есть категория людей, которые не могут не пребывать в состоянии активного творческого поиска. Для них занятия наукой все более реализуются в рамках отдыха на основе Интернета и туризма. Этим любительски занимающихся наукой людей становится все больше. За рубежом говорят о становлении народной науки («citizen science») – долговременном научном исследовании, обычно не связанном с конкретным проектом. Участники такого исследования автономны, их число может достигать сотен тысяч. Обязательным условием развития длительного проекта является наличие интернет-форума – ключевого пространства для обучения и обмена творческими достижениями.

Нередко народная наука даже опережает официальную. Понимание того, что человечество вступило в полосу экологического кризиса, зародилось поначалу у общественности. С берегов Байкала берет начало российское экологическое движение в 1960-х гг., а наука еще долгое время оставалась в стороне. Наука о туризме исследует туризм как важный феномен человеческого существования. Но и стихийно возникающая «народная наука» в определенной степени изучает и дополняет науку.

Тебердинский заповедник стал инициатором создания Народной академии экологии и природопользования под руководством известного эколога Ю.Н.Куражковского. Принцип народности академии заключался в использовании множественной информации, получаемой непосредственно от исполнителей традиционного природопользования – чабанов, охотников, мудрых старожил, натуралистов-любителей. Тонкие наблюдения народных знатоков представляют не малый резерв для науки [20]. Другими примерами научной деятельности широких масс населения являются такие всероссийские проекты, как «Единый фенологический день», «Соловьиные вечера», создание и корректировка «Карт борщевика» [29]. «Самой народной наукой» именуется фенологию один из ее современных лидеров А.А.Минин [16]. Массовые многолетние данные о сроках и путях миграций животных и птиц давно уже превратились даже в своего рода вид «народного спорта».

Геотуризм и геопарки

Одной из форм массового вовлечения людей в науку могут служить геоморфологические экскурсии и походы. Они доступны повсеместно и в любое время года, поскольку всегда и везде предстают перед нами те или иные формы рельефа. Геологические объекты зачастую не требуют серьезных вложений и нуждаются лишь в информатизации и сервисно-инфраструктурном обеспечении.

Геотуризм именуют абиотической параллелью экотуризма [36]. Если экотуризм опирается на биоразнообразие, то в основе геотуризма лежит георазнообразие форм рельефа, геологических структур (разломов, складок, стратификаций, наслоений), горных пород, минералов, окаменелостей. Между георазнообразием и биоразнообразием существует недостаточно еще изученная ландшафтная связь. Наиболее очевидна она среди болотных и ландшафтно-аквальных комплексов, относящихся к важнейшим элементам природоохранной инфраструктуры [15].

Столь же теснейшую связь и взаимоперекрытие можно обнаружить между экотуризмом и геотуризмом. Мы их рассматриваем как две важные, связанные друг с другом, части научного туризма, составляющие основу более целостного понимания географической среды.

Прослеживаются два подхода к геотуризму: западноевропейский и российский. В за-

палеоевропейском часто пишут, что геотуризм зародился в Европе в середине 1990-х гг. и его основоположником считают Томаса Хосе [37]. Но разве не был приверженцем геотуризма Гёте, совершавший геологические путешествия в горы Гарца, Богемии, Швейцарии, Италии? Швейцарского геолога и метеоролога Горація Бенедикта де Соссюра (1740–1799) называют “отцом современного альпинизма” за его восхождения на Монблан в 1786 г., совершенного как ради удовольствия от восхождения, так и для удовлетворения собственного научного любопытства. Швейцарский врач и ботаник Конрад Гесснер (1516–1565) ратовал за горные восхождения для сбора лекарственных растений [30]. В нашей стране научную основу геотуризма заложили В.А. Обручев, С.В. Обручев, А.Е. Ферсман, Н.А. Гвоздецкий, Ю.Г. Симонов.

В западноевропейских определениях есть разные трактовки геотуризма, но чаще всего полагают, что геотуризм акцентирован именно на геологические объекты, позволяющие «туристам приобретать знание и понимание геологии и геоморфологии выше уровня простой эстетической оценки» [37, Рр. 221]. Но без эстетической оценки смотреть на рельеф может лишь исследователь, поглощённый целиком только своим делом.

Методологической основой отечественного подхода к геотуризму служит социально-геоморфологическая школа МГУ имени М.В. Ломоносова, обосновавшая рекреационные и эстетические подходы к рельефу [13]. В этом подходе геотуризм охватывает широкий спектр видов туризма, опирающихся на рельеф. С одного края этот спектр ориентирован на постижение морфолитогенной основы ландшафта (“геологический фокус” геотуризма), с другой стороны этого спектра геоморфология служит основой для эстетической и культурной фокусировки геотуризма на красоту геологических объектов и их ландшафтного окружения. Особый интерес вызывают сочетания морфолитогенной основы с объектами истории, культуры и архитектуры, а также каменные материалы, из которых создавались памятники, скульптуры, архитектурные сооружения.

В нашем понимании геотуризм – это всеобъемлющее восприятие земной поверхности, ее истории и красоты как через трансдисциплинарную призму физических, гуманитарных, теоретических и эмпирических наук, так и путем искусства или похода в рамках сквозного интегративного подхода.

Вступив на путь освоения эстетических подходов, ландшафтоведение сближается с искусством. Родственными ему становятся пейзажная живопись и художественная пейзажная фотография, ландшафтная архитектура, садово-парковое ландшафтное искусство [16]. Красота – важнейшая ценность любой территории, значимая не менее богатства ее недр. Однако среди значимых географических характеристик она не фигурирует, ее как бы и нет. И хотя объективной оценки красоты не существует, поскольку без субъективного момента не остаётся самой красоты, чаще всего основой прекрасного ландшафта служит морфолитогенная основа. Она образует наиболее эстетически и интеллектуально значимые элементы ландшафта и его видовые точки. Самые живописные, монументальные и широкопанорамные контрасты приурочены обычно к местам былых сокрушительных катастроф.

Места, где геологические процессы и явления представлены настолько хорошо, что их можно рассматривать как храмы или музеи под открытым небом, относят к геонаследию [36]. Оно во-многом выстраивается на уникальности геологических объектов, являющихся нередко своеобразными символами территории. В основе георазнообразия лежит эстетическая привлекательность геологических объектов, нередко представленных большим количеством разобщённых ярких и насыщенных пейзажей. Георазнообразие объектов не требует столь полного или даже частичного запрещения/ограничения хозяйственной деятельности на значительной по размеру территории, как геонаследие [23].

Казалось бы, «гео» – простая приставка, но на ее основе утвердились многие международные юридические документы и понятия. Ключевым из них стали геопарки, создающиеся для сохранения каменных памятников природы. К апрелю 2022 г. насчитывалось 177 геопарков в 46 странах, объединённых в глобальную сеть Global Geopark Network [38]. Только в Ки-

Рекреационная география и туризм
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

тае организованы 41 глобальных геопарков, 15 геопарков насчитывается в Испании, 11 – в Италии, 9 – в Японии [38]. Россия в этом списке представлена только одним геопарком «Янган-Тау» в Салаватском районе Башкортостана, созданном в 2018 г. В 2021 г. ему присвоили статус ЮНЕСКО и признали глобальным геопарком. В качестве кандидата рассматривается Ульяновский государственный палеонтологический заказник «Ундория» [38].

По мере интеграции российской территориальной охраны природы в международную сеть ожидаются не только её усложнение и совершенствование [28], но и расширение сети российских геопарков. Они в наилучшей степени примиряют цели развития и сохранения природного/культурного разнообразия в достижении целей устойчивого развития.

Полностью отвечает понятию геопарк созданный на Урале в 1920 г. первый в мире Ильменский минералогический заповедник. Однако он относится к особо охраняемым природным территориям (ООПТ), что предполагает очень немногочисленный и отчетливо локализуемый поток посетителей. В конце второго десятилетия XXI в. в России наблюдается настоящий бум экотуризма с вовлечением в эту сферу ООПТ. Это направление активно поддерживается государством путем целого ряда правовых и экономических механизмов, что обуславливает довольно острый конфликт интересов сохранения ООПТ от любых внешних воздействий и наплыва туристов [2].

В этом контексте глобальные геопарки ЮНЕСКО имеют свои преимущества перед классическими ООПТ и даже национальными парками. Геопарки защищают только объекты геонаследия, а не всю прилегающую к ним территорию. Они скорее напоминают буферные зоны и переходные зоны биосферных заповедников, ориентированные на регламентированную хозяйственную деятельность, а именно – традиционное, аграрное, лесное, охотничье хозяйство и туризм; развитие населенных пунктов, инфраструктуры жизнеобеспечения прилегающих территорий, партнёрство с научными, коммерческим, неправительственным и другими структурами [28]. Но в отличие от буферных и переходных зон геопарки не окружают некое «заповедное ядро». Геопарки в неизмеримо большей степени, чем ООПТ, могут взять на себя роль ресурса устойчивого развития регионов и их экономической стабильности.

В России насчитывается свыше 2000 геологических памятников природы регионального значения [4; 21]. Эти объекты были предложены, главным образом, в 1970–80-е гг. Всероссийским обществом охраны природы (ВООП). Главным критерием отнесения объектов к геологическим памятникам для ВООП являлась их рекреационная (красивые ландшафты, экзотические формы рельефа, и т.д.) или бальнеологическая (источники минеральных вод) ценность. Значительно реже основанием для выделения геологических памятников служила их научная ценность [21]. В результате многие геологические объекты всемирного и национального значения могут быть утрачены, если не повысить статус их охраны.

Первоочередным объектом для включения в геопарк мы предлагаем Кольскую сверхглубокую скважину. Она бурилась в окрестностях города-завода Никель с 1970 по 1994 г. До настоящего времени остается непревзойденной в мире по глубине в 12262 м. В 1992 году скважина была законсервирована и теперь разрушается. Германская же сверхглубокая скважина «Хауптборунг» бурилась с 1990 по 1994 г. и достигла 9 км. Затем обрела статус туристического объекта и музея, т.е. превратилась в лабораторию для наблюдений за земными недрами.

Сегодняшняя реальность такова, что история, не будучи оформленной в турпродукт, предается забвению. Венеция не сохранилась бы без туризма и «музеизации». Наряду с этим не является исключением и геологическая природа, которая не выживет без постоянного интереса к ней населения, увлеченного туризмом и путешествиями.

Фактически уничтожен при разработке Кипарисовского карьера на юге Приморья уникальный каменный лес. На его базе ДВГИ предполагал создать научно-познавательный «Геопарк неогенового периода “Кипарисовский карьер”», который остался теперь только в экспозиции музея [26]. Количество окаменелых лесов с вертикально стоящими стволами

найден очень немного: в Аризоне, Эквадоре, Перми. Став местом туристического паломничества, карьер мог бы принести гораздо больше прибыли его владельцу, чем полученный путем разрушения окаменелого леса цемент. Тем более, что «под боком» – любознательные и любящие путешествовать китайцы, японцы, южнокорейцы.

В России, к сожалению, также не вызывают должного интереса со стороны научного сообщества мегалитические находки. По научным воззрениям они могут быть найдены где-то в Европе, но никак не в России. В результате образуется ниша для народного туризма. В туризме наука переплетается с легендами и мифами: никто достоверно не видел чудище Лох-Несса. Однако миллионы долларов туризм привлекает инвестиции к загадочному озеру. Не меньше оснований имеется для привлечения туристских потоков к российским мегалитам, многие из которых – «родные братья» самых известных мегалитических феноменов вроде Стоунхенджа или египетских пирамид [4].

Мегалитические сооружения зафиксированы по всей территории России. Самые знаменитые и зрелищные из них: Ленские, Красноярские, Маньпупунерские столбы, меловые скалы в Дивногорье в Воронежской области. Большинство подобных объектов находятся на особо охраняемых природных территориях, но некоторые никак не охраняются. К их числу относится Парк драконов (название народное) в Южном Сихотэ-Алине. Парк особенно интересен изваяниями ящеров и драконов. Самый большой из них имеет длину 800 м [7].

А.В.Михайленко и Д.А.Рубан [17] приходят к выводу, что геотуризм отвечает потребностям в диверсификации услуг индустрии туризма и гостеприимства, насыщении и качественном улучшении контента экскурсионных программ, усилении образовательной составляющих в туристской деятельности. Он стимулирует интерес населения к своей стране и знакомит туристов с геологическим наследием как одной из форм национального достояния.

Пожалуй, ни один иной вид туризма не соприкасает человека с непознанным, как геотуризм. Ведь все, что касается генезиса, так или иначе, лежит в области научной фантастики. «Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, — писал Эйнштейн, — это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне, если не мертвецом, то во всяком случае слепым» [30]. Сегодня это знакомое всем с детских лет ощущение тайны угасает с первых лет обучения.

В науке считается, что все процессы в прошлом шли, примерно, как сейчас. Девиз Лайеля – «настоящее – ключ к прошлому» стал парадигмой современной геологии. Но до Лайеля Жорж Леопольд Кювье утверждал, что «окаменелость – ключ к прошлому» и вскрывал этим ключом фундаментальный разрыв настоящего с доисторическим прошлым [6]. И.В. Зорин с соавторами различает в этом отношении времена креации и рекреации: креация – это то, что создано до человека по законам, которые он может постичь через рекреацию» [9]. Поэтому считаем важным в геотуризме рассмотрение гипотез и концепций, даже не согласных с современными научными взглядами. Это будет способствовать становлению гипотез, которые могут стать теориями завтрашнего дня.

Выводы

1. В России можно ожидать расширения сети геопарков, создаваемых по подобию глобальных геопарков ЮНЕСКО. Их следует комплексировать с сохранением биоразнообразия и экологическим туризмом.

2. Способствует геотуризм, как ни один из видов деятельности, возвышению геоморфологической науки в обществе.

3. Можно надеяться, что научный туризм, включая геотуризм, как самый серьезный вид отдыха, явится школой развития человека и вовлеченности в научный поиск широких народных масс.

Рекреационная география и туризм
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

Список источников

1. Александрова А.Ю. Об определении дисциплинарного статуса исследований туризма // Географический вестник. 2023. № 1(64). С.139–149. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-139-149
2. Баденков Ю.П. Горные регионы России: исследование и развитие. Ключевая роль Горного проекта МАБ-6 ЮНЕСКО // Вопросы географии: Сб. 152. Человек и биосфера. Вечно актуальные темы взаимодействия человека с природой / отв. ред. В.М.Котляков, Ю.П.Баденков. М.: Медиа-Пресс, 2021. С.135–166.
3. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии // Труды Биогеохимической лаборатории. Т. XVI. М.: Наука, 1980, 320 с.
4. Карпунин А. М., Мамонов С. В., Мироненко О. А. и др. М.: Лориен. Геологические памятники природы России. 1998. 256 с.
5. Гладкий А.В. Понимание пространства в географии и туризме: методологические аспекты // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования // Труды VIII Международной научно-практической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса, 25-26 апреля 2013 года. Тольятти, 2014. С. 61–70.
6. Голубчиков Ю. Н. О методологическом потенциале телеологического принципа цели // Система Планета Земля: 25 лет сборнику Система „Планета Земля“ / под ред. В. Л. Сывороткин. М.: URSS, 2022. С. 150–174.
7. Григорьев Ал.А. Каменные изваяния России – игра природы? Географические аспекты (Серия «География культуры»). СПб.: Астерион, 2021. 236 с.
8. Гумбольдт А. Космос. Опыт физического мироописания: перевод с немецкого Н. Фролова. Изд. 2-е. Ч. 1. М., 1862. 413с.
9. Зорин И.В., Лаковский С.Г. Профессиональная направленность рекреационной сущности экогуманизма // V Международный форум «Туризм: наука и образование»: сб. мат. межд. науч. конференций 2017 г. / под науч. ред. В.Ю. Питюкова; Российская международная академия туризма. М.: Университетская книга, 2018. С. 73–80.
10. Зырянов А.И. География и туризм: различие и общность интересов // Современные проблемы сервиса и туризма. 2014. № 1. С. 10–15.
11. Кант, И. Критика способности суждения. М.: Искусство, 1994. 367 с.
12. Котляков В.М., Большаков В.Н., Баденков Ю.П. Вечно актуальная тема взаимодействия человека с природой // Вопросы географии. Сб. 152. Человек и биосфера / отв. ред. В.М.Котляков, Ю.П.Баденков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2021. С. 11-32.
13. Кружалин В.И., Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Человек, общество, рельеф: Основы социально-экономической геоморфологии. М.: АНО «Диалог культур», 2009. 128 с.
14. Лихачева Э. А. Рельеф – его сущность и красота. М.: Медиа-ПРЕСС, 2015. 144 с.
15. Маркова О. И., Емельянова Л. Г. К изучению экологических проблем Мнёвниковской поймы (Москва) в атласной информационной системе с использованием космических снимков. Ч. 1 // Географическая среда и живые системы. 2022. № 4. С. 32–47. DOI: 10.18384/2712-7621- 2022-4-32-47
16. Минин А.А. Феномен фенологии. Самая народная наука – это еще и серьезное направление современных исследований природы // Независимая газета. 2023.
17. Михайленко А.В., Рубан Д.А. Новый подход к оценке потенциала развития геологического туризма (на примере Горной Адыгеи) // Сервис в России и за рубежом. 2022. Т.16. №4. С. 155–168. DOI: 10.5281/zenodo.7089586.
18. Николаев В. А. Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн: учеб. пособие. М.: Аспект Пресс, 2003. 176 с.
19. Николаенко Д.В. Гуманитарная география: Проблемы и перспективы. Симферополь, 1984 // Сочинения Д.В. Николаенко. Т. 2. URL: <http://www.hiv-aids-epidemic.com.ua/past-0010.htm> (дата обращения: 10.03.23).
20. Онищенко В.В., Дега Н.С., Лысенко А.В. Тебердинский государственный природный биосферный заповедник на крутых «кизгибах» общесовенно-исторических формаций (опыт и неопределенные перспективы) // Вопросы географии. Сб. 152. Человек и биосфера. Вечно актуальные темы взаимодействия человека с природой / отв. ред. В.М.Котляков, Ю.П.Баденков. М.: Медиа-Пресс, 2021. С. 281–306.
21. Петров О.В., Гогин И.Я., Вдовец М.С. Сохранение геологического наследия России // Уникальные геологические объекты России: сохранение и рекреационный потенциал: межд. конференция. М.: ВСЕГЕИ, 2013. С. 72–74.
22. Преображенский В.С. Бытийный геофизм и географическая наука // Изв. АН СССР, Сер. География. 1993. № 3, С.40–54.
23. Рубан Д.А. Государственное управление геонаследием. Ростов н/Дон: ООО "ДГТУ. Принт", 2022. 87 с.
24. Слипенчук М.В., Щербаков А.В. Колумб XX века. М.: Молодая гвардия, 2023. 840 с.
25. Смирнягин Л.В. Возможности и потребности заимствований теоретических основ западной географии // Теория социально-экономической географии: современное состояние и перспективы развития / под ред. А.Г. Дружинина, В.Е. Шувалова: мат. Межд. науч. конф. Ростов н/Д, 4–8 мая 2010 г. Ростов н/Д, 2010. С. 78–82.
26. Соляник В.А., Попов В. К., Пахомова В.А., Тишкина В. Б. Развитие геологической науки – в новых коллекциях музея ДВГИ ДВО РАН // Вестник ДВО РАН. 2019. № 1. С.148–152. DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.017
27. Стрелецкий В.Н. Культурная география в России: особенности формирования и пути развития // Известия РАН. Сер. географ. 2008, № 5. С. 21–33.
28. Тишков А.А. Концепция биосферных резерватов Программы МАБ и задачи сохранения биоразнообразия: достижения и проблемы спустя 50 лет // Вопросы географии.Сб. 152. Человек и биосфера. Вечно актуальные темы взаимодействия человека с природой / отв. ред. В.М.Котляков, Ю.П.Баденков. М.: Медиа-Пресс, 2021. С. 62-100.
29. Шубнигина Е.И. Использование методов «народного мониторинга» при изучении дикого северного оленя в национальном парке «Югыд Ва» (Республика Коми) // Экологический туризм: современные векторы развития: коллективная монография. Екатеринбург, 2022. С. 554–558.
30. Эйнштейн А. Мое кредо // Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. IV. М.: Наука. 1967. С. 175–176.

Рекреационная география и туризм

Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

31. Byers, A.C. Chapter 4. Historical and Contemporary Contributions of the “Climber-Scientist” to Mountain Geography // *Montology*. Vol.1 *Montology Palimpsest. A Primer of Mountain Geographies* / Sarmiento F.O. (Series Ed.). Switzerland AG Springer 2022. Pp. 51–69.
32. Gerlach, J., Vernacular mapping and the ethics of what comes next // *Cartographica*, 2010, No 45. Pp. 165–168.
33. Gerlach, J., Lines, contours and legends: Coordinates for vernacular mapping // *Progress in Human Geography*, 2014, Vol. 38 (1). Pp. 22–39.
34. Gibson, C., Geographies of tourism: critical research on capitalism and local livelihoods // *Progress in Human Geography*, 2009, no. 33 (4). Pp. 527–534.
35. Goodchild, M.F., Citizens as sensors: the world of volunteered geography // *GeoJournal*, 2007, no 69 (4). Pp. 211–221.
36. Gordon, J.E. Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation // *Geosciences*, 2018, no. 8, 136, 25 p. doi:10.3390/geosciences8040136
37. Hose, T.A. Foreword // *The geotourism industry in the 21st century: the origin, principles, and futuristic approach* / edited by Bahram Nekouie Sadry. Apple Academic Press, 2020. pp. xxv-xvii.
38. List of Geoparks & Regional Networks // UNESCO Global Geoparks (UGGp), 2021 [Электронный ресурс]. <https://en.unesco.org/global-geoparks/list> (дата обращения: 13.04.2023).
39. Paasi, A., Metzger, J., Foregrounding the region // *Regional Studies*. 2017. Vol. 51. Issue 1. Pp 19–30 <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.123981824>.
40. Thrift, N., The insubstantial pageant: Producing an untoward land // *Cultural Geographies*, 2012, no 19. Pp. 141–168.

References

1. Aleksandrova A.Yu. (2023). On determining the disciplinary status of tourism research. *Geographical Bulletin*. No. 1(64). Pp. 139–149. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-139-149. (In Russ.)
2. Badenkov, Ju.P. (2021), Gornye regiony Rossii: issledovanie i razvitie. Kljuhevaja rol' Gornogo proekta MAB-6 JuNESKO [Mountain regions of Russia: research and development. The Key Role of the UNESCO MAB-6 Mountain Project], *Voprosy geografii*. Sb. 152. Chelovek i biosfera. Vечно aktual'nye temy vzaimodejstvija cheloveka s prirodoj / Otv. red. V.M.Kotljakov, Ju.P.Badenkov. Media-Press, Moscow, Russia, pp. 135–166. (In Russ.)
3. Vernadskij, V.I. (1980), Problemy biogeochemii [Problems of biogeochemistry], *Trudy Biogeochemической laboratorii*, vol.XVI. Nauka, Moscow, Russia, 320 p. (In Russ.)
4. Geologicheskie pamjatniki prirody Rossii (1998) [Geological Natural Monuments of Russia] / A. M. Karpunin, S. V. Mamonov, O. A. Mironenko et all. Lorient, Moscow, Russia, 256 p. (In Russ.)
5. Gladkij, A.V. (2014), Ponimanie prostranstva v geografii i turizme: metodologicheskie aspekty // *Turizm i rekreacija: fundamental'nye i prikladnye issledovanija* [Understanding Space in Geography and Tourism: Methodological Aspects], *Trudy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Povolzhskij gos. un-t servisa, 25-26 aprelja 2013 goda. Tol'jatti*. pp. 61-70. (In Russ.)
6. Golubchikov, Ju. N. (2022), O metodologicheskom potenciale teleologicheskogo principa celi [On the Methodological Potential of the Teleological Principle of Purpose], *Sistema Planeta Zemlja: 25 let sborniku Sistema „Planeta Zemlja“* / Pod red. V. L. Syvorotkin. URSS, Moscow, pp. 150–174. (In Russ.)
7. Grigor'ev, A.I.A. (2021), Kamennye izvajanija Rossii – igra prirody? Geograficheskie aspekty [Russia's stone statues - a game of nature? Geographical aspects], (Serija «Geografija kul'tury»). Asterion, St-Petersburg, Russia, 236 p. (In Russ.)
8. Gumboldt, A. (1862), *Kosmos. Opyt fizicheskogo miroopisanija* [Cosmos. The Experience of a Physical Worldview], *Perevod s nemeckogo N. Frolova. Izd. 2-e. Ch. 1*. Moscow, Russia, 413 p. (In Russ.)
9. Zorin, I.V., Lakovskij, S.G. (2018), Professional'naja napravlenost' rekreacionnoj sushhnosti jekogumanizma [The professional focus of the recreational essence of ecotourism], *V Mezhdunarodnyj forum «Turizm: nauka i obrazovanie»: sbornik materialov mezhdunarodnyh nauchnyh konferencij 2017 g., Moskva – g.o. Himki / pod nauch. red. V.Ju. Pitjukova; Rossijskaja mezhdunarodnaja akademija turizma. : Universitetskaja kniga, Moscow, Russia, pp. 73–80. (In Russ.)*
10. Zyryanov A.I. (2014) *Geografiya i turizm: razlichie i obshnost' interesov* [Geography and tourism: differences and common interests], *Sovremennye problemy servisa i turizma*, 1, pp. 10–15. (In Russ.)
11. Kant, I. (1994). *Kritika sposobnosti suzhenija* [A Critique of the Ability to Judge]. *Iskusstvo*, Moscow, Russia, 367 p. (Serija Istorija jestetiki v pamjatnikah i dokumentah). (In Russ.)
12. Kotljakov, V.M., Bol'shakov, V.N., Badenkov, Ju.P. (2021), Vечно aktual'naja tema vzaimodejstvija cheloveka s prirodoj [The ever-present topic of human interaction with nature], *Voprosy geografii*. Sb. 152. Chelovek i biosfera / Otv. red. V.M.Kotljakov, Ju.P.Badenkov. Media-PRESS, Moscow, Russia, pp. 11–32. (In Russ.)
13. Kruzhalin, V.I., Simonov, Ju.G., Simonova, T.Ju. (2009) *Chelovek, obshestvo, rel'ef: Osnovy social'no-jekonomicheskogo geomorfologii* [Man, Society, Relief: Fundamentals of Socio-Economic Geomorphology]. ANO «Dialog kul'tur», Moscow, Russia, 128 p. (In Russ.)
14. Lihacheva, Je. (2015), *Rel'ef – ego sushhnost' i krasota* [Relief - its essence and beauty]. Media-PRESS, Moscow, Russia, 144 p. (In Russ.)
15. Markova O. I., Emelyanova L. G. To the study of environmental problems of the Mnevnikovskaya flood (Moscow) in the atlas information system using space images. Part 1. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2022, no. 4, pp. 32–47. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-4-32-47 (In Russ.)
16. Minin A.A. Fenomen fenologii. Samaya narodnaya nauka – eto eshche i ser'oznoe napravlenie sovremennyh issledovanij prirody [Phenological phenomenon. The most popular science is also a serious direction of modern research in nature] // *Nezavisimaya gazeta*. 24.01.2023. (In Russ.)
17. Mikhailenko, A. V., & Ruban, D. A. (2022). A new approach to assessing the potential of geological tourism development: The case of Mountainous Adygeya. *Servis v Rossii i za rubezhom* [Services in Russia and Abroad], 16(4), 155–168. doi: 10.5281/zenodo.7089586. (In Russ.)
18. Nikolaev, V. A. (2003) *Landshaftovedenie: Jestetika i dizajn: Ucheb. Posobie* [Landscape Science: Aesthetics and Design: Textbook]. Aspekt Press, Moscow, Russia, 176 p. (In Russ.)

Рекреационная география и туризм

Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

19. Nikolaenko, D.V. (1984), Gumanitarnaja geografija: Problemy i perspektivy [Human Geography: Problems and Perspectives]. Simferopol' // Sochinenija D.V. Nikolaenko. T. 2. <http://www.hiv-aids-epidemic.com.ua/past-0010.htm> (In Russ.)
20. Onishchenko, V.V., Dega, N.S., Lysenko, A.V. (2021) Teberdinskij gosudarstvennyj prirodnyj biofernyj zapovednik na krutyh «izgibah» obshchественно-istoricheskijh formacij (opyt i neopredelennye perspektivy) [Teberda State Nature Biosphere Reserve on steep "bends" of socio-historical formations (experience and uncertain prospects)], Voprosy geografii. Sb. 152. Chelovek i biosfera. Vечно aktual'nye temy vzaimodejstviya cheloveka s prirodoy / Otv. red. V.M. Kotlyakov, Yu.P. Badenkov. Media-Press, Moscow, pp. 281-306. (In Russ.)
21. Petrov, O.V., Gogin, I.Ja., Vdovec, M.S. (2013) Sohranenie geologicheskogo nasledija Rossii [Conservation of Russia's geological heritage] Unikal'nye geologicheskie ob'ekty Rossii: sohranenie i rekreacionnyj potencial. Mezhdunarodnaja konferencija. VSEGEI, Moscow, pp. 72-74. (In Russ.)
22. Preobrazhenskij, V.S. (1993), Bytijnnyj geografizm i geograficheskaja nauka [Household geographism and geographical science] // Izv. AN SSSR, Ser. geograf., no 3, pp. 40-54. (In Russ.)
23. Ruban, D.A. (2022), Gosudarstvennoe upravlenie geonaslediem [State management of geoheritage]. ООО "DGTU. Print", Rostov-na-Donu, 87 p. (In Russ.)
24. Slipenchuk, M.V., Shherbakov, A.V. Kolumb XX veka [20th century Columbus]. Molodaja gvardija, Moscow, Russia, 2023, 840 p. (In Russ.)
25. Smirnjagin, L.V. (2010.) Vozmozhnosti i potrebnosti zaimstvovaniy teoreticheskijh osnov zapadnoj geografii [Opportunities and needs of borrowing the theoretical foundations of Western geography], Teorija social'no-jekonomicheskoy geografii: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija / Pod red. A.G. Druzhinina, V.E. Shuvalova. Materialy Mezhdunar. nauch. konf. Rostov-na-Donu, 4-8 maja 2010 g., Rostov-na-Donu, pp. 78-82. (In Russ.)
26. Soljanik, V.A., Popov, V. K., Pahomova, V.A., Tishkina, V. B. (2019), Razvitie geologicheskoy nauki – v novykh kollekcijah muzeja DVGI DVO RAN [The development of geological science - in the new collections of the Museum of the Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], Vestnik DVO RAN, no 1, pp. 148-152. DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.017 (In Russ.)
27. Streleckij, V.N. (2008), Kul'turnaja geografija v Rossii: osobennosti formirovaniya i puti razvitija [Cultural Geography in Russia: Peculiarities of Formation and Ways of Development], Izvestija RAN, Ser. geograf., no.5. pp. 21-33.
28. Tishkov, A.A. (2021), Konceptija biosfernyh rezervatov Programmy MAB i zadachi sohraneniya bioraznoobrazija: dostizhenijai problemy spustija 50 let [The concept of biosphere reserves of the MAB Program and the objectives of biodiversity conservation: achievements and problems after 50 years], Voprosy geografii. Sb. Vol., 152. Chelovek i biosfera. Vечно aktual'nyetemy vzaimodejstviya cheloveka s prirodoy / Otv. red. V.M. Kotlyakov, Ju.P. Badenkov. Media-Press, Moscow, pp. 62-100. (In Russ.)
29. Shubnicina, E.I. (2022), Ispol'zovanie metodov «narodnogo monitoringa» pri izuchenii dikogo severnogo olenja v nacional'nom parke «Yugyd Va» (Respublika Komi) [Using the methods of "people's monitoring" in the study of wild reindeer in the national park "Yugyd Va" (Komi Republic)], Jekologicheskij turizm: sovremennye vektory razvitija. Kollektivnaja monografija. Ural'skij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet; pod redakciej O. Ju. Gur'evskijh [et al.]. Ekaterinburg, pp. 554-558. (In Russ.)
30. Jejnshstejn, A. (1967), Moe kredo [My credo], Jejnshstejn, A. Sobranie nauchnyh trudov. T. IV. Nauka, Moscow, pp 175-176. (In Russ.)
31. Byers, A.C. (2022.), Chapter 4. Historical and Contemporary Contributions of the "Climber-Scientist" to Mountain Geography. Montology. Vol.1 Montology Palimpsest. A Primer of Mountain Geographies / Sarmiento F.O. (Series Ed.). Switzerland AG. Springer, pp. 51-69.
32. Gerlach, J. (2010), Vernacular mapping and the ethics of what comes next, Cartographica, no 45, pp. 165-168.
33. Gerlach, J., (2014), Lines, contours and legends: Coordinates for vernacular mapping, Progress in Human Geography, vol. 38(1), pp. 22-39.
34. Gibson, C., (2009), Geographies of tourism: critical research on capitalism and local livelihoods, Progress in Human Geography, no 33(4), pp. 527-534. 35. Goodchild, M.F., (2007), Citizens as sensors: the world of volunteered geography, GeoJournal, no 69 (4), pp. 211-221.
36. Gordon, J.E. (2018), Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation, Geosciences, no. 8, 136, 25 p. doi:10.3390/geosciences8040136.
37. Hose, T.A. (2020), Foreword. The geotourism industry in the 21st century: the origin, principles, and futuristic approach / edited by Bahram Nekouie Sadry. Apple Academic Press, pp. xxv-xvii.
38. List of Geoparks & Regional Networks (2021) UNESCO Global Geoparks (UGGp) [Elektronnyj resurs]. <https://en.unesco.org/global-geoparks/list> (data obrashhenija: 13.04.2023).
39. Paasi, A., Metzger, J., (2017), Foregrounding the region. Regional Studies, vol. 51, issue 1, pp. 19-30 <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.123981824>.
40. Thrift, N. (2012), The insubstantial pageant: Producing an untoward land. Cultural Geographies, no 19, pp. 141-168.

Статья поступила в редакцию: 17.03.23, одобрена после рецензирования: 01.11.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 17 March 2023; approved after review: 1 November 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Рекреационная география и туризм
Голубчиков Ю.Н., Кружалин В.И.

Информация об авторах

Юрий Николаевич Голубчиков

кандидат географических наук, с.н.с./доцент, ведущий научный сотрудник,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1

Виктор Иванович Кружалин

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1

Information about the authors

Yuri N. Golubchikov

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher,
Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: golubchikov@list.ru

Victor I. Kruzhalin

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of Department,
Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: v.kruzhalin@gmail.com

Вклад авторов

Голубчиков Ю.Н. – идея статьи, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Yuri N. Golubchikov– the idea of the article; data collection; processing of the material, writing the article, scientific editing of the text.

Viktor I. Kruzhalin – the idea of the article; data collection; processing of the material; writing the article; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

Научная статья

УДК 911.361+379.85

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-172-182

ФОРМИРОВАНИЕ МЕДИКО-ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ СФЕРЫ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ: ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДИКИ

Николай Алексеевич Грудцын¹, Анатолий Иванович Чистобаев²

^{1,2} Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

¹e-mail: poxes@yandex.ru

²e-mail: chistobaev40@mail.ru

Аннотация. В статье представлены теоретико-методологические и методические аспекты кластерного подхода к исследованию медицинского туризма: выбору места, где может быть создан кластер; поиску партнеров для формирования и функционирования кластера; разработке маркетинговой стратегии и квалифицированного менеджмента. Раскрыты преимущества кластеризации в медицинском туризме, а именно: медико-туристические кластеры обеспечивают не только синергетический эффект в предоставлении медицинских услуг, но и рост доходов медицинских и оздоровительных учреждений, повышают привлекательность региона для туристов. Обозначены недостатки формирования медико-туристических кластеров, а именно: риск монополизации рынка медицинских услуг, ограничения конкуренции и диспропорции в развитии здравоохранения. Негативное воздействие на окружающую среду медико-туристических кластеров может быть сведено к минимуму – главная задача по обеспечению экологической безопасности состоит в утилизации медицинских отходов, в недопущении попадания их в водный и воздушный бассейны. Даны рекомендации по выбору потенциальными пациентами кластера, который соответствовал бы его запросом в получении медицинской помощи. Показано, что для успешного развития медицинского туризма при создании кластеров необходимо учитывать потенциальные вызовы и нивелировать реальные риски. Предложена формула исчисления индекса кластера медицинского туризма. Отмечено, что формирование кластеров медицинского туризма – это сложный и многогранный процесс, который требует от всех его участников скоординированных совместных усилий и действий. При успешной реализации проектов создания высокотехнологичных медико-туристических кластеров в странах и регионах, где развит медицинский туризм, может быть получен экономический эффект при минимальном воздействии на окружающую среду. Отмечена необходимость формирования централизованной статистики по медицинскому туризму.

Ключевые слова: здоровье населения, медицина, туризм, рекреация, медико-туристический кластер, кластерный анализ, кластерный подход, конкурентоспособность, рынки медицинских услуг

Финансирование. Работа выполнена по гранту РФФИ № 23-28-00279 «Траектории развития рынка российского медицинского туризма в условиях реформирования мирового порядка».

Для цитирования: Грудцын Н. А., Чистобаев А. И. Формирование медико-туристических кластеров в территориальной структуре сферы здоровьесбережения: вопросы методологии и методики // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.172–182. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-172-182

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-172-182

FORMATION OF MEDICAL TOURISM CLUSTERS IN THE TERRITORIAL STRUCTURE OF THE HEALTHCARE SECTOR: ISSUES OF METHODOLOGY AND TECHNIQUES

Nikolai A. Grudtsyn¹, Anatoly I. Chistobaev²

^{1,2} Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

¹ poxes@yandex.ru

² chistobaev40@mail.ru

Abstract. The article deals with the theoretical, methodological, and procedural aspects of the cluster approach to the study of medical tourism: the choice of a place where a cluster can be created; search for partners in the formation and functioning of the cluster; development of a marketing strategy and qualified management. The paper highlights the advantages of clustering in medical tourism: medical tourism clusters ensure a synergistic effect in the provision of medical services, increase the region's attractiveness for tourists, and ensure growing income of medical and health institutions. The shortcomings of the formation of medical tourism clusters include the risks of monopolization of the medical services market, of restrictions on competition, and of disproportions in the healthcare development. The negative impact of medical tourism clusters on the environment can be minimized – the main task in



*Рекреационная география и туризм**Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.*

ensuring environmental safety is the disposal of medical waste and preventing it from entering water and air basins. The paper provides recommendations for potential patients to choose a cluster that would correspond to their request for medical care. It is shown that for a successful development of medical tourism, when creating clusters it is necessary to take into account potential challenges and eliminate real risks. A formula for calculating the medical tourism cluster index is proposed. It is noted that the formation of medical tourism clusters is a complex and multifaceted process that requires coordinated joint efforts and actions from all its participants. With a successful implementation of projects aimed at creating such high-tech clusters in countries and regions where medical tourism is developed, an economic effect can be obtained with minimal environmental impact. The paper also notes the need for the formation of centralized statistics on medical tourism.

Keywords: public health, medicine, tourism, recreation, medical tourism cluster, cluster analysis methods, cluster approach, competitiveness, medical services markets

Funding: the work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-28-00279 'Development Trajectories of the Russian Medical Tourism Market in the reformatting of the World Order'.

For citation: Grudtsyn, N.A., Chistobaev, A.I. (2023). Formation of medical tourism clusters in the territorial structure of the healthcare sector: issues of methodology and techniques. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 172–182. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-172-182

Введение

Медицинский туризм в последние два-три десятилетия получил большое развитие во многих странах мира, причем не только в традиционных местах его дислокации в Европе, но и в ряде стран Азии и Америки. Преимущества новых дестинаций этого вида деятельности состоят в более доступной ценовой политике при возрастающем уровне качества лечения и реабилитации, предоставлении профессионально организованных услуг рекреации и познавательного туризма.

В настоящее время возник еще один фактор, благоприятствующий привлечению медицинских туристов в страны Евразии и Латинской Америки, – геополитический. Так, наложение санкций на Россию и некоторые другие страны способствовало возникновению новых предпосылок для переориентации потенциальными медицинскими туристами некоторых постсоветских республик на страны Ближнего Востока, Южной и Юго-Восточной Азии. За относительно короткое время в ряде стран этих макрорегионов сформировались медицинские и лечебно-оздоровительные комплексы, оснащенные инновационным оборудованием, высокопрофессиональным медицинским и вспомогательным персоналом, причем их успех в развитии и территориальной организации медико-туристических услуг в значительной мере достигнут на основе кластерного подхода.

Под медико-туристическим кластером нами понимается объединение активных элементов территориальной структуры сферы здоровьесбережения, которое обеспечивает активизацию деятельности учреждений медицины, туризма, рекреации, культуры и обслуживающих их объектов инфраструктуры [13,14]. Главная целевая функция таких кластеров состоит в организационном объединении всех видов медицинских и рекреационных ресурсов, в создании оптимальных условий для совместной работы (с учетом их географического местоположения, специализации и качества предоставляемых услуг). Говоря иными словами, речь идет о внедрении современных методов маркетинга и менеджмента в организационный механизм медицинской и туристско-рекреационной сфер деятельности в пространственно-временном измерении.

Обзор литературы

В целях более широкого рассмотрения проблематики мы обратились к набору данных [20], который содержит библиометрический анализ 1535 зарубежных публикаций (проиндексированных в базе цитирования Scopus) по медицинскому туризму начиная с 1952 г. и охватывает статьи, обзорные статьи, главы книг, доклады конференций и др. На рис. 1 показан значительный рост интереса к проблематике, начиная с середины нулевых. При этом после огромного всплеска количества работ в 2015 г. следует снижение публикационной активности.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

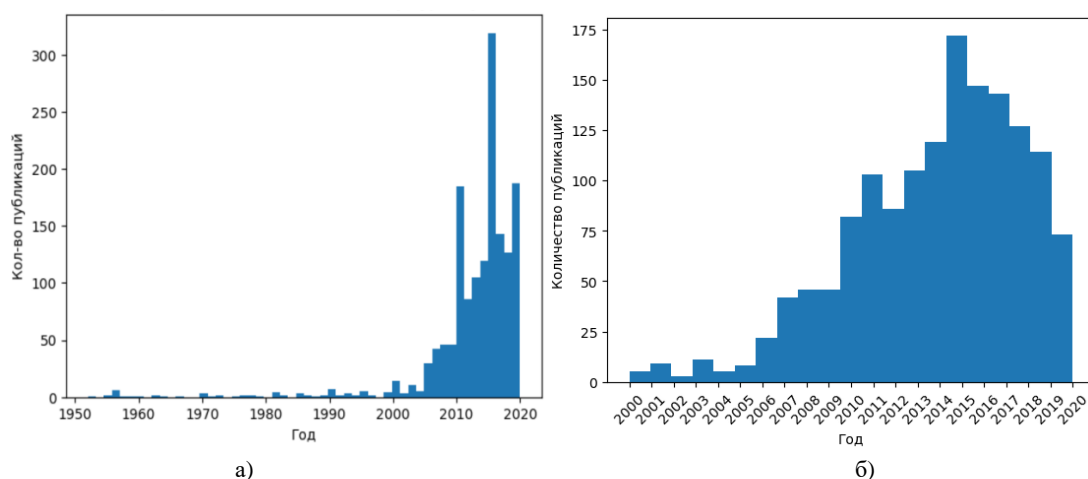


Рис. 1. Количество публикаций по тематике медицинского туризма в период: а – с 1952 по 2020 гг.; б – с 2000 по 2020 гг.
Источник: по данным [20, 23]

Fig.1. Number of publications on medical tourism in the period а – from 1952 to 2020; б – from 2000 to 2020
Source: according to [20, 23]

Автоматизированный анализ данного набора данных показал, что только около 2% (30 ед.) от общего числа публикаций содержат производные от слова «cluster» в своем названии, аннотации или ключевых словах, причем часть из них относится не к медицинскому туризму, а к более широкому направлению оздоровительного туризма, так как включают в себя исследования в областях Wellness и SPA.

Среди многочисленных публикаций по медицинскому туризму выделяются работы Дж. Коннела [17; 18], М.З. Букмэн, К.Р. Букмен [16], М.Д. Хоровитц и др. [20]. Что касается публикаций по медико-туристическим кластерам, то их число незначительно. Непосредственное отношение к нашей теме имеют публикации по вопросам повышения конкурентоспособности кластеров медицинского туризма в Таиланде [15; 21], стоматологического туризма в Венгрии и Польше [23], рекреационного – Турции [19]. В отечественной литературе можно встретить обзор кластерных технологий в контексте развития региональной медико-оздоровительной дестинации туризма [5], развития туристской индустрии в «новой» Москве [3], Новосибирске [4] и на уровне страны в целом [7]. Возможности использования теории географического поля при исследовании медико-туристических кластеров раскрывались на примере Санкт-Петербурга [14]. На постсоветском пространстве публикации по медико-туристическому кластеру имеются в Литве [8], Казахстане [2] и Беларуси [10]. Отметим также специфику формирования кластера медицинского туризма как инновационной модели интеграции субъектов государственно-частного партнерства [9], а также как объекта медико-географического менеджмента [11].

Анализ и оценка публикаций показывают, что все они посвящены обзору специфики и опыта организации медико-туристической деятельности в регионах и странах мира, основаны на эмпирических методах. Вопросы, касающиеся выработки единой методологии и методики кластеризации медицинского туризма, пока недостаточно отражены в печати. Кроме того, не систематизированы ключевые особенности формирования кластеров медицинского туризма в современных геополитических и социально-экономических реалиях, отсутствует четкость в выявлении преимуществ и недостатков в процессах формирования медико-туристических кластеров.

Цель исследования

Работа направлена на разработку методологических основ и методики кластерного анализа к оценке состояния и кластерного подхода к обоснованию эффективных путей развития и территориальной организации медицинского туризма, выделения преимуществ и недостатков формирования медико-туристических кластеров в сфере здоровьесбережения, организуемой на уровнях государственного и муниципального управления.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

Методы кластерного анализа

Кластерный анализ позволяет идентифицировать группы регионов или стран по условиям и потенциалу конкретного вида деятельности, предоставить необходимую для пользователей информацию. Анализ конкурентной среды дает возможность составить мнение о конкретной ситуации на рынке, выявить условия и преимущества возможных тех или иных источников предоставления товаров или видов услуг. Анализ спроса направлен на определение интересов и потребностей клиентов, которые ведут поиск, получают услуги в разных местах их предоставления. Анализ предложения позволяет установить рыночные возможности предприятий и/или учреждений в различных регионах и/или странах. SWOT-анализ раскрывает сильные и слабые стороны регионов и/или стран, их возможности и риски в предоставлении медицинских и рекреационных видов услуг.

При проведении исследований развития и территориальной организации медицинского туризма следует опираться на существующую территориальную структуру здравоохранения (рис. 2). В данной работе известные методы кластерного анализа представлены в обобщенном виде, то есть без конкретизации относительно существующих или перспективных кластеров (этот аспект – предмет отдельного исследования).



Рис. 2 Структура сферы территориального здравоохранения
Источник: составлен авторами

Fig. 2 The territorial structure of the healthcare sector
Compiled by the authors

1. Метод *k*-средних позволяет сформулировать алгоритм кластеризации. В его основе – разбиение множества объектов на заданное число кластеров таким образом, чтобы объекты внутри каждого кластера были как можно более похожи друг на друга. Достижение этой цели осуществляется в определенной последовательности: а) задается количество кластеров (*K*) и случайным образом выбираются (*K*) точек из множества данных; б) каждый массив данных относится к тому классу, который располагается ближе всего к точке-центру своего класса; в) для каждого полученного класса вычисляется новая центральная точка (как средняя координата всех элементов этого класса); г) действия повторяются до тех пор, пока изменения не стабилизировались или не было достигнуто

определенное число итераций. Результат работы алгоритма зависит от начальных условий: при различном выборе центров результат может быть существенно разным.

2. Иерархический кластерный анализ используется для группировки объектов в подобные классы на основе их сходства, является одним из самых популярных способов кластеризации. Статистическая информация разбивается на несколько уровней и таким образом создается древовидная структура, называемая дендрограммой, на вершине ее располагается кластер, в состав которого входят все объекты согласно исходной информации. Далее происходит последующее деление этого большого кластера на более мелкие.

3. Плотностная кластеризация основывается на выявлении плотности распределения точек в пространстве. Этот метод используется для выявления групп объектов, расположенных близко друг к другу по метрике расстояния и имеющих достаточно высокую плотность.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

По сути, речь идет об используемом в отечественной литературе термине “географическое поле”, основная суть которого заключается в определении расстояний между точками: если точки находятся достаточно близко друг от друга, то они принадлежат одному кластеру [1; 6; 12; 14]. Алгоритм метода позволяет использовать его при анализе социальной сети, в том числе и медицинского туризма.

4. Агломеративная кластеризация позволяет каждый объект рассматривать как отдельный кластер, затем на каждом шаге два ближайших кластера объединяются в один новый, и этот процесс длится до тех пор, пока все объекты не будут объединены в одном большом кластере.

5. Спектральная кластеризация основывается на построении графа, где узлы это – объекты, а ребра – степень сходства между объектами. Его применение осуществляется в четыре шага: 1) вычисление матрицы сходства (для каждой пары объектов вычисляется значение их сходства); 2) построение на основе матрицы сходства неориентированного взвешенного графа, при котором вершины представляют объекты, а ребра – значения их сходств; 3) разбиение графа на несколько подгрупп таким образом, чтобы вершины внутри каждой группы были похожи друг на друга; 4) каждой полученной подгруппе присваивается номер. Этот метод позволяет выявлять скрытые закономерности в данных и упрощать задачу классификации объектов [24, 25].

Результаты и их обсуждение

Кластерный подход к исследованию медицинского туризма. Как уже было отмечено, термин «кластер» используется для обозначения группы компаний, работающих в схожих отраслях и расположенных на одной, по возможности локализованной, территории. Такие кластеры имеют высокую конкурентоспособность благодаря возможности совместного использования ресурсов, обмену опытом и знаниями, а также созданию благоприятного бизнес-окружения. Кластеры могут способствовать экономическому росту и созданию новых рабочих мест; объединению ресурсов и опыта, что может привести к улучшению качества услуг; увеличению конкурентоспособности на региональном, страновом и международном уровнях и развитию инноваций (рис. 3).

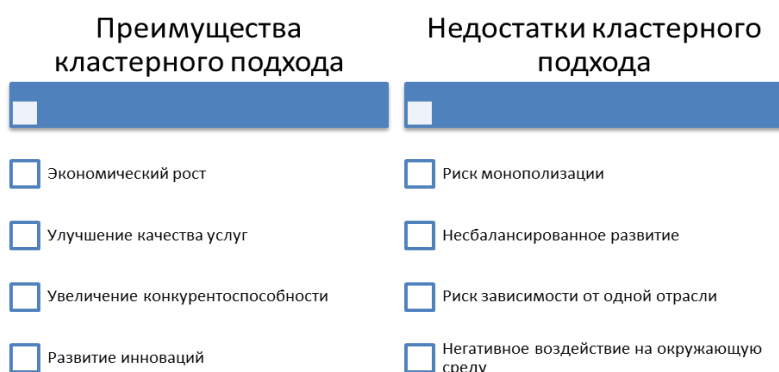


Рис. 3 Составляющие преимуществ и недостатков кластерного подхода.

Источник: составлен авторами

Fig. 3. Components of the advantages and disadvantages of the cluster approach.
Compiled by the authors

Медико-туристические кластеры, помимо сказанного, обеспечивают синергетический эффект в предоставлении медицинских услуг, повышают привлекательность региона для туристов, обеспечивают рост доходов медицинских и оздоровительных учреждений. Риск монополизации рынка и ограничения конкуренции могут породить несбалансированность

в развитии кластера, диспропорции в развитии региона, например, зависимость от одной отрасли. Негативное воздействие на окружающую среду медико-туристических кластеров может быть сведено к минимуму – главная задача состоит в утилизации медицинских отходов, в недопущении попадания их в водный и воздушный бассейны.

Формирование кластеров медицинского туризма возможно при наличии следующих условий: а) специализированных медицинских учреждений с высоким качеством медицинских услуг, опытом работы с иностранными пациентами; б) туристической социальной инфраструктуры, позволяющей комфортно проживать и отдыхать пациентам и их сопровож-

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

дающим лицам по территории кластера и его окрестностям; в) квалифицированных переводчиков и консультантов, которые могут помочь иностранным пациентам ориентироваться в новой стране, получать необходимую информацию и иметь связь с медицинскими учреждениями; г) транспортной инфраструктурой, которая обеспечивает быстрое и удобное перемещение пациентов и их сопровождающих лиц по территории кластера и окрестностям; д) сотрудничества между медицинскими учреждениями и туристическими компаниями, которое предоставляло бы возможность создавать комплексные туристические пакеты для пациентов; е) образовательных учреждений, обеспечивающих кластер высококвалифицированными кадрами; ж) поддержки со стороны правительства, включая регулирование и стимулирование медицинского туризма; з) эффективных стратегий продвижения и маркетинга для привлечения пациентов и туристов; и) высоких стандартов качества медицинских услуг и сервиса, которые привлекали бы межрегиональных и иностранных пациентов и обеспечивали бы повышение конкурентоспособности кластера на мировом и региональном рынках медицинского туризма. Наличие различных комбинаций данных факторов формализует структуру медико-туристического кластера (рис. 4).

Кластеризация в медицинском туризме имеет как преимущества, так и недостатки (табл. 1), – которое необходимо учитывать при выборе потенциальными пациентами медицинского учреждения, входящего в состав конкретного медико-туристического кластера.



Рис. 4 Примерная структура медико-туристического кластера
Источник: составлен авторами

Fig. 4 Approximate structure of a medical tourism cluster
Compiled by the authors

Таблица 1

Преимущества и недостатки формирования кластеров медицинского туризма
Advantages and disadvantages of forming medical tourism clusters

Показатель	Преимущества	Недостатки
Доступность и экономичность	Кластеризация позволяет снизить стоимость медицинских услуг благодаря объединению ресурсов и созданию экономически эффективных моделей	Кластеризация при низкой регулируемости рынка может привести к недобросовестной конкуренции и нарушению прав потребителей
Экономическое развитие	Кластер медицинского туризма может способствовать развитию экономики региона, созданию новых рабочих мест, увеличению доходов местного населения	Формирование кластеров медицинского туризма сопряжено с вложением значительных средств в создание и поддержание инфраструктуры
Качество и разнообразие медицинских услуг	Кластеризация позволяет объединять ресурсы, создавать условия для совместной работы, что повышает качество медицинских услуг	Кластеризация может ограничить выбор пациентом медицинских учреждений и специалистов
Конкурентоспособность	Конкуренция входящих в состав кластера медицинских центров стимулирует рост квалификации медицинского персонала и повышение качества лечения	Конкурентоспособность кластера может снизиться в результате предложения более выгодных условий со стороны других кластеров Борьба за привлечение медицинских туристов приводит к снижению цен, одновременно – и качества медицинских услуг

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

Окончание табл. 1

Показатель	Преимущества	Недостатки
Рынок медицинского туризма	Наличие потенциала привлечения пациентов из других стран расширяет рынок, увеличивает доходы компаний, бюджет страны и региона	Рынок ограничен числом людей, нуждающихся в медицинской помощи и готовых к поиску ее за пределами своего региона
Удобство и комфорт для пациентов	Кластеризация позволяет создавать современные медицинские центры, гостиницы, транспортную инфраструктуру	Кластеризация усложняет доступ к медицинским услугам для пациентов, проживающих в удаленных районах Риски для пациентов связаны с установлением диагноза, качеством лечения, языковыми и культурными барьерами.
Имидж региона	Кластер медицинского туризма может способствовать улучшению имиджа региона, повышению его привлекательности для туристов и инвесторов	Ошибки в предоставлении медицинских услуг могут негативно повлиять на имидж региона, снизить спрос у потенциальных туристов.
Влияние на качество жизни местного населения	Развитие инфраструктуры, повышение уровня доходов будет способствовать росту качества жизни населения	Высокие цены на медицинские услуги, увеличение трафика может отрицательно сказаться на жизни населения

Источник: составлена авторами

Compiled by the authors

К методике выявления медико-туристических кластеров.

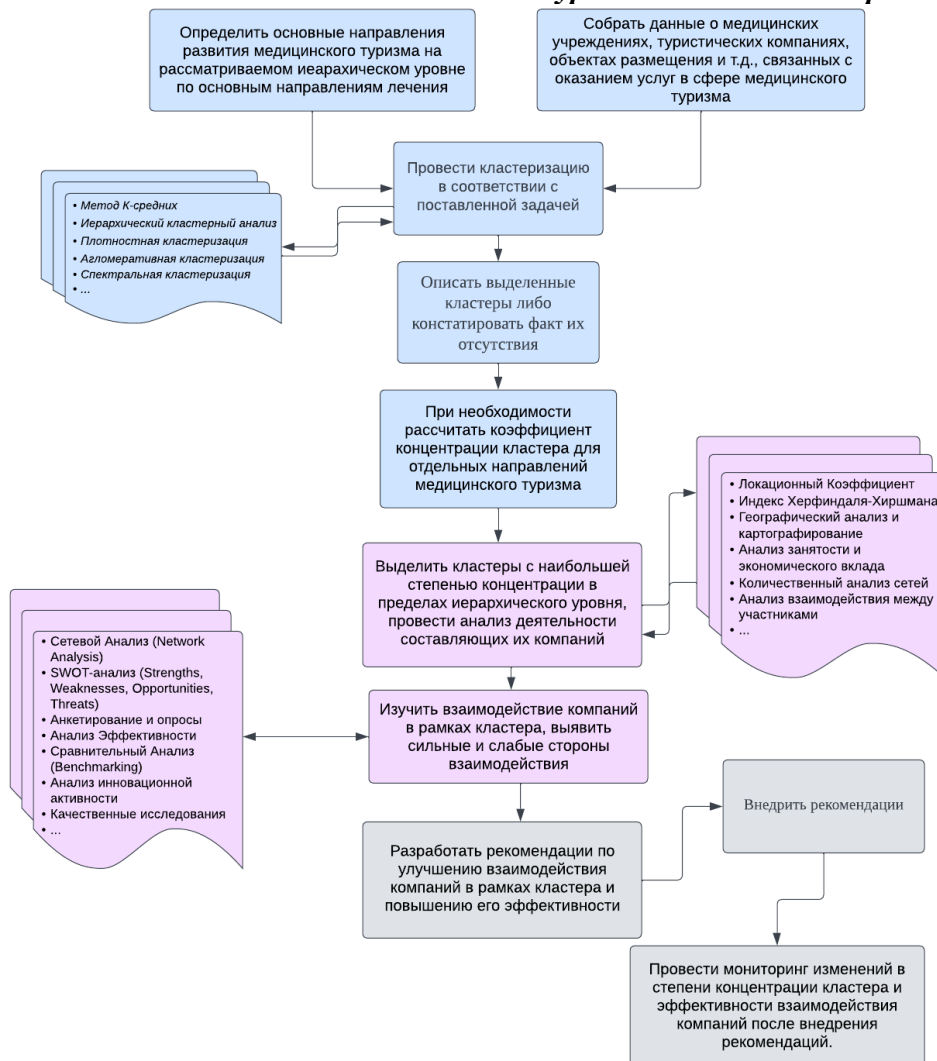


Рис. 5 Методика выделения и развития медико-туристического кластера

Источник: составлен авторами

Fig. 5 Methodology for identifying and developing a medical tourism cluster

Compiled by the authors

Выделение кластеров – специфичный процесс и зависит от цели, поставленных задач и ряда других условий. Нами предлагается обобщенный алгоритм выделения медико-туристических кластеров и последующего определения эффективности их функционирования (рис. 5). По результатам проведенного анализа определяется потенциал развития либо постулируются необходимые предпосылки для создания кластера медицинского туризма.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

Отдельно рассмотрим подходы к определению степени концентрации кластера (Табл. 2), так как получение данных результатов важно при определении стратегии развития как самого кластера, так и региона, в котором он находится, привлечения инвестиций, распределения ресурсов, оптимизации сетевого взаимодействия, улучшения конкурентоспособности, а также анализа рыночных тенденций.

Таблица 2

Подходы к определению степени концентрации кластеров
Approaches to determining the degree of cluster concentration

Локационный Коэффициент (Location Quotient, LQ)	Метод позволяет сравнить уровень концентрации определенной индустрии или сектора в регионе с её концентрацией на более широком уровне (например, на уровне страны). Локационный коэффициент рассчитывается как отношение процента отрасли в регионе к её проценту в более широкой экономике.
Индекс Херфиндаля-Хиршмана (НИИ)	Используется для измерения степени концентрации рынка, но его также можно адаптировать для анализа географической концентрации. Рассчитывается как сумма квадратов долей каждой компании (или другой единицы) в общей сумме рынка или региона. НИИ = $s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_n^2$ (где s – рыночная доля каждой фирмы, выраженная целым числом)
Географический анализ и картографирование	С помощью ГИС-технологий и пространственного анализа также можно определить географическую концентрацию кластеров. Включает в себя картографирование распределения кластеров, их плотности и других пространственных характеристик.
Анализ занятости и экономического вклада	Оценка количества рабочих мест, созданных кластером, и его вклада в ВВП региона может также дать представление о степени концентрации
Количественный анализ сетей	Использование сетевого анализа для изучения связей и взаимодействий между компаниями и организациями внутри кластера может помочь оценить степень их концентрации и взаимозависимости
Анализ взаимодействия между участниками	Понимание уровня сотрудничества и взаимодействий между участниками кластера, включая обмен знаниями и ресурсами, также может служить индикатором степени концентрации.

Источник: составлена авторами
Compiled by the authors

Показатели эффективности функционирования медико-туристических кластеров: 1) количество иностранных пациентов, обратившихся за медицинской помощью в рамках кластера; 2) объем выручки медицинских учреждений и туристических компаний, входящих в кластер; 3) уровень удовлетворенности пациентов медицинскими услугами и сервисом; 4) рейтинг кластера на мировом рынке медицинского туризма; 5) уровень инвестиций в развитие кластера и его инфраструктуры; 6) количество медицинских учреждений, предоставляющих медицинские услуги для туристов; 7) количество туристических компаний, предоставляющих услуги по организации медицинского туризма; 8) средний чек на медицинские услуги и туристические услуги.

Выявление уровней развития медико-туристических кластеров. В настоящее время нет методики, отражающей уровень развития кластеров медицинского туризма. По-нашему мнению, для этой цели можно использовать следующую предлагаемую нами формулу:

$$ИКМТ = \frac{(КМУ + КОИ + КТ \times \alpha)}{P \times \beta} \times УУ,$$

где: ИКМТ – индекс кластера медицинского туризма; КМУ - количество медицинских учреждений; КОИ – количество объектов инфраструктуры, обеспечивающих потребности медицинских туристов; КТ - число туристов, приезжающих для получения медицинской помощи (за период времени); P – совокупные расходы медицинского туриста; УУ – уровень удовлетворенности медицинских туристов от качества услуг и обслуживания (в диапазоне от 0 до 1). α и β – коэффициент нормализации. Высокий индекс кластера медицинского туризма указывает на успешное развитие данной отрасли и привлекательность для туристов и инвесторов.

Рекреационная география и туризм
Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

Для придания действенности данной формуле необходимо совершенствовать статистику клиник и лечебно-оздоровительных учреждений в целях выделения категории медицинских туристов, а также проводить опросы уровня удовлетворенности оказанными услугами. Важно отметить, что уровень удовлетворенности относится к полному циклу оказания услуг медицинскому туристу.

Кластеризация медицинского туризма может рассматриваться на различных иерархических уровнях: межгосударственным, страновом, межрегиональном (внутри страны) и локальном (на муниципальном уровне). Наивысший эффект может быть достигнут в тех случаях, когда обеспечивается взаимодействие медицинских и оздоровительных учреждений на уровне страны и выше, т. е. при международном сотрудничестве. Заметим, что речь идет не только о качестве лечения и ценовой политике, но и о других составляющих медико-туристических кластеров, в частности, геополитической.

Заключение

Формирование кластеров медицинского туризма может стать важным шагом в развитии и территориальной организации сферы здоровьесбережения. Исследования в этой области открывают дополнительные возможности для повышения качества и снижения цены на предоставляемые медицинские и оздоровительные услуги, привлечения клиентов из других стран и регионов своей страны.

Медицинский туризм способствует росту экономического потенциала стран и регионов, созданию новых рабочих мест. Важно, однако, помнить о потенциальных негативных последствиях концентрации медицинских и оздоровительных видов услуг, поскольку возрастает транспортная составляющая в расходах медицинских туристов, их доля в общих расходах на лечение и реабилитацию. Нивелировать названные вызовы и эффекты при формировании медико-туристических кластеров возможно на этапе стратегического пространственного планирования и в процессе взаимодействия органов власти с руководителями объектов, входящих в состав создаваемых и функционирующих медико-туристических кластеров.

Актуальной проблемой для проведения полноценных исследований по формированию и функционированию медико-туристических кластеров является организация более полной и достоверной информации о медицинском туризме, а именно выделение его в самостоятельную строку из состава лечебно-оздоровительного туризма, что позволит осуществлять более качественный маркетинг и эффективный менеджмент в данной сфере деятельности исследователей и лиц, принимающих управленческие решения.

Библиографический список

1. Арманд Д. Л. Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов / отв. ред. д.г.н. Э. М. Мурзаев. М.: Наука, 1983. 240 с.
2. Байменова А. С., Жакенова, С. Р., & Айдаралиев, А. А. Кластерный анализ стран СНГ для развития медицинского туризма в Казахстане // Социальные аспекты здоровья населения. 2020.66(5). 11с.
3. Голондарев К. С. Кластер медицинского туризма как ключевой элемент развития туристской индустрии в Новой Москве // XXXIII Международные Плехановские чтения. 2020. С. 147–150.
4. Горошко Н. В., Емельянова, Е. К. & Никифорова Н. Г. Новосибирск как центр регионального медицинского туризма: потенциал и аспекты его реализации // Актуальные проблемы медицины, 2018.41(4). С. 600–615.
5. Дмитриев Ю. А., & Чистяков М. С. Кластерные технологии в контексте развития оздоровительной дестинации медицинского туризма // Материалы I международной научно-практической конференции «Интеграция туризма в экономическую систему: перспективы и барьеры» (25–26 апреля 2019 г.) в 2ч. Ч.2. Орёл: Изд-во Орл. Гос. ун-та имени А. С Тургенева, 2019. С. 132–138
6. Зырянов А. И. Географическое поле туристского кластера // Географический вестник. 2012.№ 1 (20). С. 96–98.
7. Какабадзе Э. Ю. Анализ российского опыта формирования и развития кластеров в контексте стратегического развития медицинского и лечебно-оздоровительного туризма // Актуальные проблемы развития сферы услуг 2019. С. 180–183.
8. Король А.Н. Кластер медицинского туризма Литвы: условия и предпосылки для функционирования // Наука в цифрах. 2017. С. 10–13. doi: 10.21661/r-464758.
9. Мещерякова Ж. В. Медицинский кластер в системе здравоохранения региона как инновационная модель интеграции субъектов государственно-частного партнерства // Экономика и бизнес: теория и практика 2017. №3. С. 43–45.
10. Милашевич Е. А. Медицинский кластер как фактор развития экспорта услуг Республики Беларусь // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия гуманитарных наук, 2020. №3. С. 105–110.

Рекреационная география и туризм

Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

11. Семенова З.А. Модификация методов современного менеджмента в медицинской географии // Географический вестник. 2016. № 1 (36). С.132–137.
12. Трофимов А. М., Чистобаев А. И., Шарыгин М. Д. Теория поля и границ в географии. Концепция географического поля // Вестник СПб. ун-та. Сер. 7. Геол., географ. 1993. Вып. 3. С. 94–101.
13. Чистобаев А.И. Медико-туристический кластер региона с позиции геопространственного подхода // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2023. С.62–67.
14. Чистобаев А.И. Географическое поле медико-туристического кластера региона: забытая теория, лучшие практики // Тихоокеанская география. 2023. №3. С.47–55. https://doi.org/10.35735/26870509_2023_15_4.
15. Alberti, F. G., Giusti, J. D., Papa, F., & Pizzurno, E. Competitiveness policies for medical tourism clusters: government initiatives in Thailand // International journal of economic policy in emerging economies, 2014. 7(3), pp. 281–309.
16. Bookman M.Z., Bookman K.R. Medical Tourism in Developing Countries. Palgrave Macmillan New York. 2007. 245 p. doi: 10.1057/9780230605657
17. Connell J. Medical tourism: Sea, sun, sand and ... surgery // Tourism Management. Volume 27, Issue 6. 2006. pp. 1093–1100.
18. Connell J. Contemporary medical tourism: Conceptualisation, culture and commodification // Tourism Management. Volume 34, 2013. pp.1–13.
19. Kirdar, Y., & Sezer, A. Cluster Mapping of Medical Tourism in Turkey and Regional Clustering for Health Tourism /European Journal of Economics and Business Studies. Vol. 2, Iss 1. 2021. pp.190–201. doi: 10.26417/ejes.v4i1.
20. Habibi, A., Mousavi, M., Jamali, S.M., & Ale Ebrahim, N. (2021). Datasets for "A Bibliometric Study of Medical Tourism" paper [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5025655>
21. Horowitz, M. D., Rosensweig, J. A., & Jones, C. A. Medical tourism: globalization of the healthcare marketplace. MedGenMed : Medscape general medicine, 9(4), 2007. pp. 1–7.
22. Манеенетр, Thirachaya. Guidelines to Development Wellness Tourism in Roi-Kaen-San-Sin Cluster, Thailand // Mediterranean Journal of Social Sciences. Vol 5. № 23. 2014. pp. 214–220. doi: 10.5901/mjss.2014.v5n23p214.
23. Medical Tourism Publications // <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/medical-tourism-publications-bibliometric-analys> (дата обращения: 16.07.2023).
24. Rybicki, J. Dental Tourism in Hungary and Poland—Cluster and Business Model Perspective at Selected Locations // Management in the time of networks, cross-cultural activities and flexible organizations, 2017. pp. 231–245.
25. von Luxburg, U. A tutorial on spectral clustering. Stat Comput 17, 2007. pp. 395–416. doi: 10.1007/s11222-007-9033-z
26. Luo, B., Wilson, R.C., Hancock, E.R. Spectral Clustering of Graphs. In: Petkov, N., Westenberg, M.A. (eds) Computer Analysis of Images and Patterns. Lecture Notes in Computer Science, vol 2756. Springer. 2003. pp. 540–548. doi: 10.1007/978-3-540-45179-2_66

References

1. Armand D. L. (1983), Geographical environment and rational use of natural resources / Ed. ed. d.g.s. E. M. Murzaev; Academy of Sciences of the USSR, Institute of Geography. — M.: Nauka. — 240 p.
2. Baimenova A. S., Zhakenova, S. R., & Aidaraliev, A. A. (2020), Cluster analysis of the CIS countries for the development of medical tourism in Kazakhstan. Social aspects of public health, 66(5). - 11p.
3. Golondarev K. S. (2020), Medical tourism cluster as a key element in the development of the tourism industry in New Moscow. XXXIII International Plekhanov Readings. - pp. 147-150.
4. Goroshko N. V., Emelyanova, E. K. & Nikiforova N. G. (2018), Novosibirsk as a center of regional medical tourism: potential and aspects of its implementation. Actual problems of medicine, 41(4). — pp. 600-615.
5. Dmitriev Yu. A., & Chistyakov M. S. (2019), Cluster technologies in the context of the development of a health tourism destination // Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference "Tourism Integration into the Economic System: Prospects and Barriers" (April 25–26, 2019) at 2 h. P 2.-Eagle: Oryol State University named after A.S. Turgenev. - pp. 132-138.
6. Zyryanov A.I. (2012), Geographic field of the tourist cluster // Geographic Bulletin. No. 1 (20). - pp. 96-98.
7. Kakabadze E. Yu. (2019), Analysis of Russian experience in the formation and development of clusters in the context of the strategic development of medical and health tourism. In Actual problems of development of the service sector. - pp. 180-183.
8. Korol A.N. (2017), Lithuanian Medical Tourism Cluster: Conditions and Preconditions for Functioning // Science in Numbers. - pp. 10-13. – doi: 10.21661/r-464758.
9. Meshcheryakova Zh. V. (2017), Medical cluster in the health care system of the region as an innovative model for the integration of public-private partnerships. Economics and Business: Theory and Practice No. 3. - pp. 43-45.
10. Milashevich E. A. (2020), Medical cluster as a factor in the development of export services of the Republic of Belarus. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Humanities Series, No. 3. — pp. 105-110.
11. Semenova Z.A. (2016), Modification of modern management methods in medical geography // Geographic Bulletin. No. 1 (36). - pp. 132-137.
12. Trofimov A. M., Chistobaev A. I., Sharygin M. D. (1993), The theory of fields and boundaries in geography. The concept of the geographical field // Bulletin of St. Petersburg. University Ser. 7. Geol., geographer. - Issue. 3. - pp. 94-101
13. Chistobaev A.I. (2023), Medico-tourist cluster of the region from the position of geospatial approach // Geosystems of Northeast Asia: natural, natural resource and socio-economic structures. Vladivostok: Pacific Institute of Geography FEB RAS. - pp. 62-67.
14. Chistobaev A.I. Geographical field of a medical-tourist cluster of a region: forgotten theory, best practices. Pacific Geography. 2023;(3):47-55. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2023_15_4.
15. Alberti, F. G., Giusti, J. D., Papa, F., & Pizzurno, E. (2014), Competitiveness policies for medical tourism clusters: government initiatives in Thailand // International journal of economic policy in emerging economies, 7(3). — pp. 281-309.

Рекреационная география и туризм

Грудцын Н.А., Чистобаев А.И.

16. Bookman M.Z., Bookman K.R. (2007), Medical Tourism in Developing Countries. Palgrave Macmillan New York. 245 p. doi: 10.1057/9780230605657
17. Connell J. (2006), Medical tourism: Sea, sun, sand and ... surgery // *Tourism Management*. Volume 27, Issue 6. pp. 1093-1100.
18. Connell J. (2013), Contemporary medical tourism: Conceptualisation, culture and commodification // *Tourism Management*. Volume 34. pp. 1-13.
19. Kirdar, Y., & Sezer, A. (2021), Cluster Mapping of Medical Tourism in Turkey and Regional Clustering for Health Tourism /*European Journal of Economics and Business Studies*. Vol. 2, Iss 1. pp. 190 - 201. doi: 10.26417/ejes.v4i1.p189-200
20. Habibi, A., Mousavi, M., Jamali, S.M., & Ale Ebrahim, N. (2021). Datasets for "A Bibliometric Study of Medical Tourism" paper [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5025655>
21. Horowitz, M. D., Rosensweig, J. A., & Jones, C. A. Medical tourism: globalization of the healthcare marketplace. *MedGenMed : Medscape general medicine*, 9(4), 2007. pp. 1–7.
22. Maneenetr, Thirachaya. Guidelines to Development Wellness Tourism in Roi-Kaen-San-Sin Cluster, Thailand // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. Vol 5. № 23. 2014. pp. 214–220. doi: 10.5901/mjss.2014.v5n23p214.
23. Medical Tourism Publications // <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/medical-tourism-publications-bibliometric-analys> date of access: 16.07.2023.
24. Rybicki, J. Dental Tourism in Hungary and Poland—Cluster and Business Model Perspective at Selected Locations // *Management in the time of networks, cross-cultural activities and flexible organizations*, 2017. pp. 231–245.
25. von Luxburg, U. A tutorial on spectral clustering. *Stat Comput* 17, 2007. pp. 395–416. doi: 10.1007/s11222-007-9033-z
26. Luo, B., Wilson, R.C., Hancock, E.R. Spectral Clustering of Graphs. In: Petkov, N., Westenberg, M.A. (eds) *Computer Analysis of Images and Patterns*. Lecture Notes in Computer Science, vol 2756. Springer. 2003. pp. 540–548. doi: 10.1007/978-3-540-45179-2_66

Статья поступила в редакцию: 24.05.2023, одобрена после рецензирования: 03.07.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 24 May 2023; approved after review: 3 July 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Николай Алексеевич Грудцын

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет; 197761, Россия, г. Санкт-Петербург, 10-ая линия В.О., 33–35
e-mail: poxes@yandex.ru

Nikolai A. Grudtsyn

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University; 33–35, 10th line, Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 197761, Russia;

Анатолий Иванович Чистобаев

доктор географических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры региональной политики и политической географии, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет; 197761, Россия, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О., 33–35
e-mail: chistobaev40@mail.ru

Anatoly I. Chistobaev

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor at the Department of Regional Politics and Political Geography, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg University; 33–35, 10th line, Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 197761, Russia

Вклад авторов

Грудцын Н.А. – идея, подготовка обзора литературы, сбор и обработка материала, написание статьи, оформление таблиц, подготовка графических материалов, техническое редактирование текста.

Чистобаев А.И. – идея, подготовка обзора литературы, написание статьи, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Nikolai A. Grudtsyn – the idea; literature review; data collection and processing; writing the article; preparation of the tables; preparation of the figures; technical editing of the text.

Anatoly I. Chistobaev – the idea; literature review; writing the article; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Картография и геоинформатика
Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК: 528.88

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-183-199

О ПРОЕКТИРОВАНИИ СХЕМЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АСПЕКТ

Анатолий Валерьевич Погорелов¹, Евгений Николаевич Киселев², Василий Леонидович Махонин³

^{1, 2} Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, г. Краснодар, Россия

¹ pogorelov_av@bk.ru, Scopus Author ID: 55536906800, Spin-код: 6274-3126, Author ID: 71246

² enkiselev@gmail.com, Scopus Author ID: 57213410193, ELibrary: Spin: 9845-1434, Author ID: 771926

³ soyagro15@yandex.ru, Scopus Author ID: 57221325860, ELibrary: Spin: 8294-4189, Author ID: 380581

Аннотация. Представлены результаты проектирования схемы особо охраняемых природных территорий в Краснодарском крае с применением спутниковых снимков и геоинформационного картографирования. В основе предлагаемого обоснования местоположения ООПТ лежит биогеоценотический подход. Геоботанический фактор расположения ООПТ учитывался посредством принятого флорогенетического районирования территории. Геоинформационный аспект исследования, являясь ключевым, включал в себя совокупность последовательных действий: определение местоположения перспективных ООПТ на основе данных спутниковой системы PROBA-V с пространственным разрешением 100 м (зональный масштаб проектирования), анализ типов растительного покрова и непокрытых растительностью земель на участках, предполагаемых ООПТ (локальный масштаб), картографирование и картометрические расчеты, создание ГИС ООПТ края. Проектирование схемы осуществлялось на основе анализа существующей сети ООПТ в Краснодарском крае из 424 объектов разного значения и категорий общей площадью 958,7 тыс. га, или 12,7 % территории региона. В схему включено 29 территорий общей площадью 24,6 тыс. га. В каждом из 10 флорогенетических районов края согласно биогеоценотическому подходу предлагается организация ООПТ. При проектировании схемы на зональном уровне наибольшее количество резерватов (14) предусмотрено во флорогенетических районах в равнинной части региона для сохранения обнаруженных фрагментов коренных природных комплексов – злаковоразнотравных и кустарниковых степей, байрачных дубрав, пойменных лесов. На местном уровне при определении контуров и размеров ООПТ приоритетом являлась представительность типов растительного покрова, установленная по спутниковым снимкам.

Ключевые слова: охраняемые природные территории, Краснодарский край, спутниковые снимки, дешифрирование, растительный покров, репрезентативность, геоинформационное картографирование

Для цитирования: Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л. О проектировании схемы особо охраняемых природных территорий в Краснодарском крае. Геоинформационный аспект // Географический вестник=Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С.183–199. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-183-199

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-183-199

ON THE DESIGN OF A SCHEME OF PROTECTED NATURAL AREAS IN THE KRASNODAR REGION. A GEOINFORMATION ASPECT

Anatoly V. Pogorelov¹, Evgeny N. Kiselev², Vasily L. Makhonin³

^{1, 2} Kuban State University, Krasnodar, Russia

³ V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia

¹ pogorelov_av@bk.ru, Scopus Author ID: 55536906800, Spin-код: 6274-3126, Author ID: 71246

² enkiselev@gmail.com, Scopus Author ID: 57213410193, ELibrary: Spin: 9845-1434, Author ID: 771926

³ soyagro15@yandex.ru, Scopus Author ID: 57221325860, ELibrary: Spin: 8294-4189, Author ID: 380581

Abstract. The paper presents the results of designing a scheme of protected natural areas in Krasnodar Territory (region) using satellite images and geoinformation mapping. The proposed substantiation of the location of protected areas is based on the biogeocenotic approach. The geobotanical factor of their location was taken into account through the accepted florogenetic zoning of the territory. The geoinformation aspect in the study was the key one and included a set of sequential actions: determining the location of promising protected areas based on data from the PROBA-V satellite system with a spatial resolution of 100 m (zonal design scale), analyzing the representativeness of vegetation cover types and unvegetated lands on sites of proposed protected areas (local scale), mapping and cartometric calculations, creation of a GIS of protected areas of the region. The design process was preceded by an



Картография и геоинформатика
Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

analysis of the existing network of protected areas of Krasnodar Territory comprising 424 objects of various significance and categories with a total area of 958.7 thousand hectares, or 12.7% of the region's territory. The scheme includes 29 territories with a total area of 24.6 thousand hectares. In each of the 10 florogenetic areas on the territory of the region, the organization of protected areas is proposed in accordance with the biogeocenotic approach. At the zonal level, the largest number of reserves (14) are designed in florogenetic areas in the flat part of the region in order to preserve the discovered fragments of primary natural complexes – grass-forb and shrub steppes, ravine oak forests, and floodplain forests. At the local level, in determining the contours and sizes of the protected areas, the priority was the representativeness of vegetation cover types, established from satellite images.

Keywords: protected natural areas, Krasnodar region, satellite images, interpretation, vegetation cover, representativeness, GIS mapping

For citation: Pogorelov, A.V., Kiselev, E.N., Makhonin, V.L. (2023). On the design of a scheme of protected natural areas in the Krasnodar region. A geoinformation aspect. *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp.183–199. DOI:10.17072/2079-7877-2023-4-183-199

Ведение. Постановка проблемы

Краснодарский край (площадь 75,55 тыс. км²) отличается высоким уровнем агропромышленного, промышленного и туристического развития; что обуславливает сильное антропогенное воздействие местных природных экосистем. Это проявляется, прежде всего, в замене естественных биогеоценозов агроценозами, природных ландшафтов селитебными и сельскохозяйственными ландшафтами. Наряду с преобразованием коренных ландшафтов весьма характерно для региона воздействие на природные экосистемы расчленения и фрагментации природного ландшафта на всей территории края [15, 16], особенно в степной и причерноморской частях. Последствия в масштабе региона известны: потеря видового разнообразия, снижение устойчивости экосистем, сокращение численности и исчезновение видов. С целью противостояния усиливающемуся антропогенному давлению возникает необходимость организации жизнеспособной сети региональных особо охраняемых природных территорий (ООПТ), имеющей огромный потенциал в плане сохранения и восстановления природных геосистем и биоразнообразия.

Планирование сети ООПТ в регионе выполняется посредством разработки схемы ООПТ Краснодарского края. Региональная схема ООПТ должна содержать информацию обо всех созданных и планируемых к созданию ООПТ федерального, регионального и местного значения. Основная цель проектирования схемы – обоснование развития и размещения ООПТ в регионе, обеспечивающих сохранение и восстановление особо ценных естественных экосистем на территории края, поддержание экологического равновесия и выявление закономерностей естественного развития природных комплексов и их компонентов. Обоснование предусматривает: 1) проведение анализа состояния существующей сети ООПТ Краснодарского края с уточнением их целевых природоохранных функций (эталонная, рефугиумная, резерватная, монументальная, эколого-стабилизирующая); 2) сбор и анализ данных о перспективных территориях для включения в схему; 3) обоснование предлагаемых ООПТ регионального уровня с учетом их репрезентативности и соответствия природоохранным функциям.

Проектирование ООПТ предполагает не только анализ территориального размещения существующих ООПТ, но и создание каталогов координат поворотных точек границ планируемых ООПТ, картографирование предлагаемых к созданию ООПТ, а также представление пространственных данных в форматах ГИС. Как видим, выполнение такого рода работ осуществляется в среде ГИС с использованием приемов геоанализа. В данной статье проектирование Схемы ООПТ Краснодарского края рассматривается в геоинформационном аспекте.

Обозначим задачи исследования:

- 1) охарактеризовать существующую сеть ООПТ в Краснодарском крае;
- 2) выполнить анализ состояния растительного покрова и типов земель в предлагаемых к организации ООПТ по данным спутниковых снимков;
- 3) оценить предлагаемые ООПТ с позиции репрезентативности, обеспечив включение в Схему ООПТ природных комплексов, наиболее полно отражающих разнообразие природы края;

Картография и геоинформатика
 Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

4) определить местоположение планируемых ООПТ с учетом дистанционного анализа структуры растительного покрова, а также категории земель и видов их разрешенного использования, схем территориального планирования; построить соответствующие карты.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили обобщенные авторами сведения об особо охраняемых природных территориях Краснодарского края при проектировании региональной Схемы ООПТ в 2022 г. Полученный массив данных в качестве информационной основы реализован при разработке ГИС «ООПТ Краснодарского края». На территории Краснодарского края в 2022 г. располагалось 424 ООПТ: 9 – федерального значения (суммарная площадь 455,02 тыс. га), 353 – регионального значения (503,13 тыс. га), 62 – местного значения (0,54 тыс. га). ООПТ в границах края охватывают 958,69 тыс. га, или 12,7 % всей территории. Соотношение площади федеральных и региональных ООПТ составляет 47,46 и 52,48 %; площадь ООПТ местного значения – около 0,05 %. Как видим, на долю региональных ООПТ в Краснодарском крае приходится 83 % их общего количества, при этом они занимают немногим более половины общей площади ООПТ в крае. Подобная ситуация с анализируемыми показателями региональных ООПТ, кстати, близка к ситуации для России в целом.

В проекте региональной Схемы ООПТ к организации предлагаются объекты регионального статуса. В Краснодарском крае ООПТ регионального уровня представлены следующими категориями: 1) природные парки, 2) государственные природные заказники, 3) памятники природы, 4) дендрологические парки и ботанические сады, 5) прибрежные природные комплексы, 6) лиманно-плавневые комплексы, 7) природные рекреационные зоны (табл. 1).

Таблица 1

Сведения об особо охраняемых природных территориях регионального значения в Краснодарском крае по состоянию на 2022 г.

Information on protected natural areas of regional importance in the Krasnodar region as of 2022

№ n/n	Категория ООПТ	Количество в настоящее время	Количество, предлагаемое к организации	Количество проектируемых ООПТ	Общее количество
1	Государственные природные заказники	21	3 (1)*	3	27
2	Памятники природы	317	17	7	341
3	Природные парки	4	-	3	7
4	Прибрежные природные комплексы	4	5	3	12
5	Дендрологические парки	1	1	1	3
7	Лиманно-плавневые комплексы	1	-	3	4
8	Природные рекреационные зоны	5	2	1	8
Итого		353	28 (1)*	21	402

*Примечание: в скобках указана существующая ООПТ с предлагаемым увеличением площади (заказник Степной)

При выборе участков резерватов необходимо учитывать фактор ландшафтной и геоботанической репрезентативности. Поскольку растительность часто выступает ключевым природоохранным признаком, полагаем целесообразным опираться при дифференциации региона на однородные в ландшафтном и флористическом плане участки (районы), т.е. на существующие схемы геоботанического районирования [15]. Из распространенных схем флористического районирования мы прибегли к схеме [3] (рис. 1, табл. 2), принципиально не отличающейся от районирования, предложенного [4; 6; 14]. Схемы флористического районирования, в сущности, отражают особенности зональной и вертикальной структур ландшафтов в регионе.

Картография и геоинформатика
 Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

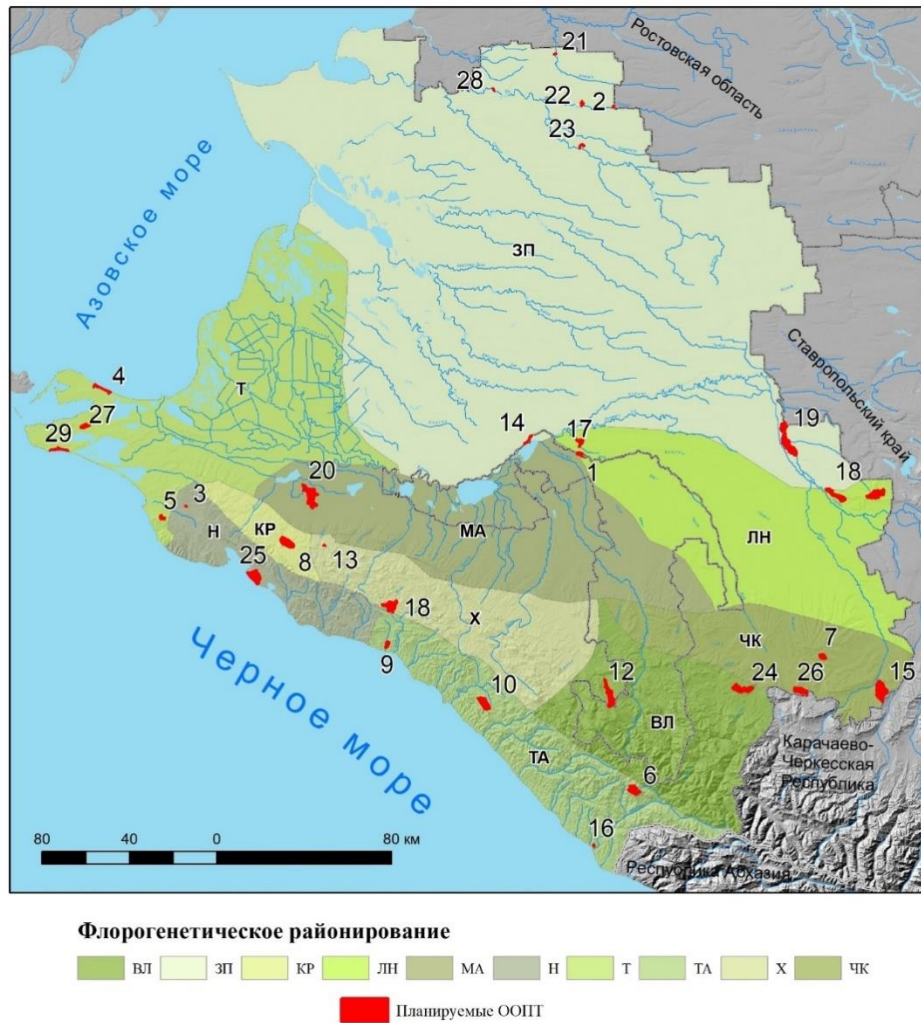


Рис. 1. Флорогенетические районы, выделяемые на исследуемой территории согласно [3].

Нумерация планируемых ООПТ дана согласно табл. 2

Fig. 1. Florogenetic areas identified in the study area according to [3].

The numbering of the planned protected areas is given according to Table 2

Картография и геоинформатика
Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

Таблица 2

Флорогенетические районы согласно [3] на территории Краснодарского края и Республики Адыгея
 Florogenetic areas according to [Galushko, 1980] in the Krasnodar region and the Republic of Adygea

№	Флорогенетические районы	Индекс района	Площадь, тыс. км ²	Планируемые ООПТ (номер на карте, рис. 1)
1	Таманский	Т	9,70	Балки горы Педенкова, гора Тиздар (4); Бужорский лес (5); Целинные степи кургана Близнецы, горы Боюр-Гора и балка Общественная (27); Южно-Таманский берег (29); всего 4
2	Западно-Предкавказский	ЗП	35,79	Балка Красногоровка (2); Коренной берег реки Кубань (14); Новокубанский (19); урочище Алексеевское (левый берег р. Эльдбузд) (21); Урочище Новомихайловское (22); Урочище Шевченко (23); Шкуринские балки реки Ея (28); всего 7
3	Крымский	КР	0,93	Гора Шизе и хребет Грузинка (8); всего 1
4	Майкопско-Абинский	МА	8,65	Предгорный природный лесной комплекс (20); всего 1
5	Лабинско-Невинномысский	ЛН	8,10	Байрачные дубравы, злаковоразнотравные степи и курганы коренного берега реки Лаба (1); Степной (11); Кустарниковый участок степи в балках реки Малый Зеленчук (17); всего 3
6	Чамлыкско-Кубанский	ЧК	3,93	Гора Паршивая (7); Круглик (15); Хребет Экепце-Гадык (Черноморский) (26); всего 3
7	Хадыженский	Х	4,14	Каменные грибы (13); Массив пихты Нордмана в долине реки Дефань (18); всего 2
8	Верхне-Лабинский	ВЛ	5,62	Долина реки Курджипс и плато Утюг (12); Хребет Герпегем (2)
9	Новороссийский	Н	2,07	Балка Натухаевская; Хребет Туапхат (24); всего 2
10	Туапсинско-Адлеровский	ТА	4,45	Высокогорный массив Ачишхо (6); Гора Школьная (9); Горный узел Большое Псеушхо (10); Кудепстинский лесопарк (16); всего 4

Современным информативным источником сведений о растительном покрове служат спутниковые снимки, открывающие новые возможности дистанционной оценки состояния растительности. Из множества исследований, посвященных распознаванию и картографированию растительного покрова / типов земной поверхности (land cover) на основе материалов спутниковых съемок, сошлемся на публикации, отражающие распространенную методологию и результаты картографирования [2; 5; 17], а также опыт дешифрирования типов земной поверхности в Краснодарском крае [1; 7; 9–13, 20]. Использованный в настоящей работе продукт Copernicus Global Land Cover Европейского космического агентства представляет собой глобальную ежегодно обновляемую карту изменения почвенно-растительного покрова (<https://lcviewer.vito.be/>)¹. Данная карта, опирающаяся на апробированную методику распознавания типов растительного покрова [19, 21] и, к тому же, отличающаяся актуализацией, широко применяется как в мире, так и в России [2, 5, 11, 12] для мониторинга состояния и динамики наземных экосистем. Основой для построения карты (на текущий момент версии

¹ <https://lcviewer.vito.be/> (дата обращения 03.03.2023)

Картография и геоинформатика
 Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

3.0) служат снимки спутника PROBA-V (Project for On-Board Autonomy-Vegetation) с разрешением 100 м. Спутник обеспечивает преемственность миссии спутников SPOT-4 и SPOT-5. Основное предназначение спутника – получение сведений о состоянии растительного покрова, мониторинг урожая, разнообразные исследования биосферы.

Всего в соответствии с Copernicus Global Land Cover [18] в классификации представлено 22 класса растительного покрова (land cover); из них на территории Краснодарского края указано 16 классов (рис. 2, табл. 3). На карте (рис. 2) и в табл. 3 мы сочли необходимым сохранить оригинальные коды и описания типов растительного покрова и непокрытых растительностью земель [18]. Растительность выступает индикатором ландшафтов, прежде всего, через флористические (видовой состав) и биохимические признаки [8]. Известно, что биохимические особенности пигментов определяют цвет растений, что способствует классификации растительного покрова по данным спектральной съемки.



Рис. 2. Типы растительного покрова на территории Краснодарского края согласно [18]. Коды в легенде даны согласно табл. 3
 Fig. 2. Types of vegetation cover on the territory of the Krasnodar region according to [18]. The codes in the legend are given according to Table 3

Таблица 3

Типы растительного покрова на территории Краснодарского края
Types of vegetation cover in the Krasnodar region

Код	Название	Название (англ.)	Описание согласно [18]	Площадь, га	Доля от площади края, %
20	Лиственные кустарники	Shrubs	These are woody perennial plants with persistent and woody stems and without any defined main stem being less than 5 m tall. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.	11 088	0,15
30	Травянистая растительность (луга)	Herbaceous vegetation	Plants without persistent stem or shoots above ground and lacking definite firm structure. Tree and shrub cover is less than 10 %.	487 035	6,45
40	Пахотные земли	Cultivated and managed vegetation/agriculture (cropland)	Lands covered with temporary crops followed by harvest and a bare soil period (e.g., single and multiple cropping systems). Note that perennial woody crops will be classified as the appropriate forest or shrub land cover type.	4 163 932	55,18
50	Урбанизированные территории	Urban / built up	Land covered by buildings and other manmade structures	258 748	3,43
60	Пустоши / редкая растительность	Bare / sparse vegetation	Lands with exposed soil, sand, or rocks and never has more than 10 % vegetated cover during any time of the year	8 669	0,11
70	Снежники и ледники	Snow and Ice	Lands under snow or ice cover throughout the year.	1 165	0,02
80	Постоянные водоемы	Permanent water bodies	lakes, reservoirs, and rivers. Can be either fresh or salt-water bodies.	133 788	1,77
90	Травянистые водно-болотные угодья	Herbaceous wetland	Lands with a permanent mixture of water and herbaceous or woody vegetation. The vegetation can be present in either salt, brackish, or fresh water.	441 639	5,85
100	Мхи и лишайники	Moss and lichen	Moss and lichen	77	0,001
111	Вечнозеленые хвойные леса	Closed forest, evergreen needle leaf	Tree canopy >70 %, almost all needle leaf trees remain green all year. Canopy is never without green foliage	27 641	0,37
114	Сомкнутый лес, лиственный широколиственный	Closed forest, deciduous broad leaf	Tree canopy >70 %, consists of seasonal broadleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods	1 523 866	20,19
115	Сомкнутый лес, смешанный	Closed forest, mixed	Closed forest, mix of types	101 527	1,35
116	Сомкнутый лес, неопределенный	Closed forest, unknown	Closed forest, not matching any of the other definitions	64 240	0,85
124	Открытый лес, широколиственный лес	Open forest, deciduous broad leaf	top layer- trees 15-70 % and second layer- mixed of shrubs and grassland, consists of seasonal broadleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods	13 985	0,19
125	Открытый лес, смешанный	Open forest, mixed	Open forest, mix of types	71 808	0,95
126	Открытый лес, неопределенный	Open forest, unknown	Open forest, not matching any of the other definitions	237 388	3,15

Картография и геоинформатика
Погорелов А.В., Киселев Е.Н., Махонин В.Л.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе проектирования Схемы ООПТ в Краснодарском крае в 2022 г. к организации рассматривалось более 80 территорий. При проектировании опорной сети ООПТ в регионе следует реализовать, на наш взгляд, биогеоценотический (экосистемный) подход, позволяющий опираться на зональные типы биогеоценозов, тем самым охватить региональное биоразнообразие. Действительно, мероприятия по организации и управлению репрезентативной сети ООПТ могут успешно решаться на биогеоценологическом уровне [15]. В процессе анализа существующей сети ООПТ и биогеоценотического подхода количество предлагаемых к организации ООПТ существенно сократилось примерно вдвое. Исходя из состояния растительного покрова наиболее актуально сохранение природных комплексов кубанской степи (злаковоразнотравные и кустарниковые степи, байрачные дубравы) в пределах Западно-Предкавказского, Таманского и Лабинско-Невинномысского флорогенетических районов (рис. 1, табл. 2). Последние подверглись радикальному антропогенному преобразованию [11, 12] и, по сути, представлены на подавляющей части своей территории возделываемыми землями (рис. 2), агроценозами. Окончательный перечень перспективных ООПТ в количестве 29 объектов сформирован на основе оценки состояния и представительности типов растительного покрова и земной поверхности по данным спутниковых съемок на выбранных участках, а также сведений о категории данных земель и видах их разрешенного использования.

В предполагаемых границах каждого планируемого резервата выполнен расчет представительности типов растительного покрова (табл. 4). Таким образом, репрезентативность территории оценивалась на двух уровнях: зональном (распределение планируемых ООПТ внутри региона) и локальном (оценка флористического разнообразия внутри ООПТ). Исследования флористического разнообразия на локальном уровне сопровождались аэрофотосъемкой с применением квадрокоптера DJI Mavic 2 Pro. В качестве примеров выполненных исследований воспользуемся территориями планируемых ООПТ в Западно-Предкавказском (природный заказник «Новокубанский») и Чамлыкско-Кубанском (памятник природы «Гора Паршивая», природный заказник «Хребет Экепце-Гадык (Черноморский)») флорогенетических районах.

Типы растительного покрова, представленные в границах планируемых ООПТ
Vegetation cover types within the boundaries of the planned protected areas

№ n/n	Название ООПТ	Площадь, га	Площадь разных типов растительного покрова, га (коды типов – см. табл. 3)													
			20	30	40	50	60	80	90	111	114	115	116	124	125	126
1	Байрачные дубравы, злако- воразнотравные степи и кур- ганы коренного берега реки Лаба	181	-	2	10	-	-	1	3	1	59	67	4	-	10	25
2	Балка Красногоровка	21	-	8	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Балка Натухаевская	19	3	5	2	1	-	-	-	-	1	-	0	1	4	3
4	Балки горы Педенкова, гора Тиздар	146	-	101	17	-	0	11	11	-	-	-	-	-	-	6
5	Бужорский лес	195	0	1	4	1	-	-	-	-	158	2	1	3	13	13
6	Высокогорный массив Ачи- шхо	1087	-	1026	-	-	1	-	-	8	25	-	20	5	-	3
7	Гора Паршивая	471	-	207	123	-	-	-	24	-	29	2	25	-	1	60
8	Гора Шизе и хребет Грузин- ка	1604	-	1	20	-	-	-	1	-	1537	2	13	7	14	11
9	Гора Школьная	266	-	-	1	2	-	-	-	-	237	4	13	-	5	4
10	Горный узел Большое Псе- ушко	1546	-	4	-	-	-	-	-	-	1535	2	4	-	-	-
11	Степной	2897	-	1898	991	-	-	-	-	-	-	1	2	-	2	4
12	Долина реки Курджипис и плато Утюг	1548	-	93	-	0	-	-	-	331	724	382	17	-	1	-
13	Каменные грибы	26	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-
14	Коренной берег реки Кубань	108	-	9	9	-	-	9	5	-	6	25	3	-	11	31
15	Круглик	2716	-	781	5	-	-	-	3	-	1726	1	90	4	4	103
16	Кудепстинский лесопарк	31	-	-	-	0	-	-	-	-	29	1	1	-	-	-
17	Кустарниковый участок сте- пи в балках реки Малый Зе- ленчук	114	-	1	21	-	-	1	11	-	10	9	11	-	21	30
18	Массив пихты Нордмана в долине реки Дефань	1287	-	-	-	-	-	-	-	-	1287	-	-	-	-	-
19	Новокубанский	3075	-	45	161	2	-	7	111	-	1841	443	60	4	128	273
20	Предгорный природный лес- ной комплекс	2309	1	13	66	-	-	-	57	-	1936	108	39	13	43	33
21	Урочище Алексеевское (ле- вый берег р. Эльдбузд)	14	-	4	10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-

№ п/п	Название ООПТ	Площадь, га	Площадь разных типов растительного покрова, га (коды типов – см. табл. 3)													
			20	30	40	50	60	80	90	111	114	115	116	124	125	126
22	Урочище Новомихайловское	64	-	7	32	-	-	-	9	-	-	3	1	-	9	4
23	Урочище Шевченко	70	-	20	24	-	-	-	11	-	-	-	1	-	7	9
24	Хребет Герпегем	1213	-	627	-	-	-	-	-	-	509	-	65	1	-	12
25	Хребет Туапхат	1915	2	5	-	8	1	0	0	171	1163	470	3	19	41	33
26	Хребет Экепце-Гадык (Черноморский)	1027	-	313	5	-	-	-	-	-	569	8	47	7	18	61
27	Целинные степи кургана Близнецы, горы Боюр-Гора и балки Общественная	338	-	322	13	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
28	Шкуринские балки реки Ея	13	-	6	6	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	1
29	Южно-Таманский берег	198	-	188	1	-	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

На территории предлагаемого к организации государственного природного заказника «Хребет Экепце-Гадык (хребет Черноморский)» на площади 1026,7 га установлено 8 типов растительного покрова (рис. 3), подтвержденных данными аэрофотосъемки (рис. 4). Наиболее представительными типами являются сомкнутый широколиственный лес (569 га) и луга (313 га), отражающие зональные биогеоценотические условия. При этом распределение растительности явно находится под влиянием экспозиционных различий (рис. 3).

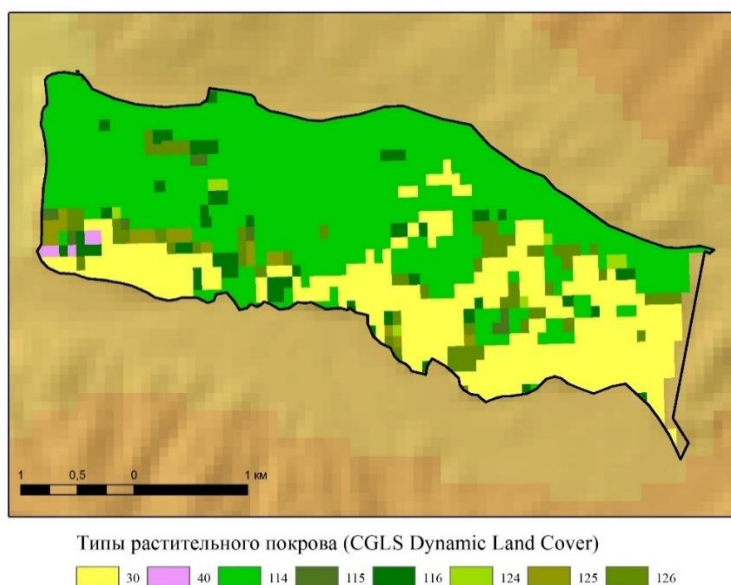


Рис. 3. Типы растительного покрова в границах планируемой ООПТ в заказнике «Экепце-Гадык (хребет Черноморский)». Коды в легенде даны согласно табл. 3

Fig. 3. Types of vegetation cover within the boundaries of the planned protected area 'Ekeptse-Gadyk (Chernomorsky Ridge)' Reserve. The codes in the legend are given according to Table 3

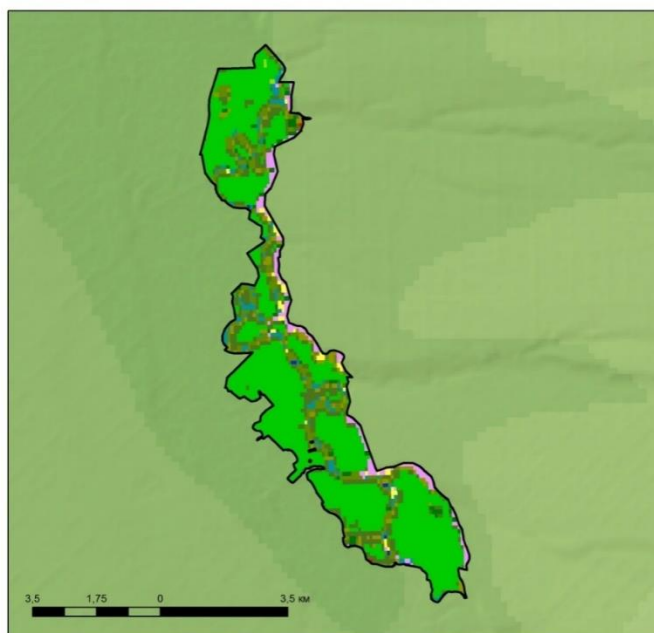


Рис. 4. Хребет Экепце-Гадык (Черноморский), западная часть (1 июня 2022 г.)
 Fig. 4. Ridge Ekeptse-Gadyk (Chernomorsky), western part (June 1, 2022)

В границах планируемого государственного природного заказника «Новокубанский» на площади 3075,2 га расположена экосистема пойменного леса в долине р. Кубани, представленная 11 типами растительного покрова с доминирующим сомкнутым широколиственным

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

лесом (1841 га) (рис. 5, 6). Наряду с ним представлены характерные для поймы травянистые водно-болотные угодья (111 га). Фоном пойменного леса выступают агроценозы с пашнями.



Типы растительного покрова (CGLS Dynamic Land Cover)

30	50	90	115	124	126
40	80	114	116	125	

Рис. 5. Типы растительного покрова в границах планируемой ООПТ в заказнике «Новокубанский». Коды в легенде даны согласно табл. 3

Fig. 5. Types of vegetation cover within the boundaries of the planned 'Novokubansky' Reserve. The codes in the legend are given according to Table 3



Рис. 6. Характерный ландшафт поймы р. Кубани в районе планируемого к организации заказника «Новокубанский». 31 мая 2022 г.

Fig. 6. Typical landscape of the Kuban River floodplain in the area of 'Novokubansky' Reserve planned for organization. May 31, 2022

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

На территории предлагаемого к организации памятника природы комплексного профиля «Гора Паршивая» на 471,2 га выявлено 8 типов растительного покрова, из которых наибольшую площадь занимают травянистая растительность (207 га), пахотные земли (123 га), сочетающиеся с характерными для предгорьев Западного Кавказа фрагментами лесной растительности (рис. 7, 8).

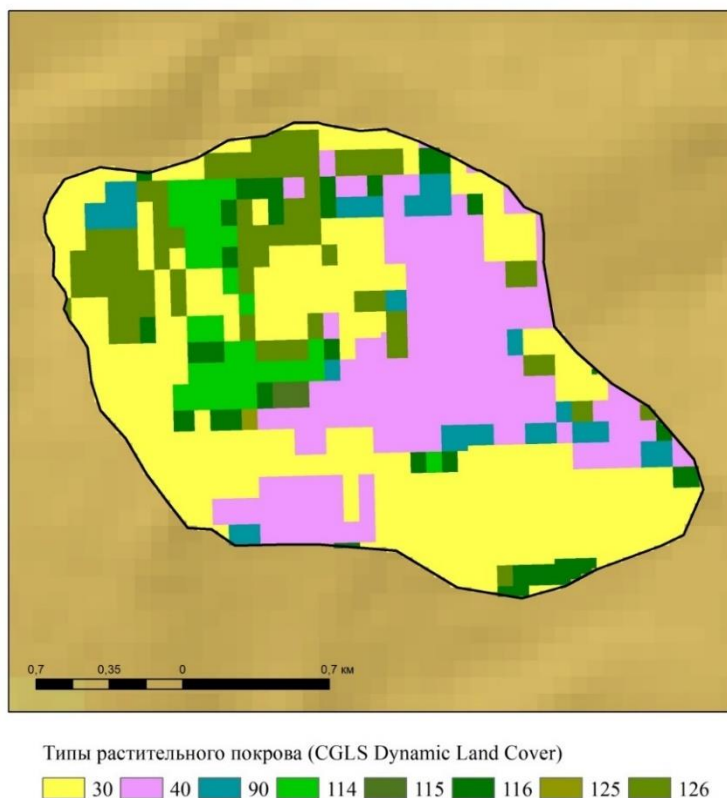


Рис. 7. Типы растительного покрова в границах планируемой ООПТ памятника природы «Гора Паршивая».

Коды в легенде даны согласно табл. 3

Fig. 7. Types of vegetation cover within the boundaries of the planned protected area 'Mount Parshivaya' natural monument.
 The codes in the legend are given according to Table 3



Рис. 8. Гора Паршивая, восточные склоны. 16 мая 2022 г.

Fig. 8. Mount Parshivaya, eastern slopes. May 16, 2022

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

На основе продемонстрированных подходов окончательно сформировался перечень территорий (табл. 5), вошедших в схему ООПТ Краснодарского края. В соответствии с биогеоценотическим (экосистемным) принципом в каждом из выделяемых флорогенетических районов планируется организация ООПТ (рис. 1). Наибольшее количество ООПТ предусмотрено во флорогенетическом районе с максимальной площадью – Западно-Предкавказском (35,79 тыс. км²), где предлагается к организации 7 ООПТ суммарной площадью 3366 га. В пределах Таманского флорогенетического района (9,70 тыс. км²) планируется 4 ООПТ общей площадью 877 га, в Лабинско-Невинномысском районе (8,1 тыс. км²) – 3 ООПТ суммарной площадью 3192 га. Сравнительно небольшие площади перспективных резерватов в указанных районах отражают объективные ограничения выбора природоохранных территорий в условиях тотальной распашки. Исключение составляют участки заказника Новокубанский и предлагаемого к расширению заказника Степной (рис. 1, табл. 5). Наименьшее количество ООПТ (1) предусмотрено во флорогенетическом районе с наименьшей площадью – Крымском (0,93 тыс. км²) (рис. 1). При проектировании ООПТ на территории Майкопско-Абинского, Крымского, Чамлыкско-Кубанского, Хадыженского, Верхне-Лабинского, Туапсинско-Адлеровского флорогенетических районов принимались во внимание сравнительная сохранность коренных горно-предгорных ландшафтов, а также достаточно развитая существующая сеть ООПТ с наличием весьма крупных резерватов – Кавказского государственного природного биосферного заповедника им. Х.Г. Шапошникова (площадь 182,2 тыс. га в границах Краснодарского края), Сочинского национального парка (208,6 тыс. га).

Таблица 5

Сведения о планируемых к организации ООПТ
 Information about protected areas planned for organization

<i>N n/n</i>	<i>Наименование природной территории</i>	<i>Площадь, га</i>	<i>Категория</i>	<i>Профиль</i>
1	Байрачные дубравы, злаковоразнотравные степи и курганы коренного берега реки Лаба	181,5	Прибрежный природный комплекс	–
2	Балка Красногоровка	20,6	Памятник природы	Комплексный
3	Балка Натухаевская	18,9	Памятник природы	Комплексный
4	Балки горы Педенкова, гора Тиздар	145,2	Прибрежный природный комплекс	–
5	Бужорский лес	195,2	Памятник природы	Ботанический
6	Высокогорный массив Ачишхо	1086,7	Памятник природы	Комплексный
7	Гора Паршивая	471,2	Памятник природы	Комплексный
8	Гора Шизе и хребет Грузинка	1601,5	Памятник природы	Комплексный
9	Гора Школьная	266,1	Природная рекреационная зона	–
10	Горный узел Большое Псеушхо	1545,2	Памятник природы	Комплексный
11	Заказник Степной	2897,3	Государственный природный заказник	Комплексный (ландшафтный)
12	Долина реки Курджипис и плато Утюг	1658,6	Памятник природы	Комплексный
13	Каменные грибы	26,2	Памятник природы	геологический
14	Коренной берег реки Кубань	108,3	Прибрежный природный комплекс	–
15	Круглик	2716,6	Государственный природный заказник	Комплексный (ландшафтный)
16	Кудепстинский лесопарк	30,5	Дендрологический парк	–
17	Кустарниковый участок степи в балках реки Малый Зеленчук	114,7	Памятник природы	Комплексный
18	Массив пихты Нордмана в долине реки Дефань	1286,6	Памятник природы	Ботанический
19	Новокубанский	3075,2	Государственный природный заказник	Комплексный (ландшафтный)
20	Предгорный природный лесной комплекс	2304,7	Памятник природы	Ботанический
21	Урочище Алексеевское (левый берег р. Эльдбузд)	14,4	Памятник природы	Комплексный

Картография и геоинформатика
Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

Окончание табл. 5

<i>N n/n</i>	<i>Наименование природной территории</i>	<i>Площадь, га</i>	<i>Категория</i>	<i>Профиль</i>
22	Урочище Новомихайловское	64,8	Памятник природы	Комплексный
23	Урочище Шевченко	70,9	Памятник природы	Комплексный
24	Хребет Герпегем	1213,7	Природная рекреационная зона	
25	Хребет Туапхат	1912,4	Прибрежный природный комплекс	–
26	Хребет Экепце-Гадык (Черноморский)	1026,7	Государственный природный заказник	Комплексный (ландшафтный)
27	Целинные степи кургана Близнецы, горы Бююр-Гора и балки Общественная	336,9	Памятник природы	Комплексный
28	Шкуринские балки реки Ея	12,4	Памятник природы	Комплексный
29	Южно-Таманский берег	197,1	Прибрежный природный комплекс	–

Заключение

1. Краснодарский край, несмотря на относительно малую для России площадь, отличается высоким экосистемным разнообразием при значительном антропогенном преобразовании ландшафтов. Особо охраняемые природные территории в Краснодарском крае охватывают 12,7 % его площади, что меньше соответствующего показателя для России (14 %). Из 424 ООПТ на территории Краснодарского края на долю региональных ООПТ приходится 353 (83 %); занимаемая ими площадь составляет 52,5 % общей площади всех ООПТ в крае. Эффективное управление природопользованием на уровне региона подразумевает совершенствование сети ООПТ в крае на основе ландшафтной репрезентативности и биогеоценотического подхода.

2. Предложены подходы к обоснованию территориального положения и границ ООПТ, опирающиеся на материалы спутниковых снимков и глобальные классификации почвенно-растительного покрова. При проектировании схемы ООПТ в Краснодарском крае репрезентативность территорий оценивалась на двух масштабных уровнях: зональном – с учетом флорогенетического районирования, локальном – с учетом представительности типов растительного покрова по данным спутниковых снимков PROBA-V (пространственное разрешение 100 м) и результатов дистанционного распознавания типов растительного покрова (всего 16 типов). При этом растительный покров выступал индикатором ландшафтов.

3. Использование спутниковых изображений для определения типов растительного покрова и земель в границах предлагаемых ООПТ, безусловно, усиливает возможности всестороннего и обоснованного оценивания состояния природных экосистем и репрезентативности участков местности.

4. На территории региона в каждом из 10 флорогенетических районов планируется организация ООПТ. Предлагаемая схема ООПТ, включающая 29 территорий общей площадью 24,5 тыс. га, охватывает все зональные типы биогеоценозов в регионе.

Список источников

1. Антоненко М.В., Погорелов А.В., Елецкий Ю.Б. Мониторинг Куликово-Курчанской группы лиманов (дельта реки Кубани) в районе лицензионного участка ООО «НК «Приазовнефть» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 11. С. 55–63.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1980. Т. 3. 327 с.
4. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа. Баку, 1936. 269 с.
5. Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 282–286.
6. Иванов А.Л. *Conspectus florum Caucasi Rossicae (plantae vasculares)* // Конспект флоры Российского Кавказа (сосудистые растения). Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2019. 341 с.

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

7. Киселев Е.Н., Погорелов А.В., Гаркуша С.В., Скаженник М.А., Ковалев В.С., Харитонов Е.М., Кизинек С.В., Чижиков В.Н., Пшеницына Т.С. Исследование посевов риса в Краснодарском крае по данным дистанционного зондирования (предварительный анализ) // Рисоводство. 2020. № 1 (46). С. 34–43.
8. Обуховский Ю.М. Ландшафтная индикация. Минск, 2008. 269 с.
9. Погорелов А.В., Липилин Д.А. Оценка структуры землепользования в Краснодарском крае по данным спутниковых снимков // Наука Кубани. 2012. № 3. С. 15–22.
10. Погорелов А.В., Липилин Д.А. О дешифрировании объектов землепользования по космическим снимкам на территории Краснодарского края // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2013. № 2(35). С.46–51.
11. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Дудкина А.А., Копанева О.В. О техногенных преобразованиях речной сети на Азово-Кубанской равнине (реки Челбас, Албаша) // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2022; 28(2): 567–582. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-567-582
12. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Киселев Е.Н. Об изменении гидрографических характеристик рек в степных агроландшафтах за последние десятилетия (на примере бассейна р. Бейсуг, Краснодарский край) // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2021; 27(4): 19–32. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32
13. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Лубенцова А.А. Оценка многолетних изменений зеленых насаждений города Краснодара по данным спутниковых снимков // Региональные географические исследования: сб. науч. тр. Краснодар, 2017. С. 119–137.
14. Середин Р.М. Геоботаническое районирование: Северный Кавказ // Растительные ресурсы. Ч. 1. Леса. Ростов н/Дону, 1980. С. 18–40.
15. Скрипник И.А., Никифоров Д. М., Скрипник И. И. Региональные ООПТ и сохранение биоразнообразия на территории Краснодарского края // Экосистемы, их оптимизация и охрана. Симферополь: Изд-во ТНУ, 2014. Вып. 11. С. 50–56.
16. Щуров В.И., Замотайлов А.С. Опыт разработки регионального списка охраняемых видов насекомых на примере Краснодарского края и Республики Адыгея. Чтения памяти Н.А. Холодковского. Вып. 59 (2). СПб.: Изд-во Зоологического ин-та РАН, 2006. 215 с.
17. Bossard M., Feranec J., Otahel J. CORINE Land cover technical guide – Addendum 2000 / Copenhagen: EEA, 2000. 105 p.
18. Copernicus Global Land Operations. Product Manual [Электронный ресурс]. URL: https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1_PUM_LC100m-V3_I3.4.pdf (дата обращения: 24.05.2023)
19. Olofsson P., Stehman Stephen V., Woodcock Curtis E., Sulla-Menashe Damien, Sibley Adam M., Newell Jared D., Friedl Mark A., Herold Martin. A global land-cover validation data set, part I: fundamental design principles, International Journal of Remote Sensing, 2012, pp. 5768–5788, DOI: 10.1080/01431161.2012.674230.
20. Pogorelov A.V., Kiselev E.N., Boyko E.S., Krylenko V.V. Remote Sensing of rice crop areas with UAVs data: Krasnodar region, Russia // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 8. Сер. “Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2020” PP. 115–124.
21. Tsendbazar N., Herold M., Li L., Tarko A., de Bruin S., Masiliunas D., Lesiv M., Fritz S., Buchhorn M., Smets B., Van De Kerchove R., Duerauer M. Towards operational validation of annual global land cover maps // Remote Sensing of Environment. V. 266. 2021, 112686. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112686.

References

1. Antonenko, M.V., Pogorelov, A.V., Eletskiy, Yu.B. (2015), Monitoring of the Kulikovo-Kurchanskaya group of estuaries (delta of the Kuban River) in the area of the licensed area of LLC NK Priazovneft. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, no. 11, pp. 55–63.
2. Bartalev, S.A., Egorov, V.A., Zharko, V.O., Lupyan, E.A., Plotnikov, D.E., Khvostikov, S.A., Shabanov, N.V. (2016), *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia], Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, Moscow, Russia.
3. Galushko, A.I. (1980), *Flora Severnogo Kavkaza* [Flora of the North Caucasus], RGU, Rostov-na-Donu, Russia.
4. Grossgeym, A.A. (1936), *Analiz flory Kavkaza. Baku* [Analysis of the flora of the Caucasus], Baku, USSR.
5. Egorov, V.A., Bartalev, S.A., Kolbudaev, P.A., Plotnikov, D.E., Khvostikov, S.A. (2018) Vegetation map of Russia obtained from the data of the Proba-V satellite system. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 15, no. 2, pp. 282–286.
6. Ivanov, A.L. (2019), *Conspectus florum Caucasi Rossicae (plantae vasculares) / Konspekt flory Rossiyskogo Kavkaza (sosudistyye rasteniya)* [Conspectus florum Caucasi Rossicae (plantae vasculares)]. Izd-vo SKFU, Stavropol', Russia.
7. Kiselev, E.N., Pogorelov, A.V., Garkusha, S.V., Skazhennik, M.A., Kovalev, V.S., Kharitonov, E.M., Kizinek, S.V., Chizhikov, V.N., Pshenitsyna, T.S. (2020), Study of rice crops in the Krasnodar Territory according to remote sensing data (preliminary analysis). *Risovodstvo*, no. 1 (46), pp. 34–43.
8. Obukhovskiy, Yu.M. (2008), *Landshaftnaya indikatsiya* [Landscape indication], Minsk, Belarus.
9. Pogorelov, A.V., Lipilin, D.A. (2012), Estimation of the land use structure in the Krasnodar Territory according to satellite imagery. *Nauka Kubani*, no. 3, pp. 15–22.
10. Pogorelov, A.V., Lipilin, D.A. (2013), On deciphering land-use objects from satellite images in the territory of the Krasnodar Territory. *Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 2(35), pp. 46–51.
11. Pogorelov, A.V., Lipilin, D.A., Dudkina, A.A., Kopanava, O.V. (2022), On technogenic transformations of the river network in the Azov-Kuban plain (rivers Chelbas, Albashi). *Proceedings of the International Conference «InterKarto. InterGIS»*, no. 28(2), pp. 567–582. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-567-582.
12. Pogorelov, A.V., Lipilin, D.A., Kiselev, E.N. (2021), On changes in the hydrographic characteristics of rivers in the steppe agricultural landscapes over the past decades (on the example of the Beisug river basin, Krasnodar Territory). *Proceedings of the International Conference «InterKarto. InterGIS»*, no. 27(4), pp. 19–32. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32.

Картография и геоинформатика
 Погорелов А. В., Киселев Е. Н., Махонин В. Л.

13. Pogorelov, A.V., Lipilin, D.A., Lubentsova, A.A. (2017), Assessment of long-term changes in green spaces in the city of Krasnodar according to satellite imagery. *Regional'nye geograficheskie issledovaniya. Sbornik nauchnykh trudov*, pp. 119–137.
14. Seredin, R. M. (1980), Geobotanical zoning: North Caucasus. *Rastitel'nye resursy*, vol. 1, pp. 18–40.
15. Skripnik, I.A., Nikiforov, D.M., Skripnik, I.I. (2014), Regional PAs and Biodiversity Conservation in the Krasnodar Territory. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, no. 11, pp. 50–56.
16. Shchurov, V.I., Zamotaylov, A.S. (2006), Опыт разработки regional'nogo spiska okhranyaemykh vidov nasekomykh na primere Krasnodarskogo kraya i Respubliki Adygeya [Experience in developing a regional list of protected insect species on the example of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea], *Chteniya pamyati N.A. Kholodkovskogo*, no. 59 (2), Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russia.
17. Bossard, M., Feranec, J., Otahel J. (2000), CORINE Land cover technical guide – Addendum 2000, EEA, Copenhagen, Denmark.
18. Copernicus Global Land Operations. Product Manual, available at: https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1_PUM_LC100m-V3_I3.4.pdf (Accessed May 24 2023)
19. Olofsson, P., Stehman, S.V., Woodcock C.E., Sulla-Menasha D., Sibley A.M., Newell J.D., Friedl M.A., Herold M.A. (2012), A global land-cover validation data set, part I: fundamental design principles, *International Journal of Remote Sensing*, pp. 5768–5788, DOI: 10.1080/01431161.2012.674230.
20. Pogorelov, A.V., Kiselev, E.N., Boyko, E.S., Krylenko, V.V. (2020), Remote Sensing of rice crop areas with UAVs data: Krasnodar region, Russia. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 8. Сер. "Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2020"*, pp. 115–124.
21. Tsendbazar, N., Herold M., Li, L., Tarko, A., de Bruin, S., Masiliunas, D., Lesiv, M., Fritz, S., Buchhorn, M., Smets, B., Van De Kerchove, R., Duerauer, M. (2021), Towards operational validation of annual global land cover maps. *Remote Sensing of Environment*, vol. 266, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112686.

Статья поступила в редакцию: 30.05.2023, одобрена после рецензирования: 04.09.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 30 May 2023; approved after review: 4 September 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Анатолий Валерьевич Погорелов

доктор географических наук, профессор,
 Кубанский государственный университет;
 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
 e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Anatoly V. Pogorelov

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
 Kuban State University;
 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russia
 e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Евгений Николаевич Киселев

кандидат географических наук, доцент,
 Кубанский государственный университет;
 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
 e-mail: enkiselev@gmail.com

Evgeny N. Kiselev

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
 Kuban State University;
 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russia

Василий Леонидович Махонин

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный
 сотрудник лаборатории агрохимии агротехнологического
 отдела,
 Всероссийский научно-исследовательский институт
 масличных культур им. В.С. Пустовойта;
 350038, Россия, г. Краснодар, ул. Филатова, 17
 e-mail: soyagro15@yandex.ru

Vasily L. Makhonin

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, V.S.
 Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops;
 17, Filatova st., Krasnodar, 350038, Russia

Вклад авторов

Погорелов А.В. – идея статьи, визуализация данных, написание статьи.
 Киселев Е.Н. – сбор, обработка и визуализация данных, написание статьи.
 Махонин В.Л. – написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Anatoly V. Pogorelov – the idea of the article; data visualization; writing the article.
 Evgeny N. Kiselev – data collection, processing, and visualization; writing the article.
 Vasily L. Makhonin – writing the article.

The authors declare no conflict of interest.

Научное издание

Географический вестник
Geographical Bulletin

Выпуск №4(67)/2023

Редактор *Н.И. Стрекаловская*
Корректор *А.В. Цветкова*
Компьютерная верстка *М.К. Пехтерева*

Подписано в печать 21.12.2023. Выход в свет 22.12.2023.
Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500 экз. Заказ № 164.

Пермский государственный национальный исследовательский университет
Управление издательской деятельности
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-66-36

Отпечатано в типографии ПГНИУ
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-65-47

Подписка на журнал осуществляется через сайт подписного агентства «Урал-пресс»
https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8651105/?sphrase_id=396141. Подписной индекс 41001

Распространяется бесплатно и по подписке