



Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет
1876

ISSN 2712-7443 (online)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



2025. Том 49, № 3

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2025. Том 49, № 3

До 2020 г. журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (25.00.00 – науки о Земле). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Издатель: НИУ «БелГУ».

Адрес издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

Лисецкий Ф.Н., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ведущий редактор

Голеусов П.В., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственный секретарь

Зеленская Е.Я., кандидат географических наук, инженер Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «БелГУ», (Белгород, Россия)

Члены редколлегии:

Витченко А.Н., доктор географических наук, профессор Белорусского государственного университета (Минск, Республика Беларусь)

Геннадиев А.Н., доктор географических наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Тишкин А.А., чл.-корр. РАН, доктор географических наук, профессор Института географии РАН (Москва, Россия)

Ермолаев О.П., доктор географических наук, профессор Казанского федерального университета (Казань, Россия) (по согласованию)

Куролап С.А., доктор географических наук, профессор Воронежского государственного университета (Воронеж, Россия)

Луто Э.Р., доктор, профессор Университета Миссури (Колумбия, США)

Недялков М.И., чл.-корр. Академии Наук Молдовы, доктор географических наук, профессор Института экологии и географии Академии Наук Молдовы (Кишинев, Республика Молдова)

Хаустов В.В., доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета (Курск, Россия)

Хуббарт Дж. А., доктор, профессор Университета Западной Вирджинии (Моргантан, США)

Чантурия Е.Л., доктор технических наук, профессор НИТУ «МИСиС» (Москва, Россия)

Чендей Ю.Г., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

ISSN 2712-7443 (online)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-77841 от 31.01.2020. Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Мишенина. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Н.А. Вус. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. E-mail: goleusov@bsuedu.ru.

Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 25,9. Дата выхода 30.09.2025. Оригинал-макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМ

- 405 **Буфетова М.В., Болдырев К.А., Соболев Д.А.**
Моделирование распределения тяжелых металлов между водной фазой и донными отложениями Азовского моря
- 420 **Константинова Е.Ю., Чаплыгин В.А., Манджиева С.С., Черникова Н.П., Минкина Т.М.**
Полиэлементное загрязнение почв в зоне аэротехногенного воздействия Новочеркасской ГРЭС
- 434 **Червань А.Н., Кислицын Д.А.**
Опыт изучения динамики землепользования на основе геосистемного подхода на примере Новогрудской возвышенности Беларуси
- 450 **Терехин Э.А.**
Оценка скорости формирования древесной растительности на разных типах залежных земель юга Среднерусской возвышенности
- 462 **Голеусов П.В.**
Результаты мониторинга концентрации и потоков углекислого газа в г. Белгороде (2023–2024 гг.)

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ

- 477 **Крупнова Е.С., Дмитриев А.В.**
Автоматическое распознавание топонимов: новые вызовы для цифровой картографии
- 500 **Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К.**
Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО)
- 517 **Буряк Ж.А., Гафуров А.М.**
Оценка спектрально-отражательных свойств эродированных агропочв Республики Татарстан
- 533 **Украинский П.А., Нарожняя А.Г.**
Распределение густоты речной сети Белгородской области вдоль географических градиентов
- 548 **Григорьева О.И.**
Сравнительная оценка моделей определения поверхностного смыва почв (на уровне речного бассейна)

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ГЕОСИСТЕМ

- 561 **Агакишиева Г.Р., Алиева А.М.**
Использование туристического потенциала Шахдагского национального парка Азербайджана
- 573 **Мошков А.В.**
Процессы территориально-производственного комплексообразования в дальневосточном регионе России: преимущества и ограничения
- 589 **Харитонов Ан.Ю., Доронина К.А., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю.**
Анализ качества первичной медицинской помощи сельскому населению Чувашии на основе социологического опроса
- 601 **Кузин В.Ю.**
Оставленные места как неопериферии современности: основные направления исследований
- 618 **Яковенко И.М., Позаченюк Е.А.**
Картографические подходы к отражению туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря
- 633 **Преображенский Ю.В., Папилин Д.В.**
Периферия мезо- и микроуровня: факторы фрагментации и разнообразия пространства

REGIONAL GEOSYSTEMS

2025. Volume 49, No. 3

Until 2020, the journal was published with the name "Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences".

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be published (25.00.00 – Earth sciences). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (РИНЦ).

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

Publisher: Belgorod National Research University «BelsU».

Address of publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

Fedor N. Lisetskii, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Issuing Editor

Pavel V. Goleusov, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Responsible Secretary

Evgeniya Ya. Zelenskaya, Candidate of Geographical Sciences (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Members of Editorial Board:

Aleksandr N. Vitchshenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus)

Aleksandr N. Gennadiyev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

Arkadiy A. Tishkov, Member corr. RAS, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Institute of Geography RAS, Moscow, Russia)

Oleg P. Ermolaev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazan Federal University, Kazan, Russia)

Semyon A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

Anthony R. Lupo, Doctor, Professor (University of Missouri-Columbia, Columbia, USA)

Maria I. Nedealcov, Member corr. Academy of Sciences of Moldova, Doctor, professor, (Institute of Ecology and Geography ASM, Chișinău Municipality, Republica of Moldova)

Vladimir V. Khaustov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor (Southwestern State University, Kursk, Russia)

Jason A. Hubbart, Doctor (Ph. D), Professor (West Virginia University, Morgantown, USA)

Elena L. Chanturia, Doctor of Technical Sciences, Professor (NUST "MISiS", Moscow, Russia)

Yuriy G. Chendev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (BSU, Belgorod, Russia)

ISSN 2712-7443 (online)

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77-77841 dd 31.01.2020. Publication frequency: 4 times per year.

Commissioning Editor Yu.V. Mishenina. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by N.A. Vus. English text editor E.S. Danilova. E-mail: goleusov@bsuedu.ru. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 25,9. Date of publishing 30.09.2025. Dummy layout has been prepared by Belgorod National Research University Centre of Polygraphic Production. Address: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

STRUCTURE AND FUNCTIONING OF REGIONAL GEOSYSTEMS

- 405 Bufetova M.V., Boldyrev K.A., Sobolev D.A.**
Modeling Heavy Metal Distribution in the Water Phase and Bottom Sediments of the Azov Sea
- 420 Konstantinova E.Yu., Chaplygin V.A., Mandzhieva S.S., Chernikova N.P., Minkina T.M.**
Polyelemental Pollution of Soils under the Aerotechnogenic Impact of Novocherkassk State District Power Plant
- 434 Chervan A.N., Kisilitsyn D.A.**
Studying Land Use Dynamics under the Geosystem Approach on the Example of the Belarus Novogrudok Upland
- 450 Terekhin E.A.**
Estimating the afforestation rate on different types of postagrogenic lands in the south of the Central Russian Upland
- 462 Goleusov P.V.**
Results of Monitoring Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in Belgorod (2023–2024)

METHODOLOGY OF GEOSYSTEMS RESEARCH

- 477 Krupnova E.S., Dmitriev A.V.**
Automatic Recognition of Toponyms: New Challenges for Digital Cartography
- 500 Milyaev I.A., Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Skritskaya M.K.**
Assessment of the Green Infrastructure Availability for Residents of a Northern Oil-and-Gas Town (Muravlenko, YaNAO)
- 517 Buryak Zh.A., Gafurov A.M.**
Spectral Properties of Eroded Arable Soils in the Republic of Tatarstan
- 533 Ukrainsky P.A., Narozhnaya A.G.**
Distribution of River Network Density along Geographical Gradients in the Belgorod Region
- 548 Grigoreva O.I.**
Comparative evaluation of models for determining surface soil erosion (at the river basin level)

SOCIO-ECONOMIC COMPONENTS OF GEOSYSTEMS

- 561 Agakishiyeva G.R., Aliyeva A.M.**
Using the Tourism Potential of Shahdag National Park of Azerbaijan
- 573 Moshkov A.V.**
Formation of Territorial Production Complexes in the Russian Far East: Advantages and Limitations to the Process
- 589 Kharitonov An.Y., Doronina K.A., Nikonorova I.V., Kharitonov Al.Y.**
Quality of Primary Health Care for Chuvash Rural Population: A Survey-Based Analysis
- 601 Kuzin V.Yu.**
Left Behind Places as Neo-Peripheries of Modernity: Main Research Directions
- 618 Yakovenko I.M., Pozachen'yuk E.A.**
Cartographic Approaches to Reflecting the Tourist and Recreational Resource Potential of the Azov Sea Coast
- 633 Preobrazhenskiy Yu.V., Papilin D.V.**
The Periphery of the Meso- and Microlevel: Factors of Fragmentation and Diversity of Geospace

Структура и функционирование региональных геосистем

Structure and Functioning of Regional Geosystems

УДК 504.423:504.4.054
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-405-419
EDN AMVBQP

Моделирование распределения тяжелых металлов между водной фазой и донными отложениями Азовского моря

¹Буфетова М.В., ²Болдырев К.А., ²Соболев Д.А.

¹Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Россия, 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23

²Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук,
Россия, 115191, г. Москва, Большая Тульская ул., 52
mbufetova@mail.ru, kaboldyrev@ibrae.ac.ru, sobolev@ibrae.ac.ru

Аннотация. В условиях антропогенного влияния донные осадки играют важную роль в процессах, происходящих в водоеме, и служат местом накопления тяжелых металлов. При изменении физико-химических параметров водоема они могут стать источником вторичного поступления этих металлов сначала в поровые, а затем и в поверхностные воды. Для оценки данных процессов необходимо изучать, как микроэлементы перераспределяются между различными формами в твердой фазе донных отложений и водной среде. В силу того, что данное явление для экосистемы Азовского моря мало исследовано, проблема в такой постановке рассматривается впервые. Цель данной работы – оценить возможность вторичного загрязнения тяжелыми металлами вод Азовского моря при контакте водной толщи и донных отложений при использовании современных расчетных методов в программном коде PhreeqC 2.18. Результаты исследования показывают, что индексы насыщения практически всегда остаются отрицательными, это означает, что образование минеральных фаз не прогнозируется (кроме свинца). Таким образом, основным механизмом, регулирующим концентрацию металлов в водной фазе при ее контакте со взмученными донными отложениями, является сорбция и, вероятно, биосорбция. Рассмотренные тяжелые металлы находятся в сорбированном состоянии, а не в форме минеральных фаз, следовательно, при взмучивании металлы повторно осадут, что не должно увеличить экологические риски в этой области. Результаты исследования химического поведения тяжелых металлов в условиях водоемов при реализации соответствующих административных мер по управлению сбросами важны для контроля загрязнения водных экосистем.

Ключевые слова: Азовское море, тяжелые металлы, загрязнение, донные отложения, вторичное загрязнение, моделирование

Для цитирования: Буфетова М.В., Болдырев К.А., Соболев Д.А. 2025. Моделирование распределения тяжелых металлов между водной фазой и донными отложениями Азовского моря. Региональные геосистемы, 49(3): 405–419. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-405-419
EDN: AMVBQP

Modeling Heavy Metal Distribution in the Water Phase and Bottom Sediments of the Azov Sea

¹Marina V. Bufetova, ²Kirill A. Boldyrev, ²Denis A. Sobolev

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI),
23 Miklukho-Maklay St, Moscow 117485, Russia

²Institute for Problems of Safe Development of Nuclear Power Engineering, Russian Academy of Sciences,
52 Bolshaya Tulskaya St, Moscow 115191, Russia
mbufetova@mail.ru, kaboldyrev@ibrae.ac.ru, sobolev@ibrae.ac.ru

Abstract. The Sea of Azov has the status of a fishery water body of the highest category and holds a high economic and recreational potential, so the study of its pollution seems to be an urgent task. Bottom

sediment resulting from anthropogenic activity plays a significant role in the processes that take place in water bodies, and tends to accumulate heavy metals. A change in the physical and chemical properties of the water may trigger secondary pollution, that is, the reverse flow of heavy metals from bottom sediments into pore and surface water. An assessment of these processes requires a study into the redistribution of these elements among various forms in the solid phase of the bottom sediment and in water. As there is little research on the specificity of this phenomenon in the Sea of Azov, this study is the first attempt to address the problem from this perspective. The research aims to assess the risk of secondary pollution of the Azov Sea with heavy metals at the contact of water column and bottom sediments using modern calculation methods in the PhreeqC 2.18 software code. The calculations show that indices of solid mineral phase saturation with heavy metals tend to almost always remain negative, with the exception of lead, which means that the formation of mineral phases is not predicted. The study allows concluding that sorption, and possibly, biosorption, is the main mechanism determining the concentration of heavy metal ions in the aqueous phase, with all the heavy metals considered being in the sorbed state rather than in the form of mineral phases. As the salinity of the Azov Sea water does not undergo significant changes, the sorption behavior will not practically change, hence, all heavy metals lifted from the bottom with suspended sediments will also be re-deposited. The results of the study into the chemical behavior of heavy metals in the water body are important for control over water ecosystem pollution, provided respective administrative dumping control measures are taken.

Keywords: the Azov Sea, heavy metals, pollution, bottom sediments, secondary pollution, modeling

For citation: Bufetova M.V., Boldyrev K.A., Sobolev D.A. 2025. Modeling Heavy Metal Distribution in the Water Phase and Bottom Sediments of the Azov Sea. Regional geosystems, 49(3): 405–419 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-405-419 EDN: AMVBQP

Введение

Ввиду значительной рыбохозяйственной ценности и существенного экономического и рекреационного потенциала Азовского моря, изучение вопросов его загрязнения является важной и своевременной задачей. Среди загрязняющих веществ, представляющих наибольшую опасность для экосистемы Азовского моря, выделяются тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, медь и цинк. Эти микроэлементы характеризуются повышенной способностью к накоплению в живых организмах и высокой степенью токсичности [Экосистемные исследования, 2002].

Источниками поступления тяжелых металлов в акваторию Азовского моря являются атмосферные осадки, речной сток, терригенный материал, образующийся в результате абразии берегов, судоходство, строительство новых и реконструкция существующих портов, дампинг загрязненных донных отложений портовых зон и подходных каналов, сбросы буровых растворов и шламов при бурении нефтегазовых скважин, сточные воды населенных пунктов, расположенных на побережье.

Как было показано в нашем предыдущем исследовании, из воды тяжелые металлы поглощаются взвешенным веществом и оседают в донные отложения, которые при этом являются своеобразным геологическим депо для загрязнителей водных объектов, фиксируя длительный (исторический) эффект антропогенного влияния на экосистему [Буфетова, 2018]. С другой стороны, необходимо учитывать риск вторичного загрязнения, то есть обратный выход тяжелых металлов из донных отложений в воду. Этот процесс зависит от многих факторов: химических свойств самих металлов, гидродинамического режима, ионного состава воды и свойств взвешенного вещества, донных отложений, величины pH, окислительно-восстановительного потенциала, скорости осадконакопления, мощности осадочного слоя и т. д. [Буфетова, 2018]. Например, усиление потока воды и турбулентность, вызванная ветром, приводит к поднятию отложений со дна. Это переводит частицы в суспензию и обеспечивает их более интенсивное взаимодействие с водной средой, что способствует повышению концентрации валовой и взвешенной формы тяжелых металлов в воде водоема [Федоров и др., 2015, Михайленко и др., 2018]. Однако для увеличения

концентрации растворенной формы металлов недостаточно только взмучивания. Изменение баланса кислотности и щелочности в комплексе «вода – осадок на дне» играет ключевую роль в процессе высвобождения тяжелых металлов с поверхности твердых компонентов и их попадания в водную среду. Активность обменных реакций между донными отложениями и водой достигает пика при значении рН, равном 3 [Михеева и др., 2012].

Изменение количества растворенных и подвижных (мобильных) форм металлов в воде определяется двумя противоположными процессами. Во-первых, металлы могут переходить в воду из донных отложений. Во-вторых, металлы могут поглощаться частицами, взвешенными в воде, и компонентами донных отложений, которые действуют как своего рода фильтры. Первый процесс (ремобилизация) зависит от двух факторов: насколько много подвижных форм металлов и сколько растворенного органического вещества находится в воде (органическое вещество может влиять на растворимость металлов). Второй процесс (поглощение металлов) определяется главным образом количеством взвешенных частиц в воде – чем больше взвешенных частиц, тем больше металлов они могут связать. Также значение имеет состав донных отложений (например, количество пелитовой фракции) [Папина, 2001; Решетняк, Закруткин, 2016]. В итоге баланс между выходом металлов из донных отложений и их связыванием взвешенными частицами и донными отложениями определяет общую концентрацию растворенных металлов в воде.

В процессе решения задачи описания сорбции металлов наибольший опыт накоплен по вопросам моделирования накопления тяжелых металлов донными отложениями. Так, в исследовании [Mueller, Duffek, 2001] для описания сорбции ионов кадмия, меди, свинца, цинка донными отложениями применялась модель не электростатического взаимодействия [Болдырев и др., 2017]. В работе С.А. Пивоварова [2003] для расчета параметров распределения кадмия, меди и цинка между водой и донными отложениями используются модели сорбции на поверхности глинистых минералов, органического вещества и оксигидроксидов железа. Подобная модель была использована в работе О.А. Липатниковой [2011]. В работах О.В. Соколова с соавторами [2006; 2008] рассматривается модель гетерогенного взаимодействия меди, свинца, цинка в сложной системе «вода – твердая фаза», включающая в себя фазы – сорбенты переменного состава. Прогнозный расчет изменения концентраций тяжелых металлов в поровом растворе при изменении гидрохимических условий водного объекта (р. Дунай) был выполнен в работе К.А. Болдырева с соавторами [2016; 2017] при использовании современных расчетных методов в программном коде *PhreeqC 2.18* [Parkhurst, Appelo, 2013]. Для описания фиксирования донных отложений тяжелых металлов авторами [Болдырев и др., 2016] применялась модель ионного обмена и модель комплексообразования на поверхностных сорбционных центрах, а также оценивалась возможность образования индивидуальных твердых минеральных фаз. Моделирование выявило, что увеличение минерализации водного раствора способствовало высвобождению тяжелых металлов из донных отложений, что повлекло за собой повышение их концентрации. Аналогично повышенное содержание карбонатов в растворе стимулировало выход меди из слоя донных отложений [Болдырев и др., 2016].

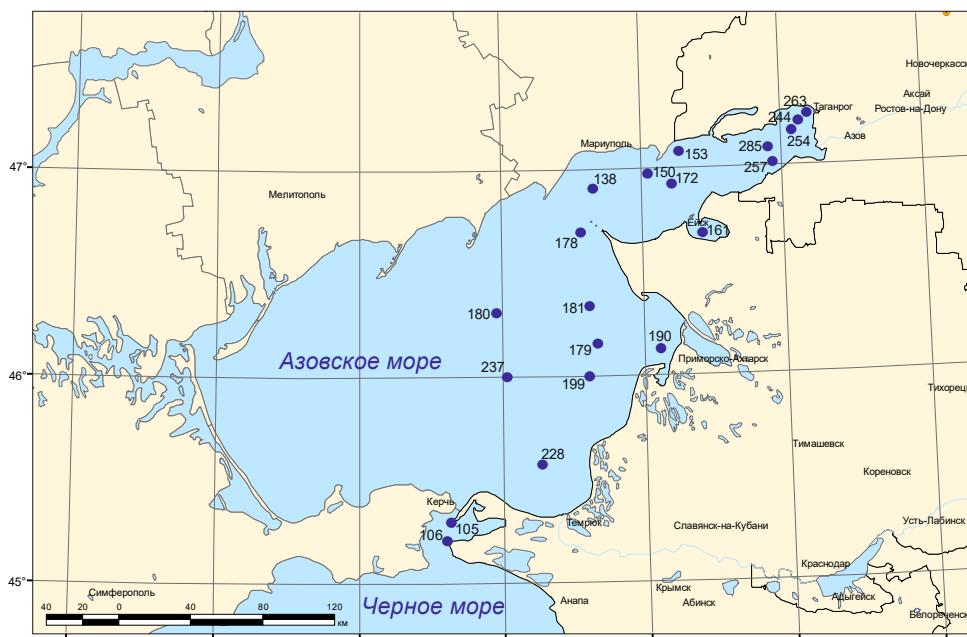
Цель данной работы – с помощью современных расчетных методов в программном коде *PhreeqC 2.18* оценить возможность вторичного загрязнения тяжелыми металлами вод Азовского моря при контакте водной толщи и донных отложений.

Данное исследование продолжает работы, начатые в статье М.В. Буфетовой [2015].

Объекты и методы исследования

В работе были использованы данные о концентрации свинца, кадмия, меди и цинка в воде (растворенная форма) и донных отложениях Азовского моря в 2021–2023 гг., предоставленные авторам филиалом «Азовморинформцентр» ФГБВУ «Центррегионводхоз» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования Российского государственного

геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ). Отбор образцов воды для последующего анализа осуществлялся посредством пробоотборника ПЭ-1220, в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012 и РД 52.24.309-2016. Пробы отбирались с поверхности слоя воды (рис. 1). Все работы по отбору проб проводились с использованием общепринятых методов. Определение концентраций свинца, кадмия и меди в отобранных образцах воды проводилось химическим анализом, основанным на методике ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Для определения содержания цинка использовалась методика М-МВИ-539-03. Измерение концентраций всех указанных тяжелых металлов выполнялось с помощью атомно-абсорбционного спектрометра *KVAHT-Z-ЭТА*. Также для расчетов использовались данные филиала «Азовморинформцентр» ФГБВУ «Центррегионводхоз» о содержании кислорода в поверхностном слое воды Азовского моря в 2010–2018 гг.



Результаты и их обсуждение

В водных объектах тяжелые металлы могут находиться в подвижной и неподвижной, фиксированной формах, схематически отображенных на рис. 2.



Рис. 2. Схема нахождения в водной системе тяжелых металлов

Fig. 2. Scheme of heavy metals in the water system

Ключевую роль в поведении микроэлементов в водной среде и донных отложениях, в процессах их осаждения и накопления, оказывают окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и показатель кислотности (pH). Влияние этих параметров на миграцию тяжелых металлов в водной среде проявляется в контроле осаждения металлов, коагуляции коллоидных частиц и общей подвижности микроэлементов. В течение года, при повышении значений pH с 7,3 (весной) до 8,1 (осенью), растворенные катионные формы металлов могут переходить в нерастворимые, сорбироваться взвешенным веществом и отлагаться в донных отложениях [Папина, 2001; Давыдова и др., 2016].

Наиболее значимым, активно взаимодействующим с поровыми и придонными водами, является верхний слой донных отложений (до 10 см). В зависимости от гидрологических процессов в нем могут доминировать либо окислительные ($Eh > 0$), либо восстановительные ($Eh < 0$) условия, что определяет, в каких формах находятся тяжелые металлы [Давыдова и др., 2016].

В Азовском море в летний период значение водородного показателя в поверхностном слое воды изменяется от 6,2 до 8,5 (в среднем составило 8,1). Наибольшие показатели pH наблюдались в Таганрогском заливе, где выделялись участки с высокими значениями (9,0–9,2). Области с более низкой кислотностью приурочены к центральной, глубоководной части моря, где водородный показатель достигал значения 6,4. Распределение pH в придонном слое воды в целом повторяло картину, наблюдавшуюся в поверхностном слое [Михайленко и др., 2018].

Окислительно-восстановительный потенциал в летний сезон в поверхностном слое воды Азовского моря варьировался от +0,074 до +0,200 В, а среднее значение составило +0,121 В. В Таганрогском заливе высокие значения Eh были характерны для устья р. Дон и района г. Ейска. В центральной части моря зафиксирована зона с максимальным Eh (+0,200 В), а в восточной части – область с более низкими значениями (+0,074 – +0,084 В). В придонном слое Eh менялся в пределах от +0,092 до +0,200 В. Осенью в поверхностном и придонном слоях показатель Eh колебался от +0,060 до +0,251 В [Михайленко и др., 2018].

В зимний период в воде Азовского моря содержание кислорода высоко (8–12 мг/л), а ветровое и конвективное перемешивание определяют в это время года полную кислородную гомогенность всей водной толщи. В Азовском море, где штиль быстро может

смениться штормовой погодой, зоны гипоксии возникают и исчезают столь же стремительно [Боровская и др., 2009]. Из-за этой динамики эпизоды дефицита кислорода в придонных водах часто не регистрируются во время экспедиций. Однако, согласно многолетним данным [Михайленко и др., 2018], почти каждый год наблюдается падение концентрации кислорода в придонном слое до 2–3 мг/л. В частности, в глубоководных районах зафиксировано уменьшение содержания кислорода до 6,9 мл/л. Концентрация в придонном слое колебалась от 4,2 до 7,6 мл/л, в среднем составляя 6,3 мл/л.

Среднее содержание кислорода в поверхностном слое воды Азовского моря за период 2010–2018 гг. приведено в табл.1.

Таблица 1
 Table 1

Среднее содержание кислорода в воде Азовского моря в 2010–2018 гг.
 Average oxygen content in the Azov Sea water in 2010-2018

Т. набл.	O ₂ , мг/л, поверхностный слой воды			Т. набл.	Таганрогский залив			
	Собственно море				апрель	июнь	сентябрь	
	апрель	июнь	сентябрь					
105	9,1	9,8	9,0	138	9,5	8,4	9,0	
106	9,1	10,1	9,3	150	9,8	8,5	8,8	
178	11,8	8,0	8,7	153	11,3	11,6	11,5	
179	10,2	8,9	8,8	161	11,4	9,4	10,7	
180	8,7	8,9	8,7	172	11,3	9,5	8,9	
181	8,6	8,4	11,4	244	12,7	11,2	10,8	
190	11,4	9,4	10,3	254	8,3	9,0	10,0	
199	9,1	9,6	9,1	257	11,9	11,0	10,2	
228	7,2	10,5	10,6	263	12,3	11,5	11,0	
237	8,8	9,0	8,7	285	10,8	12,0	10,1	

Одной из ключевых детерминант, определяющих способность донных отложений накапливать и удерживать микроэлементы, является их гранулометрический состав. Гранулометрический состав донных отложений Азовского моря показан на рис. 3. Данные о концентрации тяжелых металлов в воде Таганрогского залива и собственно моря приведены в табл. 2.

Таблица 2
 Table 2

Среднее содержание тяжелых металлов в воде Азовского моря в 2021–2023 гг.
 Content of heavy metals in the Azov Sea water in 2021–2023

Т. набл.	Тяжелые металлы							
	в донных отложениях, мкг/г				в воде, мкг/л			
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd
Собственно море								
105	19,0	22,0	4,0	0,6	12,0	42,0	20,0	1,2
106	30,0	26,0	4,0	1,1	11,0	30,0	21,0	1,0
178	1,0	42,0	0,3	0,2	4,0	47,0	21,0	1,5
179	2,0	12,0	0,3	0,1	7,0	23,0	25,0	1,0
180	2,0	13,0	1,1	0,1	3,3	5,5	1,6	0,1
181	5,0	54,0	4,1	0,2	13,0	40,0	32,0	1,4
190	9,0	19,0	3,0	0,4	11,0	39,0	6,0	1,1
199	11,0	21,0	3,0	0,2	9,0	31,0	12,0	0,9
228	8,9	20,0	7,7	0,1	11,0	8,2,0	4,2	0,1
237	36,0	20,0	1,6	0,3	4,0	18,0	2,0	0,3

Окончание таблицы 2
 End of the table 2

Таганрогский залив								
138	15,0	19,0	2,4	0,1	3,2	30,0	0,2	0,15
150	3,9	5,8	4,9	0,1	1,0	47,0	2,0	0,11
153	2,1	3,8	2,8	0,1	3,6	27,0	1,2	0,14
161	19,0	93,0	27,0	0,2	4,1	5,1	1,6	0,21
172	40,0	30,0	88,0	0,2	3,6	14,0	2,5	0,11
244	30,0	23,0	15,0	0,2	7,1	15,0	1,4	0,13
254	20,0	40,0	12,0	0,3	3,8	26,0	0,2	0,11
257	3,9	80,0	9,4	0,1	4,9	28,0	0,2	0,13
263	5,0	54,0	4,1	0,2	9,0	38,0	4,1	0,15
285	17,0	32,0	12,0	0,1	6,7	21,0	3,2	0,16
ПДК	36,0 ^{a)}	140,0	85,0	0,8	5,0 ^{b)}	50,0	10,0	10,0

^{a)} [Warmer, van Dokkum, 2002]

^{b)} Приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552 [Об утверждении..., 2016].

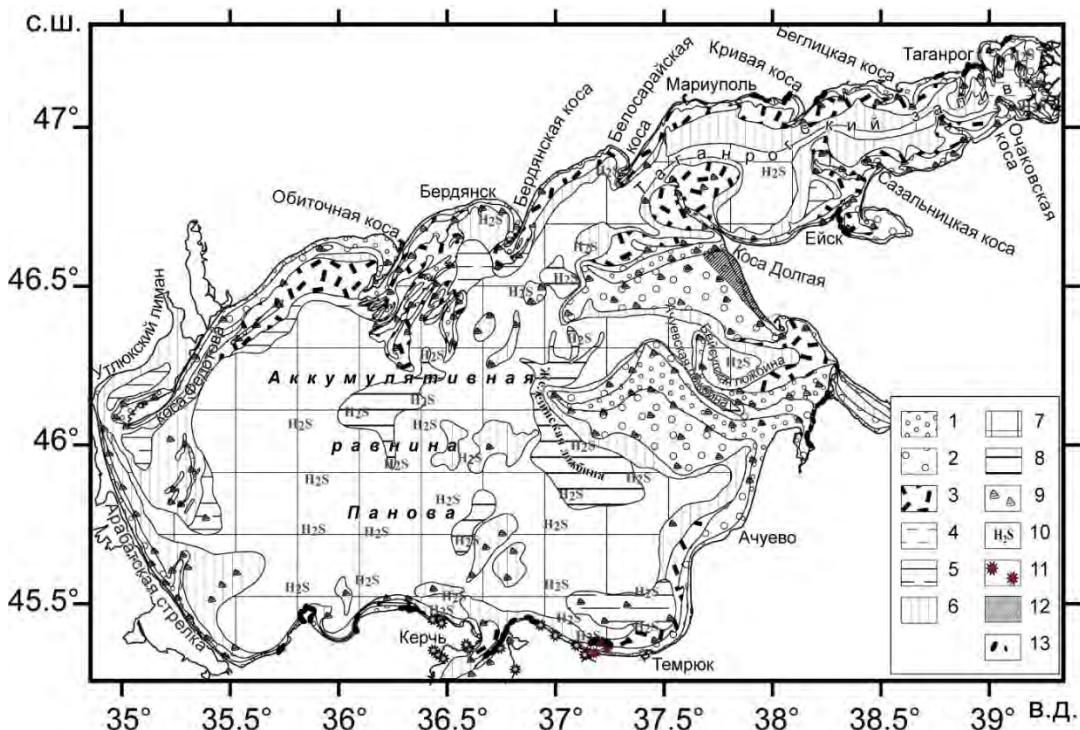


Рис. 3. Карта донных осадков Азовского моря [Экологический атлас ..., 2011]:

1 – Песок средне-мелкозернистый с ракушей (фракция 1–0,1 мм > 70 %); 2 – Песок алевритово-илистый (фракция 1–0,1 мм – 50–70 %); 3 – Смешанный тип осадка (алевритово-илисто-песчаный); 4 – Алеврит (фракция 0,1–0,01 мм > 70 %); 5 – Илистый алеврит (фракция 0,1–0,01 мм – 50–70 %); 6 – Илы с примесью < 0,01 > 50–70 %); 7 – Глинистый ил (фракция < 0,01 > 70 %); 8 – Глинистый ил (фракция < 0,01 > 85 %); 9 – Ракуша и ракушечный детрит; 10 – Сероводородное заражение; 11 – Грязевые вулканы; 12 – Бенч; 13 – Галька, гравий

Fig. 3. The map of bottom sediments in the Azov sea [Ecological Atlas ..., 2011]:

1 – Medium-to-fine-grained sand with shells (fraction 1–0.1 mm > 70 %); 2 – Silty aleurite sand (fraction 1–0.1 mm – 50–70 %); 3 – Mixed type of sediment (aleurite, silt and sand); 4 – Aleurite (fraction 0,1–0.01 mm > 70 %); 5 – Silty aleurite (fraction of 0.1–0.01 mm – 50–70 %); 6 – Silts with an admixture of < 0.01 > 50–70 %); 7 – Clayey silt (fraction less than 0.01 > 70 %); 8 – Clayey silt (fraction less than 0.01 > 85 %); 9 – Shells and shelly detritus; 10 – Hydrogen sulfide contamination; 11 – Mud volcanoes; 12 – Bench; 13 – Pebbles, gravel

Превышения нормативных значений наблюдаются по загрязнению свинцом донных отложений (т.н. 172) и меди и свинцу в воде собственно моря и Таганрогского залива.

В неподвижном, фиксированном состоянии металлы могут находиться в сорбированной форме и в форме твердой минеральной фазы как индивидуальной, так и в виде соосаждения. Таким образом, в данном случае «сорбированная форма» будет суммой истинно-сорбированных и осажденных минеральных форм. Оценить это возможно при помощи геохимического моделирования. Значения K_h для тяжелых металлов в Азовском море приведены в табл. 3.

Таблица 3
 Table 3

Значения коэффициента накопления для тяжелых металлов в Азовском море
 Accumulation factor values for heavy metals in the Sea of Azov

K_h				
Элемент Т. набл.	Cu	Zn	Pb	Cd
Собственно море				
105	1583,33	523,81	200,00	500,00
106	2727,27	866,67	190,48	1100,00
178	250,00	893,62	14,29	133,33
179	285,71	521,74	12,00	100,00
180	606,06	2363,64	687,50	1000,00
181	384,62	1350,00	128,13	142,86
190	818,18	487,18	500,00	363,64
199	1222,22	677,42	250,00	222,22
228	809,09	2439,02	1833,33	1000,00
237	9000,00	1111,11	800,00	1000,00
Таганрогский залив				
138	4687,50	633,33	12000,00	666,67
150	3900,00	123,40	2450,00	909,09
153	583,33	140,74	2333,33	714,29
161	4634,15	18235,29	16875,00	952,38
172	11111,11	2142,86	35200,00	1818,18
244	4225,35	1533,33	10714,29	1538,46
254	5263,16	1538,46	60000,00	2727,27
257	795,92	2857,14	47000,00	769,23
263	555,56	1421,05	1000,00	1333,33
285	2537,31	1523,81	3750,00	625,00

Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности донных отложений концентрировать тяжелые металлы. На рис. 4 показаны распределения значений K_h меди, цинка, свинца и кадмия для собственно моря и Таганрогского пролива.

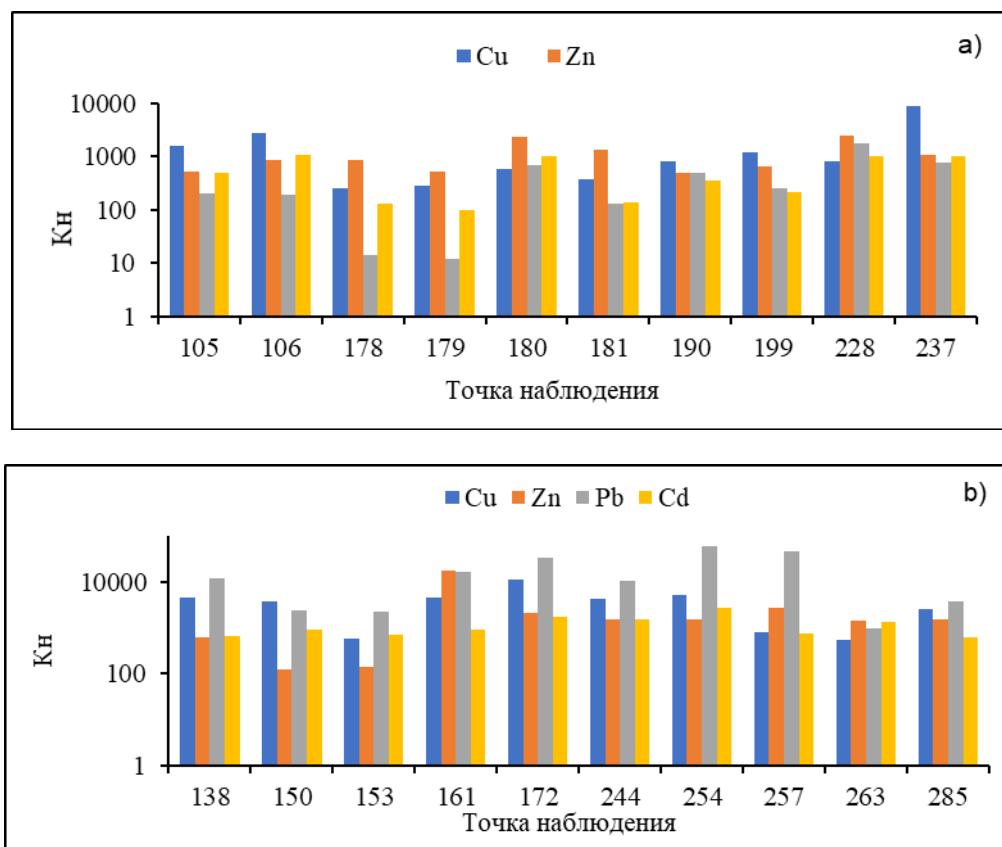


Рис. 4. Распределения значений коэффициента накопления тяжелых металлов для открытой части Азовского моря (а) и Таганрогского залива (б)

Fig. 4. Distributions of heavy metal accumulation factor values for the open part of the Sea of Azov (a) and Taganrog Bay (b)

В расчетах ниже использовались данные по составу морской воды, приведенному в табл. 4.

Таблица 4
 Table 4

Состав моделируемой системы
 Composition of the modeled system

Компонент	Моль/л
SO ₄ ²⁻	9,67 × 10 ⁻³
Br ⁻	2,6 × 10 ⁻⁴
Cl ⁻	1,84 × 10 ⁻¹
Ca ²⁺	4,29 × 10 ⁻³
Mg ²⁺	1,76 × 10 ⁻²
K ⁺	3,38 × 10 ⁻³
Na ⁺	1,52 × 10 ⁻¹
Cd ²⁺	1,07 × 10 ⁻⁸
Pb ²⁺	9,65 × 10 ⁻⁸
Zn ²⁺	6,4 × 10 ⁻⁷
Cu ²⁺	1,9 × 10 ⁻⁷
HCO ₃ ⁻	2,77 × 10 ⁻³
Температура	25 °C

Индексы насыщения твердых минеральных фаз тяжелых металлов, рассчитанные по (2), приведены в табл. 5. Были выбраны основные твердые минеральные фазы рассматриваемых металлов, чьи индексы насыщения максимальные.

Таблица 5
 Table 5

Индексы насыщения твердых минеральных фаз тяжелых металлов
 Saturation indices of solid mineral phases of heavy metals

T _{набл}	месяц	рН	Eh, мВ	Индексы насыщения				
				Малахит	Смитсонит	Церуссит	Отавит	Cd(OH) ₂
				Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	ZnCO ₃	PbCO ₃	CdCO ₃	Cd(OH) ₂
собственно море – вода								
105	апрель	7,8	225	-3,92	-2,38	-0,19	-3,29	-8,63
106	апрель	7,8	225	-3,99	-2,52	-0,17	-3,37	-8,71
178	апрель	7,8	225	-4,87	-2,33	-0,17	-3,20	-8,54
179	апрель	7,8	225	-4,39	-2,64	-0,09	-3,37	-8,71
180	апрель	7,8	225	-5,04	-3,26	-1,28	-4,37	-9,71
181	апрель	7,8	225	-3,85	-2,40	0,02*	-3,23	-8,57
190	апрель	7,8	225	-3,99	-2,41	-0,71	-3,33	-8,67
199	апрель	7,8	225	-4,17	-2,51	-0,41	-3,42	-8,76
228	апрель	7,8	225	-3,99	-3,08	-0,86	-4,37	-9,71
237	апрель	7,8	225	-4,87	-2,74	-1,19	-3,90	-9,24
Таганрогский пролив – вода								
138	апрель	7,8	225	-5,07	-2,52	-2,19	-4,20	-9,54
150	апрель	7,8	225	-6,08	-2,33	-1,19	-4,33	-9,67
153	апрель	7,8	225	-4,96	-2,57	-1,41	-4,23	-9,57
161	апрель	7,8	225	-4,85	-3,29	-1,28	-4,05	-9,39
172	апрель	7,8	225	-4,96	-2,85	-1,09	-4,33	-9,67
244	апрель	7,8	225	-4,37	-2,82	-1,34	-4,26	-9,60
254	апрель	7,8	225	-4,92	-2,58	-2,19	-4,33	-9,67
257	апрель	7,8	225	-4,70	-2,55	-2,19	-4,26	-9,60
263	апрель	7,8	225	-4,17	-2,42	-0,88	-4,20	-9,54
285	апрель	7,8	225	-4,42	-2,68	-0,98	-4,17	-9,51
собственно море – донные отложения								
105	апрель	7,8	112	-3,52	-2,66	-0,89	-3,60	-8,93
106	апрель	7,8	112	-3,12	-2,58	-0,89	-3,33	-8,67
178	апрель	7,8	112	-6,08	-2,38	-2,01	-4,07	-9,41
179	апрель	7,8	112	-5,47	-2,92	-2,01	-4,37	-9,71
180	апрель	7,8	112	-5,47	-2,88	-1,45	-4,37	-9,71
181	апрель	7,8	112	-4,68	-2,27	-0,88	-4,07	-9,41
190	апрель	7,8	112	-4,17	-2,72	-1,01	-3,77	-9,11
199	апрель	7,8	112	-3,99	-2,68	-1,01	-4,07	-9,41
228	апрель	7,8	112	-4,18	-2,70	-0,60	-4,37	-9,71
237	апрель	7,8	112	-2,96	-2,70	-1,28	-3,90	-9,24
Таганрогский пролив – донные отложения								
138	апрель	7,8	112	-3,72	-2,72	-1,11	-4,37	-9,71
150	апрель	7,8	112	-4,89	-3,24	-0,80	-4,37	-9,71
153	апрель	7,8	112	-5,43	-3,42	-1,04	-4,37	-9,71
161	апрель	7,8	112	-3,52	-2,03	-0,06	-4,07	-9,41
172	апрель	7,8	112	-2,87	-2,52	0,46*	-4,07	-9,41
244	апрель	7,8	112	-3,12	-2,64	-0,31	-4,07	-9,41
254	апрель	7,8	112	-3,47	-2,40	-0,41	-3,90	-9,24
257	апрель	7,8	112	-4,89	-2,10	-0,52	-4,37	-9,71
263	апрель	7,8	112	-4,68	-2,27	-0,88	-4,07	-9,41
285	апрель	7,8	112	-3,62	-2,49	-0,41	-4,37	-9,71

*Примечание – ячейки, где вероятно образование соответствующей твердой минеральной фазы.

Диаграммы Пурбэ характеризуют фазовый состав или поля устойчивости минералов и концентрации растворенных соединений в определенных окислительно-восстановительных условиях [Гаррелс, Крайст, 1968]. Для рассматриваемых металлов диаграммы Пурбэ были построены с помощью расчетного кода *Spana* [Chemical Equilibrium Diagrams] (рис. 5). Желтая зона на диаграммах соответствует значениям уровней Eh и pH для Азовского моря.

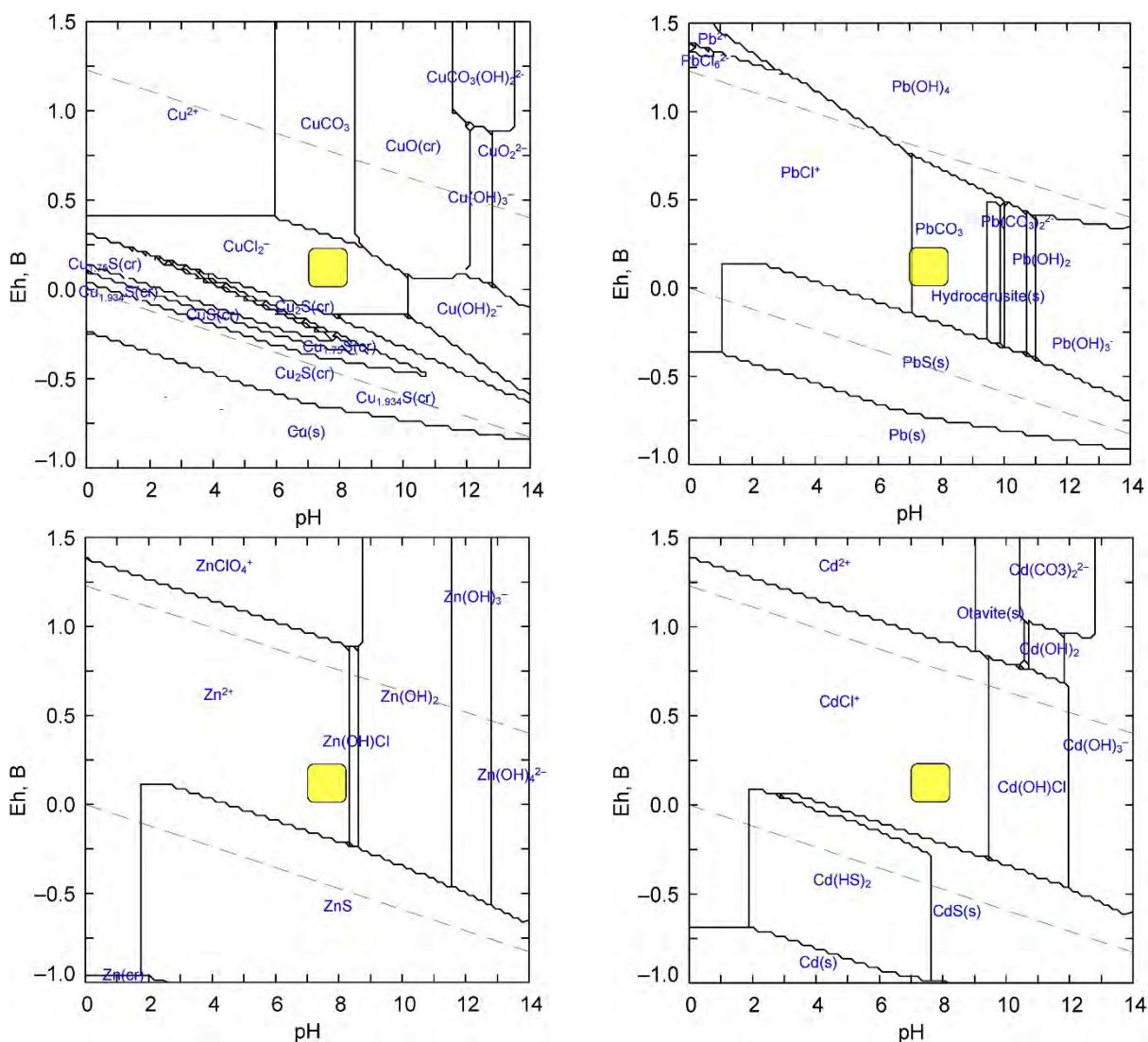


Рис. 5. Диаграммы Пурбэ для рассмотренных тяжелых металлов в Азовском море
 Fig. 5. Pourbaix diagrams for the considered heavy metals in the Sea of Azov

В табл. 6 приведено распределение основных форм тяжелых металлов для разных условий. В расчетах ниже использовались данные о составе морской воды (см. табл. 4), концентрации металлов (см. табл. 2), также учитывалось содержание кислорода.

Из табл. 6 видно, что основные формы для кадмия и меди – хлоридные комплексы, для свинца – карбонатный и хлоридный комплексы, для цинка – свободный ион. Доминирующая степень окисления меди +2.

Результаты исследования показывают, что индексы насыщения практически всегда остаются отрицательными, это означает, что образование минеральных фаз не прогнозируется (кроме свинца). Таким образом, основным механизмом, регулирующим концентрацию металлов в водной фазе при ее контакте со взмученными донными

отложениями, является сорбция и, вероятно, биосорбция. Рассмотренные тяжелые металлы находятся в сорбированном состоянии, а не в форме минеральных фаз, следовательно, при взмучивании металлы повторно осадут, что не должно увеличить экологические риски в этой области.

Таблица 6
 Table 6

Распределение основных форм тяжелых металлов в Азовском море для разных условий
 Distribution of the main forms of heavy metals in the Sea of Azov for different conditions

ионь соленость 12 %о	т. н. 263		Cd				Cu			
			форма	CdCl ⁺	CdCl ₂	Cd ⁺²	CdCl ₃ ⁻	CuCl ₃ ⁻²	CuCl ₂ ⁻	CuCO ₃
			концентрация, моль/л	9,20E-10	3,60E-10	3,57E-11	1,40E-11	7,75E-08	3,44E-08	2,42E-08
ионь соленость 17,5 %о	т. н. 237		форма	CdCl ⁺	CdCl ₂	Cd ⁺²	CdCl ₃ ⁻	CuCl ₂	CuCl ₄ ⁻²	CuCl ₃ ⁻²
			концентрация, моль/л	1,84E-09	7,21E-10	7,14E-11	2,81E-11	5,88E-12	6,76E-18	3,45E-08
			%	68,94	27,00	2,68	1,05	0,01	0,00	54,73
ионь соленость 12 %о	т. н. 263		Pb				Zn			
			форма	PbCO ₃	PbCl ⁺	Pb ⁺²	PbOH ⁺	Zn ⁺²	ZnSO ₄	Zn(OH)Cl
			концентрация, моль/л	1,18E-08	3,14E-09	2,33E-09	1,14E-09	4,51E-07	4,14E-08	3,40E-08
ионь соленость 17,5 %о	т. н. 237		%	59,78	15,89	11,79	5,77	77,63	7,12	5,85
			Pb				Zn			
			форма	PbCO ₃	PbCl ⁺	Pb ⁺²	PbOH ⁺	Zn ⁺²	ZnSO ₄	Zn(OH)Cl
			концентрация, моль/л	5,77E-09	1,53E-09	1,14E-09	5,56E-10	2,14E-07	1,96E-08	1,61E-08
			%	59,76	15,88	11,79	5,76	77,62	7,12	5,84
										4,62

Заключение

В ходе работы проведен анализ химического поведения ряда тяжелых металлов – свинца, кадмия, меди и цинка – в условиях контакта вод открытой части Азовского моря и Таганрогского залива со взвешенным веществом и донными отложениями.

Результаты оценки загрязнения тяжелыми металлами Азовского моря указывают на определенную степень потенциального экологического риска. При этом необходимо отметить относительно невысокую эффективность осаждения свинца и меди, так как водная фаза, вследствие перемешивания и малой глубины, постоянно находится в аэробных условиях, что способствует биодеградации органического вещества – коллектора тяжелых металлов.

Проведенное моделирование показало, что образования твердых минеральных фаз рассмотренных тяжелых металлов не прогнозируется, а, следовательно, основным механизмом фиксирования донными отложениями металлов следует считать сорбцию. Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности донных отложений концентрировать тяжелые металлы в Азовском море. Данный показатель можно использовать для оценки поведения микрэлементов в водных объектах.

Результаты исследования химического поведения тяжелых металлов в условиях водоемов при реализации соответствующих административных мер по управлению сбросами важны для контроля загрязнения водных экосистем.

Авторы благодарны филиалу «Азовморинформцентр» ФГБУ «Центррегионводхоз» за предоставленные данные.

Список источников

Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Министерства сельского хозяйства России № 552 от 13.12.2016 г.. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (дата обращения: 28.12.2024).

Экологический атлас Азовского моря. 2011. Под ред. Г.Г. Матишова. Ростов-на-Дону, ЮНЦ РАН, 328 с.
Chemical Equilibrium Diagrams. Electronic resource. URL:<https://sites.google.com/site/chemdiagr/> (date of access: 20.12.2024)

Список литературы

- Болдырев К.А., Кузьмин В.В., Куранов Н.П. 2016. Методика расчета выхода тяжелых металлов из слоя донных отложений водоемов. Водоснабжение и санитарная техника, 6: 43–48.
- Болдырев К.А., Уткин С.С., Казаков С.В. 2017. Особенности прогнозирования распределения металлов между водной фазой и донными отложениями (на примере радионуклидов стронция и цезия). Водоснабжение и санитарная техника, 3: 27–32.
- Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. 2009. Выявление признаков придонной гипоксии в Азовском море и Керченском проливе на базе контактных и спутниковых данных. Геология и полезные ископаемые Мирового океана, 4: 71–78.
- Буфетова М.В. 2015. Загрязнение вод Азовского моря тяжелыми металлами. Юг России: экология, развитие, 10(3): 112–120.
- Буфетова М.В. 2018. Оценка потоков тяжелых металлов (Pb, Cd) в абиотических компонентах экосистемы Азовского моря. Проблемы региональной экологии, 4: 70–73. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2018-14070>
- Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. 1968. Растворы, минералы, равновесия. М., МИР, 368 с.
- Давыдова О.А., Коровина Е.В., Ваганова Е.С., Гусева И.Т., Красун Б.А., Исаева М.А., Марцева Т.Ю., Мулюкова В.В., Климов Е.С., Бузаева М.В. 2016. Физико-химические аспекты миграционных процессов тяжелых металлов в природных водных системах. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия, 8(2): 40–50. <https://doi.org/10.14529/chem160205>
- Липатникова О.А. 2011. Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование форм нахождения микроэлементов в донных отложениях Иваньковского водохранилища. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 25 с.
- Михайленко А.В., Федоров Ю.А., Доценко И.В. 2018. Тяжелые металлы в компонентах ландшафта Азовского моря. Таганрог, Южный федеральный университет, 214 с.
- Михеева Т.Н., Шайдулина Г.Ф., Кутлиахметов А.Н., Сафарова В.И., Кудашева Ф.Х., Курбангалиев В.С. 2012. Количественная и качественная оценка роли донных отложений в процессах формирования состава контактирующих с ними водных масс. Георесурсы, 8(50): 51–56.
- Папина Т.С. 2001. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряд: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем. Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы, 62: 1–58.
- Пивоваров С.А. 2003. Физико-химическое моделирование поведения тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd) в природных водах: комплексы в растворе, адсорбция, ионный обмен, транспортные явления. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Москва, 22 с.
- Решетняк О.С., Закруткин В.Е. 2016. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента). Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 4(192): 102–109.
- Соколова О.В. 2008. Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование миграции тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения» в зоне антропогенного воздействия. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 23 с.
- Соколова О.В., Шестакова Т.В., Гринчук Д.В., Шваров Ю.В. 2006. Термодинамическое моделирование форм нахождения тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения» при автотранспортном загрязнении. Вестник Московского университета. Серия 4. Геология, 3: 36–45.

- Федоров Ю.А., Доценко И.В., Михайленко А.В. 2015. Поведение тяжелых металлов в воде Азовского моря во время ветровой активности. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 3(187): 108–112.
- Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. 2002. Отв. ред. Матищов Г.Г. Апатиты, КНЦ РАН, 447 с.
- Mueller B., Duffek A. 2001. Similar Adsorption Parameters for Trace Metals with Different Aquatic Particles. *Aquatic Geochemistry*, 7: 107–126. <https://doi.org/10.1023/A:1017598400001>.
- Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. 2013. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3-a Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. *US geological survey techniques and methods*, 6 (A43): 497.
- Popova N., Artemiev G., Zinicovscaia I., Yushin N., Demina L., Boldyrev K., Sobolev D., Safonov A. 2023. Biogeochemical Permeable Barrier Based on Zeolite and Expanded Clay for Immobilization of Metals in Groundwater. *Hydrology*, 10(1): 1–10. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010004>.
- Warmer H., van Dokkum R. 2002. Water Pollution Control in the Netherlands. *Policy and Practice* 2001, RIZA Report 2002.009, Lelystad: 77 p.

References

- Boldyrev K.A., Kuz'min V.V., Kuranov N.P. 2016. The Method of Calculating Heavy Metal Release from the Layer of Water Body Bottom Deposits. *Water supply and sanitary technique*, 6: 43–48 (in Russian).
- Boldyrev K.A., Utkin S.S., Kazakov S.V. 2017. Specificities of Predicting Metal Distribution Between Aqueous Phase and Bottom Sediments (by the Example of Strontium and Cesium Radionuclides). *Water supply and sanitary technique*, 3: 27–32 (in Russian).
- Borovskaya R.V., Lomakin P.D., Panov B.N., Spiridonova E.O. 2009. Vyyavlenie priznakov pridonnogo gipoksi v Azovskom more i Kerchenskom prolive na baze kontaktnykh i sputnikovykh dannykh [Detection of Benthic Hypoxia in the Sea of Azov and Kerch Strait Based on Contact and Satellite Data]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 4: 71–78.
- Bufetova M.V. 2015. Pollution of Sea of Azov with Heavy Metals. *South of Russia: ecology, development*, 10(3): 112–120 (in Russian).
- Bufetova M.V. 2018. Estimation of Heavy Metal Fluxes (Pb, Cd) in the Abiotic Components of the Azov Sea Ecosystem. *Regional Environmental Issues*, 4: 70–73 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2018-14070>
- Garrels R.M., Krajst Ch.L. 1968. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya* [Solutions, minerals, equilibria]. Moscow, Pabl. MIR, 368 p.
- Davydova O.A., Korovina E.V., Vaganova E.S., Guseva I.T., Krasun B.A., Isaeva M.A., Marceva T.Yu., Mulyukova V.V., Klimov E.S., Buzaeva M.V. 2016. Physical-Chemistry Aspects of Migratory Processes of Heavy Metals in Natural Aqueous Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Series «Chemistry»*, 8(2): 40–50 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/chem160205>
- Lipatnikova O.A. 2011. *Ekspertperimental'noe issledovanie i termodinamicheskoe modelirovaniye form nahozeniya mikroelementov v donnykh otlozheniyakh Ivankovskogo vodohranilishcha* [Experimental Study and Thermodynamic Modeling of Trace Elements Forms in Bottom Sediments of Ivankovskoye Reservoir]. Abstract dis. ... cand. geol.-min. sciences. Moscow, 25 p.
- Mihailenko A.V., Fedorov Yu.A., Docenko I.V. 2018. *Tyazhelye metally v komponentah landscape* [Heavy Metals in Landscape Components of the Azov Sea]. Taganrog, Pabl. Yuzhnny federalnyy universitet, 214 p.
- Miheeva T.N., Shaydulina G.F., Kutliahmetov A.N., Safarova V.I., Kudasheva F.H., Kurbangaliev V.S. 2012. Qualitative and Quantitative Evaluation of the Bottom Sediments Role in the Formation of Water Masses Composition Contacting with Them. *Georesources*, 8(50): 51–56 (in Russian).
- Papina T.S. 2001. Transport and Peculiarities of Heavy Metals Distribution in the Row: Water – Suspended Substance – River Ecosystems Sludge. *Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoy literatury*, 62: 1–58 (in Russian).
- Pivovarov S.A. 2003. *Fiziko-himicheskoe modelirovaniye povedeniya tyazhelyh metallov (Cu, Zn, Cd) v prirodnnyh vodah: kompleksy v rastvore, adsorbciya, ionnyj obmen, transportnye yavleniya* [Physicochemical Modeling of the Behavior of Heavy Metals (Cu, Zn, Cd) in Natural Waters: Complexes in Solution, Adsorption, Ion Exchange, Transport Phenomena]. Abstract. dis. ... cand. chem. sciences. Moscow, 22 p.

- Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E. 2016. Bottom Sediments as a Source of Secondary Water Pollution by Metals (According to the Laboratory Experiment). Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences, 4: 102–110.
- Sokolova O.V. 2008. Eksperimental'noe issledovanie i termodinamicheskoe modelirovaniye migracii tyazhelyh metallov v sisteme «voda – donnye otlozheniya» v zone antropogenного vozdejstviya [Experimental Study and Thermodynamic Modeling of Heavy Metals Migration in the System “Water – Bottom Sediments” in the Zone of Anthropogenic Impact]. Abstract dis. ... cand. techn. sciences. Moscow, 23 p.
- Sokolova O.V., Shestakova T.V., Grinchuk D.V., Shvarov Yu.V. 2006. Termodinamicheskoe modelirovaniye form nahozhdeniya tyazhelyh metallov v sisteme «voda – donnye otlozheniya» pri avtotransportnom zagryaznenii [Thermodynamic Modeling of Heavy Metals Forms in the System “Water – Bottom Sediments” at Motor Transport Pollution]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seria 4. Geologiya, 3: 36–45.
- Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mihailenko A.V. 2015. The Behaviour of Heavy Metals in Water of the Sea of Azov During a Wind-Driven Activity. Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences, 3(187): 108–112 (in Russian).
- Ecosystem Investigations of the Sea of Azov and Its Coastal Zone. 2002. Ed. by Matishov G.G. Apatity, Pabl. KNC RAN, 447 p. (in Russian).
- Mueller B., Duffek A. 2001. Similar Adsorption Parameters for Trace Metals with Different Aquatic Particles. Aquatic Geochemistry, 7: 107–126. <https://doi.org/10.1023/A:1017598400001>.
- Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. 2013. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3-a Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. US geological survey techniques and methods, 6 (A43): 497.
- Popova N., Artemiev G., Zinicovscaia I., Yushin N., Demina L., Boldyrev K., Sobolev D., Safonov A. 2023. Biogeochemical Permeable Barrier Based on Zeolite and Expanded Clay for Immobilization of Metals in Groundwater. Hydrology, 10(1): 1–10. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010004>.
- Warmer H., van Dokkum R. 2002. Water Pollution Control in the Netherlands. Policy and Practice 2001, RIZA Report 2002.009, Lelystad: 77 p.

Поступила в редакцию 21.03.2025;
поступила после рецензирования 29.04.2025;
принята к публикации 23.05.2025

Received March 21, 2025;
Revised April 29, 2025;
Accepted May 23, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буфетова Марина Васильевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

Болдырев Кирилл Александрович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, г. Москва, Россия

Соболев Денис Андреевич, техник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Bufetova, Candidate of Sciences in Geography, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Nature Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI), Moscow, Russia

Kirill A. Boldyrev, Candidate of Sciences in Chemistry, Senior Researcher, Institute for Problems of Safe Development of Nuclear Power Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Denis A. Sobolev, Technician, Institute for Problems of Safe Development of Nuclear Power Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

УДК 614.76
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-420-433
EDN DZTRZZ

Полиэлементное загрязнение почв в зоне аэroteхногенного воздействия Новочеркасской ГРЭС

Константина Е.Ю., Чаплыгин В.А., Манджиева С.С.,

Черникова Н.П., Минкина Т.М.

Южный федеральный университет

Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

kons@sfedu.ru, chaplygin@sfedu.ru, msaglara@sfedu.ru, nchernikova@sfedu.ru, minkina@sfedu.ru

Аннотация. Тепловые электростанции являются значимым источником выбросов загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов и металлоидов (ТММ). В данной работе представлена оценка индивидуального и суммарного загрязнения ТММ антропогенно-измененных почв импактной зоны Новочеркасской ГРЭС (НГРЭС) (Ростовская обл., Россия). Проведен сравнительный анализ результатов классификации загрязнения почв по показателям, широко используемым в отечественной и зарубежной практике экологического контроля: индексу геоаккумуляции (I_{geo}) и коэффициенту концентрации (K_c), суммарному показателю загрязнения (Zc), модифицированному комплексному суммарному показателю загрязнения ($Zct(z)$) и индексу загрязнения Немерова (NPI). Показано, что, согласно K_c , приоритетными поллютантами почв импактной зоны НГРЭС являются Ni, Cu, Zn, Pb, Cd и As, тогда как по I_{geo} только последние три элемента представляют значимую опасность. Максимальные значения Zc и $Zct(z)$ достигают 21 и 27 соответственно, что характеризует умеренно опасное суммарное загрязнение почв, тогда как, согласно NPI, в импактной зоне НГРЭС выявлена область опасного загрязнения. Полученные результаты подтверждают наличие аэroteхногенного воздействия тепловой электростанции на прилегающие территории, вместе с тем негативные эффекты в виде выраженного полиэлементного загрязнения почв проявляются в радиусе 3 км от источника.

Ключевые слова: потенциально токсичные элементы, тяжелые металлы и металлоиды, оценка загрязнения, индекс геоаккумуляции, индекс загрязнения Немерова, теплоэлектростанция, Ростовская область

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10097, <https://rscf.ru/project/22-77-10097/>

Для цитирования: Константина Е.Ю., Чаплыгин В.А., Манджиева С.С., Черникова Н.П., Минкина Т.М. 2025. Полиэлементное загрязнение почв в зоне аэroteхногенного воздействия Новочеркасской ГРЭС. Региональные геосистемы, 49(3): 420–433. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-420-433 EDN: DZTRZZ

Polyelemental Pollution of Soils under the Aerotechnogenic Impact of Novocherkassk State District Power Plant

Elizaveta Yu. Konstantinova, Viktor A. Chaplygin, Saglara S. Mandzhieva,
Natalia P. Chernikova, Tatiana M. Minkina

Southern Federal University

105/42 Bolshaya Sadovaya St, Rostov-on-Don 344006, Russia

kons@sfedu.ru, chaplygin@sfedu.ru, msaglara@sfedu.ru, nchernikova@sfedu.ru, minkina@sfedu.ru

Abstract. Thermal power plants are a significant source of pollutant emissions, including heavy metals and metalloids (HMs). This paper presents an assessment of individual and total HM pollution of

© Константина Е.Ю., Чаплыгин В.А., Манджиева С.С., Черникова Н.П., Минкина Т.М., 2025

anthropogenically modified soils in the Novocherkassk State District Power Plant (NGRES) impact zone (Rostov Region, Russia). A comparative analysis of the results of soil pollution classification was performed applying the parameters widely used in domestic and foreign environmental monitoring practices: geoaccumulation index (Igeo) and concentration coefficient (Kc), total pollution index (Zc), modified complex total pollution index (Zct(g)), and Nemerov pollution index (NPI). The findings show that according to Kc, the priority pollutants of soils in the NGRES impact zone are Ni, Cu, Zn, Pb, Cd and As, while according to Igeo, only the last three elements pose a significant hazard. The maximum values of Zc and Zct(g) reach 21 and 27, respectively, which characterizes moderately dangerous total soil pollution, whereas according to NPI, an area of dangerous pollution has been identified in the impact zone of NGRES. The results obtained confirm the presence of aerotechnogenic impact of the thermal power plant on adjacent territories, at the same time, negative effects in the form of pronounced soil pollution with heavy metals appear within a radius of three km from the source.

Keywords: potentially toxic elements, trace elements, pollution assessment, geoaccumulation index, Nemerov pollution index, thermal power plant, Rostov Region

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-77-10097, <https://rscf.ru/project/22-77-10097/>

For citation: Konstantinova E.Yu., Chaplygin V.A., Mandzhieva S.S., Chernikova N.P., Minkina T.M. 2025. Polyelemental Pollution of Soils under the Aerotechnogenic Impact of Novocherkassk State District Power Plant. Regional Geosystems, 49(3): 420–433 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-420-433 EDN: DZTRZZ

Введение

Электростанции являются одним из ключевых источников загрязнения окружающей среды, особенно при использовании угля в качестве топлива. Его сжигание приводит к выбросам оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO), диоксида серы (SO_2), парниковых газов и пыли, содержащей тяжелые металлы и металлоиды (ТММ) – V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd и Pb [Коротченко и др., 2020; Linnik et al., 2020; Guercio et al., 2022; Mor et al., 2022]. Помимо выбросов, в процессе работы теплоэлектростанций образуются золошлаковые отходы, содержащие органические и неорганические загрязнители, образующиеся в процессе горения [Ковалева и др., 2020; Сычева, Кошелева, 2023; Насонкина и др., 2024; Konstantinov et al., 2024]. В результате пыления и атмосферных выпадений эти поллютанты накапливаются в почвах вокруг предприятий энергетики [Гаретова и др., 2023; Журавлева и др., 2023; Чаплыгин и др. 2024]. Поскольку электростанции часто располагаются в густонаселенных районах, их выбросы представляют серьезную угрозу для здоровья населения [Lobzenko et al., 2020; Minkina et al., 2021].

Новочеркасская ГРЭС (НГРЭС) с установленной мощностью 2258 МВт является крупнейшей тепловой электростанцией юга России. В 7,5 км к западу от нее расположен город Новочеркасск – пятый по численности населения в Ростовской области (160,5 тыс. чел.). Город характеризуется самым высоким уровнем загрязнения атмосферы в регионе (ИЗА 17). Очень высокий уровень загрязнения обусловлен повышенными концентрациями формальдегида, взвешенных частиц, NO, NO_2 и CO [Экологический вестник Дона, 2024].

Многолетние мониторинговые ландшафтно-геохимические исследования импактной зоны НГРЭС выявили значительное повышение содержания ТММ в почвах по сравнению с глобальным и региональным геохимическим фоном [Linnik et al., 2020; Lobzenko et al., 2020; Minkina et al., 2021; Чаплыгин и др. 2024]. В качестве глобальных эталонов для оценки интенсивности техногенеза и выявления геохимической специализации почв [Касимов, Власов, 2015] используются кларки элементов в верхней части континентальной коры (ВЧКК) и среднемировое содержание элементов в почвах [Kabata-Pendias, 2011; Rudnick, Gao, 2014]. Региональный фон дает представление о среднем содержании химических элементов в поч-

вах на участках однородных по ландшафтно-геохимической структуре со сходными литолого-геоморфологическими условиями, вне прямого антропогенного воздействия [Minkina et al., 2021]. Эколого-геохимическая оценка состояния почв проводится с применением различных индивидуальных и суммарных показателей загрязнения. В отечественной практике используются коэффициенты концентрации отдельных веществ (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) [МУ 2.1.7.730-99, 1999; СанПиН 1.2.3685-21, 2021]. Для учета различной токсичности химических элементов и широкого разброса значений K_c Ю.Н. Водяницким [2010] предложен модифицированный комплексный показатель суммарного загрязнения почв $Zct(g)$ [Лисецкий, Зеленская, 2023]. В международных исследованиях наиболее универсальными считаются индекс геоаккумуляции (I_{geo}) и индекс загрязнения Немерова (NPI) [Kowalska et al., 2018].

Цель данной работы состоит в эколого-геохимической оценке опасности моно- и полиэлементного загрязнения почв импактной зоны НГРЭС с использованием наиболее эффективных показателей.

Объекты и методы исследования

Исследование проводили в августе 2023 года в зоне влияния НГРЭС ($47^{\circ}24'00''$ N, $40^{\circ}13'55''$ E) в долине рек Тузлов и Аксай и Аксайской возвышенности (Ростовская область, Россия), в 35 км северо-восточнее Ростова-на-Дону. Климат территории умеренно континентальный с преобладанием восточных, северо-восточных, западных и юго-западных ветров. Локальная циркуляция атмосферы трансформируется под влиянием рельефа: воздушные массы, проникающие с востока в долину рек Тузлов и Аксай, встречаются с естественным орографическим барьером – Аксайской возвышенностью, достигающей высоты 106 м [Minkina et al., 2021].

В качестве топлива на НГРЭС используется каменный уголь (в том числе антрацитовый штыб) и природный газ [Бушумов и др., 2016]. Предусмотрено смешанное удаление золы уноса: как мокрое, так и сухое [Насонкина и др., 2024], с последующим складированием на золоотвалах к юго-западу от станции. Объем накопленных золошлаковых отходов составляет не менее 50 млн т [Будина и др., 2021]. Зола уноса НГРЭС состоит из алюмосиликатной массы, магнетитовых, угольных и карбонатных микрочастиц, ферросилиция, элементов-примесей, в частности Cr (64,1 мг/кг), Ni (< 150 мг/кг), Zn (50 мг/кг), As (64,1 мг/кг), Cd (< 5 мг/кг) [Федорова, Шафорост, 2015].

Характер аэротехногенного воздействия НГРЭС на геохимические свойства почв оценивался на основе данных 25 мониторинговых площадок, расположенных вдоль радиусов, исходящих от дымовых труб станции в различных направлениях. Исследования охватывали ближнюю зону влияния (до 3 км), а также участки на расстоянии от 3 до 20 км по линии господствующих ветров. Данный метод выбора площадок мониторинга широко используется для анализа пространственного распределения загрязняющих веществ в зонах воздействия электростанций [Linnik et al., 2020; Mor et al., 2022; Parlak et al., 2023]. В качестве эталонного природного ландшафта, типичного для района исследований, выступал участок ООПТ «Персиановская заповедная степь», где были изучены черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые под целинной разнотравно-типчаково-ковыльной степью. На каждой мониторинговой площадке методом конверта из глубины 0–10 см отбирали смешанные пробы поверхностного горизонта почв, которые затем подготавливали к дальнейшему анализу, согласно стандартным методикам [МУ 2.1.7.730-99, 1999]. Почвы территории исследования представлены черноземами обыкновенными ($n = 19$), лугово-черноземными ($n = 4$) и аллювиальными дерновыми насыщенными почвами ($n = 2$). Их свойства достаточно вариативны: встречаются виды от мало- до сильно гумусированных (Сорг 0,9–3,5 %), от слабо- до умеренно карбонатных (CaCO_3 , 1–8,3 %). Реакция варьирует от слабокислых до щелочных

(рН 6,2–8,0), емкость катионного обмена от средней до очень высокой (15–46 ммоль(+)/100 г) [Чаплыгин и др. 2024]. Аллювиальные дерновые насыщенные почвы имеют песчаный и супесчаный состав (доля частиц < 0,01 мм 7,5–11 %), тогда как черноземы обыкновенные и лугово-черноземные почвы представлены разновидностями от легкосуглинистых до легкоглинистых (доля частиц < 0,01 мм 27–68).

Валовое содержание V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Pb определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа в воздушно-сухих таблетированных пробах с использованием спектрометра «Спектроскан МАКС-GV» (Спектрон, Россия) [М-049-ПДО/18, 2018]. Определение Cd проводилось по неаттестованной методике, представляющей собой пользовательскую градуировку, разработанную в соответствии с рекомендацией производителя оборудования.

Для оценки степени техногенной трансформации почв рассчитаны кларки концентрации (KK) относительно глобального фона [Касимов, Власов, 2012]:

$$KK = C_i/K,$$

где C_i – содержание элемента в почве, K – кларк элемента в ВЧКК [Rudnick, Gao, 2014] или среднемировое содержание элементов в почвах (СМСП) [Kabata-Pendias, 2011]. Значения KK от 0,95 до 1,5 соответствуют околокларковым содержаниям элементов, а в пределах 1,5–3 и 3–10 указывают на слабое и умеренное концентрирование ТММ. Значения $KK > 10$ отмечают сильное концентрирование элементов. По средним значениям KK построены геохимические спектры фоновых и антропогенно-измененных почв.

Оценка опасности загрязнения почв проведена на основе индивидуальных и комплексных геохимических показателей (табл. 1). Относительно фоновых содержаний химических элементов рассчитаны Kc и $Igeo$:

$$Kc = C_i/C_b$$
$$Igeo = \log_2 \left(\frac{C_i}{1,5 \cdot C_b} \right),$$

где C_i – содержание элемента в почве, C_b – содержание элемента в целинном черноземе обыкновенном Персиановской заповедной степи. Преимущество $Igeo$ состоит в сокращении литогенной вариативности почв и детальной шкале оценки [Müller, 1986], тогда как Kc широко распространен и имеет аналог – индекс загрязнения почв (PI), кроме того, используется для расчета комплексных показателей [Kowalska et al., 2018].

Таблица 1
Table 1

Классификация загрязнения почв по геохимическим показателям
Classification of soil pollution by geochemical indices

Класс загрязнения	Разброс значений [Müller, 1986; Kowalska et al., 2018]		
	$Igeo$	Kc	PI
Нет загрязнения	≤ 0	≤ 1	$\leq 0,7$
С угрозой загрязнения	–	–	0,7–1,0
Слабое	0–1	1–2	1–2
Умеренное	1–2	–	2–3
Среднее	2–3	2–3	–
Сильное	3–4	3–5	> 3
Очень сильное	4–5	> 5	–
Экстремальное	> 5	–	–

Полиэлементное загрязнение почв оценивалось на основе Zc , $Zct(g)$ и NPI [Водяницкий, 2010; СанПиН 1.2.3685-21, 2021; Kowalska et al., 2018]:

$$Zc = \sum Kc_i - (n-1), Kc_i > 1$$

$$Zct(g) = n \times \left(\prod [Kc_i \times Kt_i] \right)^{1/n} - (n-1), Kc_i > 2$$

$$NPI = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Kc_i \right)^2 + Kc_{max}^2}{2}}$$

где n – число рассматриваемых веществ, Kc_i – коэффициент концентрации отдельного элемента, Kc_{max} – максимальное значение коэффициента концентрации среди всех исследуемых элементов, Kt – коэффициент токсичности, равный 1,5 для Cr, Ni, Zn, As, Cd, Pb, 1,0 для Cu, 0,5 для V и Mn [Водяницкий, 2010]. К недостаткам Zc относится зависимость оценки опасности от числа исследуемых поллютантов. Вместе с тем данный показатель позволяет как классифицировать степень загрязнения почв, так и оценить уровень экологической опасности (табл. 2). Аналогичная система значений используется при анализе $Zct(g)$. Следует отметить, что благодаря NPI можно выделить зоны загрязнения, обусловленные высоким содержанием одного или нескольких элементов при низком содержании остальных [Konstantinov et al., 2024].

Таблица 2
 Table 2

Классификация загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения

[Федорец и др., 2015; СанПиН 1.2.3685-21, 2021]

Classification of soil pollution by total pollution index

Значения	Категория загрязнения	Уровень экологической опасности
< 4	неопасная	минимальный
4–8	допустимая	очень низкий
8–16	малоопасная	низкий
16–32	умеренно опасная	средний
32–64	опасная	высокий
64–128	очень опасная	очень высокий
≥ 128	чрезвычайно опасная	максимальный

Паттерны пространственного распределения моно- и полиэлементного загрязнения почв охарактеризованы с помощью точечных карт, построенных в программе *Surfer 12* (*Golden Software*, США). Описательные статистики вычислены с использованием программного комплекса *Statistica 12* (*StatSoft*, США).

Результаты и их обсуждение

Распределение Cr, Mn, Ni, Zn и As в антропогенно-измененных почвах импактной зоны НГРЭС гомогенно (коэффициенты вариации < 33 %) и близко к нормальному, а средние значения близки к медианным (табл. 3). Напротив, V, Cu, Cd и Pb демонстрируют существенную пространственную неоднородность. Таким образом, первая группа элементов предположительно имеет природное происхождение, а вторая преимущественно поступает от антропогенных источников [Minkina et al., 2021]. По убыванию средних содержаний в почвах элементы образуют ряд: Mn > Cr ≈ Zn > V > Cu ≈ Ni > Pb > As > Cd.

Таблица 3
Table 3

Валовое содержание тяжелых металлов и металлоидов в почвах импактной зоны НГРЭС (n = 25)

Total content of heavy metals and metalloids in soils
in the impact zone of Novocherkassk State District Power Plant (n = 25)

Элемент	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Коэф. вариации, %	C_b
V	77,3	73,5	30,0	143,9	32,4	41,9	117,6
Cr	108,2	111,7	71,1	154	20,9	19,3	96,5
Mn	805	791	597	1044	139	17,3	815,0
Ni	52,6	52,8	29,9	91,0	16,3	31,1	39,0
Cu	55,7	47,2	26,1	147,4	26	46,8	49,1
Zn	102,9	94	70,1	193,0	25,6	24,9	68,5
As	8,1	8,3	4,1	10,3	1,5	18,5	2,0
Cd	0,65	0,45	0,3	2,8	0,55	83,8	0,35
Pb	36,6	31,2	11	97,3	17,5	47,8	25,3

Во всех почвах умеренно концентрируется Cd (KK 3,9–9,7) относительно ВЧКК (рис. 1), что свидетельствует о техногенном поступлении данного элемента [Сычева, Кошелева, 2024]. В фоновых черноземах обыкновенных и аллювиальных дерновых насыщенных почвах содержания ТММ близки к фону или рассеиваются, тогда как в измененных черноземах обыкновенных и лугово-черноземных почвах слабо концентрируются Cu, Zn, As и Pb, околофоновые концентрации имеют Cr, Mn и Ni, а рассеивается V. Относительно СМСП в целинных черноземах рассеиваются V, As, Cd и Pb, в пределах природной вариации находятся Ni, Cu и Zn, а Cr и Mn слабо накапливаются. Несколько ниже уровня ТММ в аллювиальных дерновых насыщенных почвах. В черноземах обыкновенных и лугово-черноземных почвах содержания большинства ТММ превышают СМСП в 1,2–2,2 раза, тогда как содержания V, напротив, ниже глобального фона.

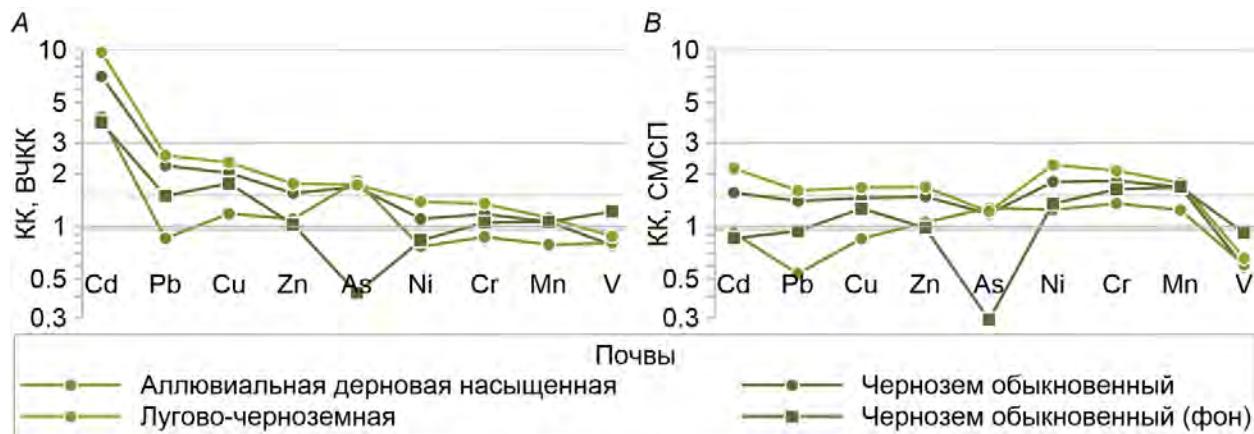


Рис. 1. Геохимические спектры почв импактной зоны НГРЭС относительно кларка верхней части континентальной коры (ВЧКК) (А) и среднемирового содержания металлов в почвах (СМСП) (Б)

Fig. 1. Geochemical spectra of soils in the impact area of NGRES relative to the upper continental crust (A) and the world soil average content (B)

Анализ I_{geo} показал, что содержания V и Mn в почвах района исследования не представляют опасности загрязнения. Значения I_{geo} большинства элементов не превышают 1,0, а доля почв, слабо загрязненных Cr, Ni, Cu и Zn, составляет 4–36 %. Максимальных значений I_{geo} достигают As (1,8), Pb (1,4) и Cd (2,4), а доля загрязненных почв составляет суммарно 100 %, 28 % и 40 % соответственно (рис. 2). Умеренное загрязнение Cd отмечено в единичной почве в непосредственной близости к НГРЭС, источником которого, вероятно, является пыление золоотвала [Ковалева и др., 2020; Konstantinov et al., 2024].

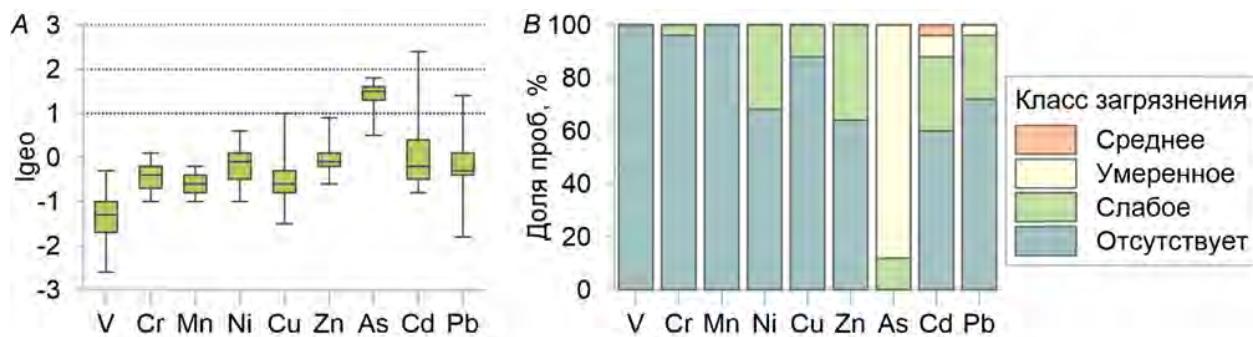


Рис. 2. Вариабельность индекса геоаккумуляции (I_{geo}) тяжелых металлов (медиана \pm квартиль, усы – минимум и максимум) в почвах импактной зоны НГРЭС и распределение почв по классам загрязнения

Fig. 2. Variability of the geoaccumulation index (I_{geo}) of heavy metals (median \pm quartile, whiskers – minimum and maximum) in the soils of the impact area of the NGRES and distribution of soils by pollution classes

Более консервативную оценку индивидуального загрязнения почв демонстрируют результаты анализа K_c (рис. 3). Минимальную опасность представляют V, Cr и Mn, значения K_c которых варьируют в пределах 0,3–1,6, а доля слабо загрязненных проб составляет 16–56 %. Превышение содержаний Ni, Cu, Zn над фоном достигает 2,3–3 раза. В большей части проб отмечается слабое загрязнение (36–92 %) данными элементами, в единичных – среднее (4–8 %). Наибольшую опасность представляют Pb и Cd, максимальные K_c которых составляют 3,8 и 8,1, а загрязнение варьирует от слабого (52–64 %) до сильного (3,9–8,0 %) и очень сильного (0–3,9 %). Значения K_c составили 2,1–5,2 для As, уровня которого соответствуют среднему загрязнению в 4 % проб, сильному в 48 % и очень сильному в 12 % проб. Таким образом, по результатам анализа I_{geo} и K_c к приоритетным поллютантам почв импактной зоны НГРЭС относятся As, Cd и Pb. Более ранние исследования данной территории показали аналогичные результаты [Minkina et al., 2021].

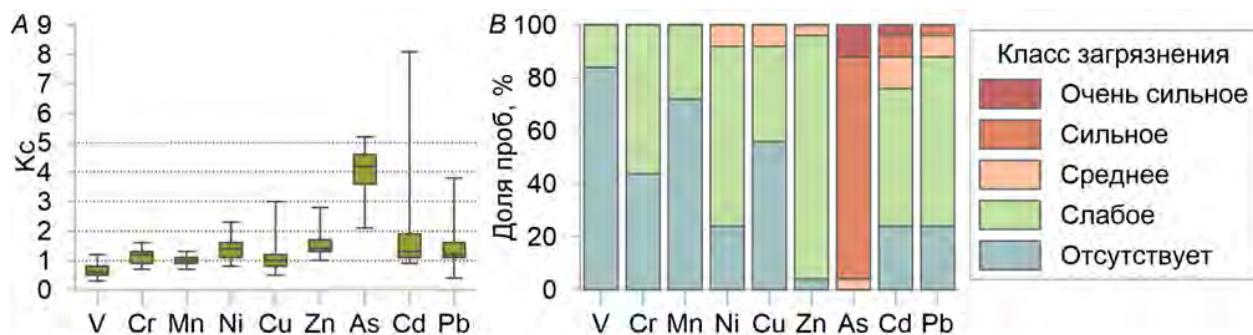


Рис. 3. Вариабельность коэффициента концентрации (K_c) тяжелых металлов (медиана \pm квартиль, усы – минимум и максимум) в почвах импактной зоны НГРЭС и распределение почв по классам загрязнения

Fig. 3. Variability of the heavy metal concentration coefficient (K_c) (median \pm quartile, whiskers – minimum and maximum) in soils of the impact zone of NGRES and distribution of soils by pollution classes

Распределение K_c обнаруживает следующие пространственные особенности (рис. 4). Слабоконтрастная аномалия V отмечается к северу от НГРЭС, вероятно, обусловленная составом почвообразующих пород. Содержания Cr и Mn незначительно превышают природный фон в почвах по направлению господствующих ветров, вместе с тем в непосредственной близости от НГРЭС содержания данных элементов несколько ниже. Данный факт свидетельствует в пользу предположения об их естественном происхождении.

Области геохимических аномалий Ni, Cu и Zn прилегают к золоотвалам НГРЭС, с удалением от источника значения K_c снижаются. Золоотвалы угольных ТЭЦ обогащены Ni, Cu, Zn, Cd, As, Pb и служат вторичным источником загрязнения сопредельных ланд-

шахт [Гаретова и др., 2023; Насонкина и др., 2024]. Геохимические аномалии Cd и Pb в целом более обширны и контрастны, а градиент снижения K_c при удалении от НГРЭС менее выражен. Отмечена обширная область высоких значений K_c для As.

В почвах зон аэрохимического воздействия ТЭЦ определяются полиэлементные аномалии, фиксируемые в радиусе от 3–5 до 10 км [Коротченко и др., 2020; Журавлева и др., 2023; Сычева, Кошелева, 2023, 2024]. Значения Z_c в почвах импактной зоны НГРЭС варьируют в пределах 2,8–21,2 при среднем 6,8. Почвы распределены по категориям загрязнения следующим образом: 12% – неопасное, 56% – допустимое, 28% – малоопасное и 4% – умеренно опасное. Область мало и умеренно опасного загрязнения почв по Z_c локализована в пределах 3,0 км зоны от НГРЭС (рис. 5). При большем удалении от источника уровень экологической опасности суммарного загрязнения почв ТММ снижается и оценивается как минимальный. Необходимо отметить, что за последние пять лет уровень суммарного загрязнения снизился: Z_c в эпицентре достигал 20, на удалении до 20 км по господствующим направлениям ветра составлял 6 [Linnik et al., 2020].

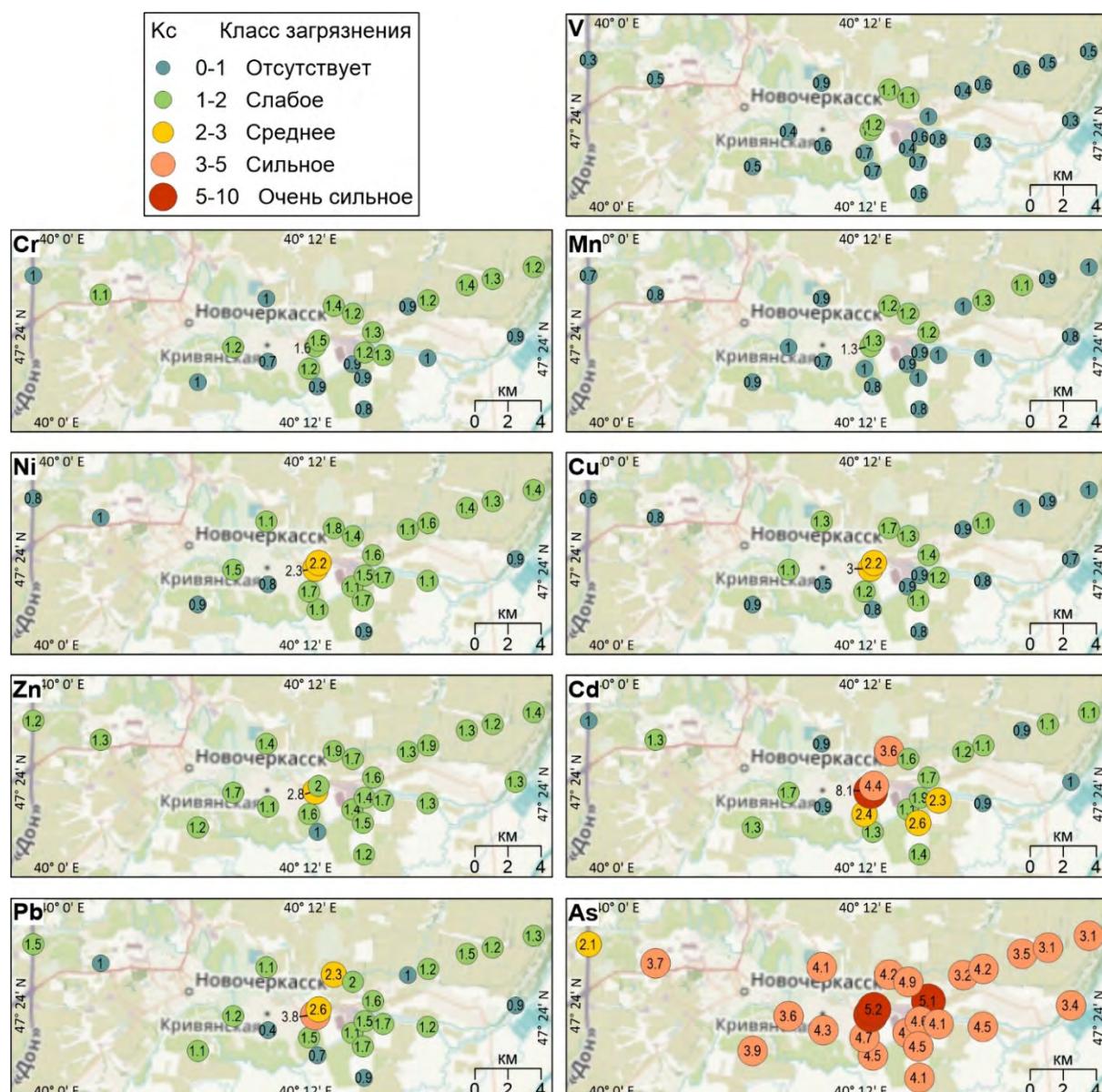


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициентов концентрации (K_c) тяжелых металлов в почвах импактной зоны НГРЭС

Fig. 4. Spatial distribution of heavy metal concentration coefficients (K_c) in soils of the impact zone of NGRES

Вероятно, данные изменения обусловлены постепенным увеличением доли природного газа в топливном балансе НГРЭС. Значения $Zct(\tau)$ в почвах территории исследования составили 3,2–27 при среднем 7,8. В среднем оценки распределения почв по категориям смешены в сторону более опасного загрязнения по сравнению с традиционным показателем Zc : 4% проб относятся к незагрязненным, 72% характеризуются допустимым загрязнением, 16% – малоопасным и 8% – умеренно опасным. В ближней зоне воздействия НГРЭС $Zct(\tau)$ варьирует в пределах 6,9–27, причем максимум приурочен к участкам вблизи золоотвалов.

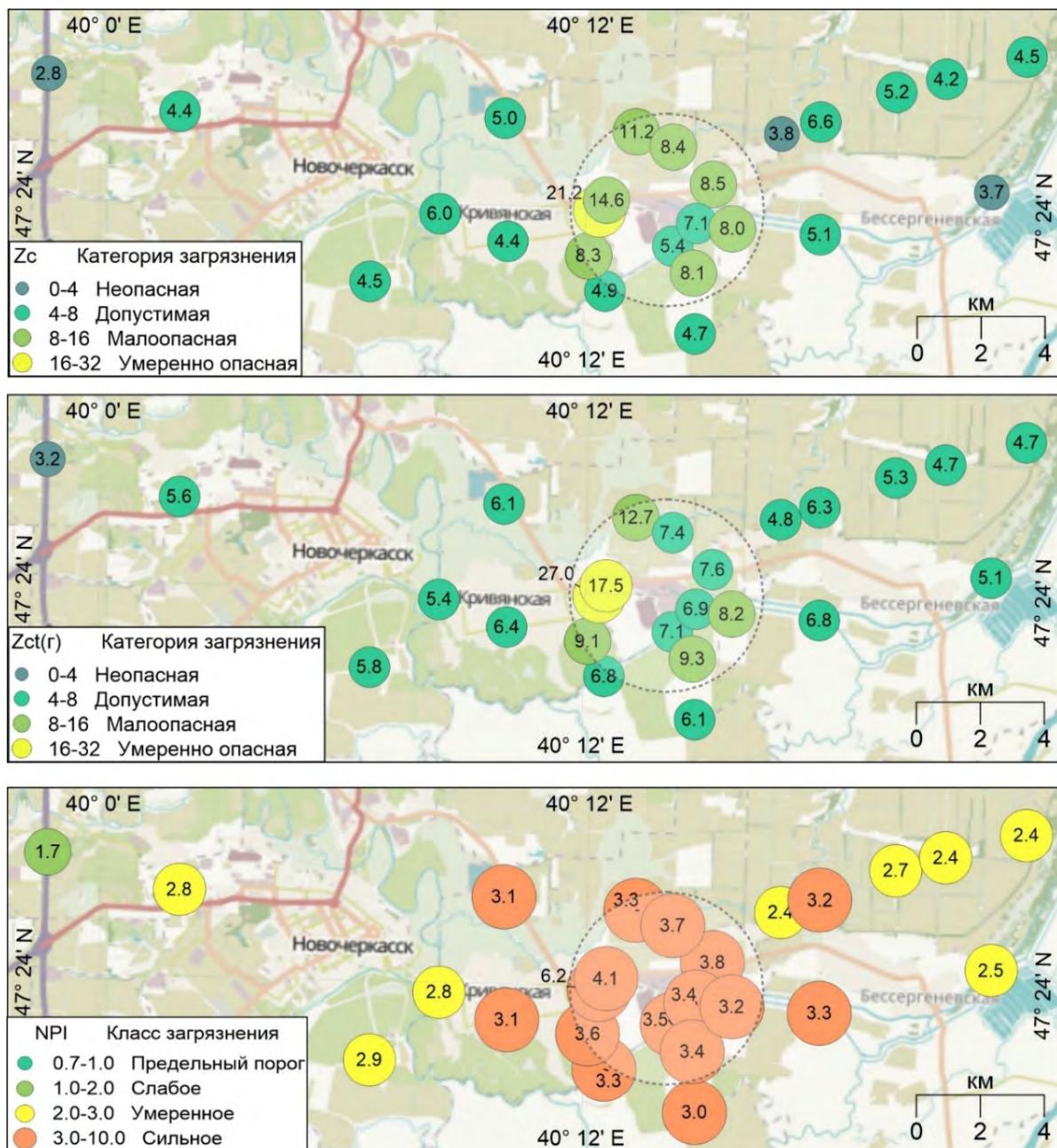


Рис. 5. Пространственное распределение суммарного показателя загрязнения почв (Zc), модифицированного комплексного суммарного показателя загрязнения почв ($Zct(\tau)$) и индекса загрязнения Немерова (NPI) в импактной зоне НГРЭС. Пунктиром отмечена ближняя трехкилометровая зона воздействия

Fig. 5. Spatial distribution of the total soil pollution index (Zc) and Nemerov pollution index (NPI) in the impact zone of NGRES. The dotted line marks the nearest five-kilometer zone of influence of the state district power plant

Загрязнение почв, согласно значениям NPI , в среднем характеризуется как более высокое по сравнению с оценкой Zc . Значения NPI составили 1,7–6,2 (в среднем 3,2). Слабым загрязнением характеризуются 4 % изученных проб почв, тогда как в 36 % и 60 % проб отмечено загрязнение умеренное и сильное соответственно. Сильное загрязнение прослеживается до 6 км НГРЭС (см. рис. 5). С удалением от источника по направлению господствующих ветров опасность загрязнения снижается.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить уровни и закономерности пространственные распределения металлов в почвах импактной зоны НГРЭС. Сравнительный анализ индивидуальных геохимических показателей показал большую эффективность Kc , тогда как применение $Igeo$, вероятно, приводит к недооценке загрязнения. Содержания Ni, Cu, Zn, As, Cd и Pb в ближней трехкилометровой зоне НГРЭС до 2–8 раз превышают фоновые содержания в целинных черноземах обыкновенных, а загрязнение достигает среднего и сильного уровня. Значения Zc варьируют в пределах 1,1–16,9, при этом 68 % почв классифицируются как неопасные. Модифицированный комплексный показатель суммарного загрязнения почв $Zct(g)$ позволяет учесть различную токсичность ТММ, как следствие, его значения в среднем выше по сравнению с Zc . В пределах 3 км от НГРЭС наблюдаются зоны умеренно опасного загрязнения. Анализ NPI выявил более высокую степень загрязнения по сравнению с Zc , особенно в ближней зоне. За последние пять лет уровень загрязнения снизился, вероятно, из-за увеличения доли природного газа в топливном балансе НГРЭС. Таким образом, As, Cd и Pb являются приоритетными загрязнителями почв, а источником их поступления остаются выбросы электростанции и пыление золошлаковых отходов.

Список источников

- М-049-ПДО/18. Методика измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв и донных отложений рентгенофлуоресцентным методом. 2018. СПб, ООО «НПО «Спектрон», 18 с.
- МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г.). 1999. М., Информационно-издательский центр Минздрава России, 18 с.
- СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (ред. от 30.12.2022). Электронный ресурс. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=603138049&backlink=1&&nd=602092088> (дата обращения 27.02.2025).
- Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2023 году». 2024. Ростов-на-Дону, Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области, 369 с.

Список литературы

- Будина Т.С., Курбанов Н.Х., Прокофьева Л.М., Шийко В.Г. 2021. Учет промышленных отходов на примере золошлаковых отвалов. Экономика и управление: проблемы, решения, 4(4(112)): 182–188. <https://doi.org/10.36871/ek.up.r.2021.04.04.033>.
- Бушумов С.А., Короткова Т.Г., Сай Ю.В. 2016. Технологические стадии производства и техногенные отходы Новочеркасской ГРЭС. Электронный сетевой политехнический журнал «Научные труды КУБГТУ», 13: 25–34.
- Водяницкий Ю.Н. 2010. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами. Почвоведение, 10: 1276–1280.

- Гаретова Л.А., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Фишер Н.К., Кошельков А.М. 2023. Оценка состояния воды, почв и донных отложений территории, сопряженной с бывшим золоотвалом. Экология и промышленность России, 27(2): 60–66. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-2-60-66>
- Журавлева М.А., Зубрев Н.И., Кокин С.М. 2023. Сравнение вкладов тепловой станции и железной дороги в загрязнение почвы тяжелыми металлами. Наука и техника транспорта, 3: 106–110.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. 2012. Технофильность химических элементов в начале XXI века. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 1: 15–22.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. 2015. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2: 7–17.
- Ковалева Е.В., Матвеенко Т.И., Вагурин И.Ю., Кузьмина О.С. 2020. Воздействия золоотвалов теплоэлектростанций на окружающую среду в черте пригородных зон. Polish Journal of Science, 28–1(28): 11–21.
- Коротченко И.С., Первушина Г.Г., Мучкина Е.Я. 2020. Воздействие процесса сжигания углей Ирша-Бородинского разреза на депонирование тяжелых металлов в почве (на примере Минусинской ТЭЦ). Уголь, 6(1131): 67–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-6-67-69>
- Лисецкий Ф.Н., Зеленская Е.Я. 2023. Различия в содержании тяжелых металлов в почвах Южного берега Крыма (пространственно-временной анализ). Экосистемы, 34: 81–91.
- Насонкина Н.Г., Антоненко С.Е., Забурдаев В.С., Соколов Д.Г. 2024. Системный подход к оценке экологического воздействия отходов ТЭС ДНР на окружающую среду. Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, 2024-5(169): 96–104. <https://doi.org/10.71536/vd.2024.5c169.12>
- Сычева Д.Г., Кошелева Н.Е. 2023. Эколо-геохимическое состояние почвенного покрова г. Гусиногорска в зоне влияния угольной ГРЭС. Почвоведение, 8: 953–969. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600270>
- Сычева Д.Г., Кошелева Н.Е. 2024. Источники, уровни накопления и экологическая опасность тяжелых металлов и металлоидов в почвах и фракции РМ10 г. Северобайкальска. Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов, 335(3): 137–153. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/3/4259>
- Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Медведева М.В., Ахметова Г.В., Новиков С.Г., Ткаченко Ю.Н., Солодовников А.Н. 2015. Тяжелые металлы в почвах Карелии. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 222 с.
- Федорова Н.В., Шафорост Д.А. 2015. Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Ростовской области. Теплоэнергетика, 1: 53–58. <https://doi.org/10.1134/S0040363615010038>
- Чаплыгин В.А., Бурачевская М.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Сиромля Т.И., Черникова Н.П., Дудникова Т.С. 2024. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и лекарственных растениях импактной зоны Новочеркасской ГРЭС. Почвоведение, 10: 1424–1438. <https://doi.org/10.31857/S0032180X24100116>
- Guercio V., Doutsi A., Exley K.S. 2022. A Systematic Review on Solid Fuel Combustion Exposure and Respiratory Health in Adults in Europe, USA, Canada, Australia and New Zealand. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 241: 113926. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113926>
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace Elements in soils and Plant. Boca Raton, CRC Press, 505 p.
- Konstantinov A., Konstantinova E., Novoselov A., Kurasova A., Shuvaev E., Sherstnev A., Zaitseva V., Minkina T. 2024. Geochemical Status of Non-Reclaimed Ash Dumps Subjected to Long-Term Self-Overgrowing: Evidence from the Tyumen, Russia. Journal of Geochemical Exploration, 258: 107387. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107387>
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. 2018. Pollution Indices as Useful Tools for the Comprehensive Evaluation of the Degree of Soil Contamination—A Review. Environmental Geochemistry and Health, 40: 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
- Linnik V.G., Minkina T.M., Bauer T.V., Saveliev A.A., Mandzhieva S.S. 2020. Geochemical Assessment and Spatial Analysis of Heavy Metals Pollution Around Coal-Fired Power Station. Environmental Geochemistry and Health, 42: 4087–4100. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00361-z>

- Lobzenko I., Konstantinova E., Bauer T., Mandzhieva S., Sushkova S., Chaplygin V., Burachevskaya M., Minkina T., Kravcova N., Kalinichenko V. 2020. Assessment of Health Risks Associated with Soil Contamination by Heavy Metal in an Impact Area of Novocherkassk Power Plant. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 578: 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/578/1/012020>
- Minkina T., Konstantinova E., Bauer T., Mandzhieva S., Sushkova S., Chaplygin V., Burachevskaya M., Nazarenko O., Kizilkaya R., Gülsen C., Maksimov A. 2021. Environmental and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Soils Around the Largest Coal-Fired Power Station in Southern Russia. Environmental Geochemistry and Health, 43: 2285–2300. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00666-4>
- Mor S., Vig N., Ravindra K. 2022. Distribution of Heavy Metals in Surface Soil Near a Coal Power Production Unit: Potential Risk to Ecology and Human Health. Environmental Monitoring and Assessment, 194: 263. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09692-w>
- Müller G. 1986. Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente Als Schadstoffe. Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 79: 107–126.
- Parlak M., Taş İ., Görgüsen C., Gökalp Z. 2023. Spatial Distribution and Health Risk Assessment for Heavy Metals of the Soils Around Coal-Fired Power Plants of Northwest Turkey. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 104(20): 9708–9722. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2243231>
- Rudnick R.L., Gao S. 2014. Composition of the Continental Crust. Treatise on geochemistry. Second Edition. Vol. 4: The Crust. Elsevier Science: 1–51.

References

- Budina T.S., Kurbanov N.Kh., Prokofieva L.M., Shyko V.G. Industrial Waste Accounting on Example Ash Dumps. Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya, 4(4(112)): 182–188 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2021.04.04.033>
- Bushumov S.A., Korotkova T.G., Say Yu.V. 2016. Technological stage of production and technogenic waste Novocherkassk SDPP. Scientific Works of KUBSTU, 13: 25–34 (in Russian).
- Vodyanitskii Y.N. 2010. Equations for Assessing the Total Contamination of Soils with Heavy Metals and Metalloids. Eurasian Soil Science, 43(10): 1184–1188 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S106422931010011X>
- Garetdova L.A., Imranova E.L., Kirienko O.A., Fisher N.K., Koshelkov A.M. 2023. Assessment of the State of Water, Soil and Bottom Sediments of the Territory Adjacent to the Former Ash-disposal Area. Ecology and Industry of Russia, 27(2): 60–66 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-2-60-66>
- Zhuravleva M.A., Zubrev N.I., Kokin S.M. 2023. Comparison of Thermal Plant and Railway Influence to Heavy Metal Soil Pollution. Science and Technology in Transport, 3: 106–110 (in Russian).
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. 2012. Technophilia of chemical elements in the beginning of the 21st century. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 1: 15–22 (in Russian).
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. 2015. Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogegeochemistry. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 2: 7–17 (in Russian).
- Kovalyova E., Matveenko T., Vagurin I., Kuzmina O. 2020. Impact of Ash and Slag Landfills of Thermal Power Plants on Atmospheric Air, Soils and Plants. Polish Journal of Science, 28–1(28): 11–21 (in Russian).
- Korotchenko I.S., Pervyshina G.G., Muchkina E.Ya. 2020. Impact of the Coal Burning Process of the Irsha-Borodinsky Open-Pit Mine on the Deposition of Heavy Metals in Soil (for Example, Minusinskaya CHP). Ugol', 6(1131): 67–69 (in Russian). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-6-67-69>
- Lisetskii F.N., Zelenskaya E.Ya. 2023. Differences in the Content of Heavy Metals in the Soils of the Southern Coast of Crimea (Spatio-Temporal Analysis). Ekosistemy, 34: 81–91 (in Russian).
- Nasonkina N.G., Antonenko S.Ye., Zaburdaev V.S., Sokolov D.G. 2024. System Approach to Assessing the Environmental Impact of Heat and Power Stations Waste on the Environment in the DPR. Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety, 2024-5(169): 96–104 (in Russian). <https://doi.org/10.71536/vd.2024.5c169.12>

- Sycheva D.G., Kosheleva N.E. 2023. Ecological and Geochemical State of the Soil Cover of Gusinoozersk in the Impact Zone of Coal Thermal Power Plant. *Eurasian Soil Science*, 56(8): 1114–1129 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/s1064229323600896>
- Sycheva D.G., Kosheleva N.E. 2024. Sources, Accumulation Levels and Environmental Hazard of Heavy Metals and Metalloids in Soils and PM10 Fractions of Severobaykalsk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 335(3): 137–153 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/3/4259>
- Fedorets N.G., Bakhmet O.N., Medvedeva M.V., Novikov S.G., Tkachenko Yu.N., Solodovnikov A.N. 2015. Heavy Metals in Soils of Karelia. *Petrozavodsk, Pabl. Karelskiy nauchnyy tsentr RAN*, 222 p. (in Russian).
- Fedorova N.V., Shaforost D.A. 2015. Prospects for Using the Fly Ash Produced at Thermal Power Plants in the Rostov Region. *Thermal Engineering*, 62(1): 51–57 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0040601515010036>
- Chaplygin V.A., Burachevskay M.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Dudnikova T.S. 2024. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Soils and Medicinal Plants in the Impact Zone of Novocherkassk Power Station. *Eurasian Soil Science*, 57: 1746–1758. <https://doi.org/10.1134/S1064229324601501>
- Guercio V., Doutsi A., Exley K.S. 2022. A Systematic Review on Solid Fuel Combustion Exposure and Respiratory Health in Adults in Europe, USA, Canada, Australia and New Zealand. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 241: 113926. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113926>
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace Elements in soils and Plant. Boca Raton, CRC Press, 505 p.
- Konstantinov A., Konstantinova E., Novoselov A., Kurasova A., Shuvaev E., Sherstnev A., Zaitseva V., Minkina T. 2024. Geochemical Status of Non-Reclaimed Ash Dumps Subjected to Long-Term Self-Overgrowing: Evidence from the Tyumen, Russia. *Journal of Geochemical Exploration*, 258: 107387. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107387>
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. 2018. Pollution Indices as Useful Tools for the Comprehensive Evaluation of the Degree of Soil Contamination—A Review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40: 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
- Linnik V.G., Minkina T.M., Bauer T.V., Saveliev A.A., Mandzhieva S.S. 2020. Geochemical Assessment and Spatial Analysis of Heavy Metals Pollution Around Coal-Fired Power Station. *Environmental Geochemistry and Health*, 42: 4087–4100. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00361-z>
- Lobzenko I., Konstantinova E., Bauer T., Mandzhieva S., Sushkova S., Chaplygin V., Burachevskaya M., Minkina T., Kravcova N., Kalinichenko V. 2020. Assessment of Health Risks Associated with Soil Contamination by Heavy Metal in an Impact Area of Novocherkassk Power Plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 578: 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/578/1/012020>
- Minkina T., Konstantinova E., Bauer T., Mandzhieva S., Sushkova S., Chaplygin V., Burachevskaya M., Nazarenko O., Kizilkaya R., Güller C., Maksimov A. 2021. Environmental and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Soils Around the Largest Coal-Fired Power Station in Southern Russia. *Environmental Geochemistry and Health*, 43: 2285–2300. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00666-4>
- Mor S., Vig N., Ravindra K. 2022. Distribution of Heavy Metals in Surface Soil Near a Coal Power Production Unit: Potential Risk to Ecology and Human Health. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194: 263. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09692-w>
- Müller G. 1986. Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente Als Schadstoffe. *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 79: 107–126.
- Parlak M., Taş İ., Görgißen C., Gökçalp Z. 2023. Spatial Distribution and Health Risk Assessment for Heavy Metals of the Soils Around Coal-Fired Power Plants of Northwest Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(20): 9708–9722. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2243231>
- Rudnick R.L., Gao S. 2014. Composition of the Continental Crust. *Treatise on geochemistry*. Second Edition. Vol. 4: The Crust. Elsevier Science: 1–51.

Поступила в редакцию 01.04.2025;
поступила после рецензирования 07.05.2025;
принята к публикации 10.06.2025

Received April 01, 2025;
Revised May 07, 2025;
Accepted June 10, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Константина Елизавета Юрьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник фронтовой лаборатории «Биоинженерия ризосфера» Академии биологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Чаплыгин Виктор Анатольевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории мониторинга биосфера Академии биологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Манджиева Саглара Сергеевна, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории мониторинга биосфера Академии биологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Черникова Наталья Петровна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» Академии биологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Минкина Татьяна Михайловна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta Yu. Konstantinova, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Frontier Laboratory "Rhizosphere Bioengineering", D.I. Ivanovsky Academy of Biology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Viktor A. Chaplygin, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Research Laboratory for Biosphere Monitoring, D.I. Ivanovsky Academy of Biology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Saglara S. Mandzhieva, Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher of the Research Laboratory of Biosphere Monitoring, D.I. Ivanovsky Academy of Biology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Natalia P. Chernikova, postgraduate student, junior researcher at the laboratory "Agrobiotechnology for Improving Soil Fertility and Quality of Agricultural Products", D.I. Ivanovsky Academy of Biology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Tatiana M. Minkina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment, D.I. Ivanovsky Academy of Biology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

УДК 332.3:504.064.37
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449
EDN GHONWD

Опыт изучения динамики землепользования на основе геосистемного подхода на примере Новогрудской возвышенности Беларуси

Червань А.Н., Кислицын Д.А.

Белорусский государственный университет
Беларусь, 220030, г. Минск, пр. Независимости, 4
chervanalex@mail.ru, dimas_13082000@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается типологический учет изменений динамики структуры землепользования с использованием геосистем в качестве единиц геостатистического анализа. Определены устойчивые тренды изменения площади видов земель, соизмеримые с генетическими и морфологическими особенностями геосистем на примере Новогрудской возвышенности в качестве крупного физико-географического района с использованием ГИС-технологий и дистанционных данных мультиспектральной съемки. Результаты картометрического анализа структуры почвенного покрова геосистем, сопоставленные с трендами изменения площадей видов земель, позволили дополнительно обосновать как направление, так и интенсивность динамики природопользования на примере территории Новогрудской возвышенности.

Ключевые слова: геосистемы, виды земель, автоматизированное дешифрирование, структура почвенного покрова, геоинформационный анализ

Для цитирования: Червань А.Н., Кислицын Д.А. 2025. Опыт изучения динамики землепользования на основе геосистемного подхода на примере Новогрудской возвышенности Беларуси. Региональные геосистемы, 49(3): 434–449. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449
EDN: GHONWD

Studying Land Use Dynamics under the Geosystem Approach on the Example of the Belarus Novogrudok Upland

Alexander N. Chervan, Dmitry A. Kislytsyn

Belarusian State University
4 Nezavisimosti Ave, Minsk 220030, Belarus
chervanalex@mail.ru, dimas_13082000@mail.ru

Abstract. The article is focused on typological recording of changes in the land use structure dynamics using geosystems as geostatistical analysis units. Stable trends in the land type area changes commensurate with the genetic and morphological features of geosystems are determined at the example of the Novogrudok Upland as a large physical-geographical region, using GIS technologies and remote sensing multispectral survey data. The land type structure dynamics for the period from 1999 to 2023 is presented. Digital soil maps of agricultural organizations (scale 1:10000) and administrative districts (scale 1:50000), as well as the FABDEM (digital elevation model) were used to identify geosystems within the Novogrudok Upland, based on comprehensive records of orographic, geomorphological, hypsometric, and lithological criteria according to a hierarchical scheme for grouping geosystems. The results of the cartometric analysis of the geosystem soil cover structure compared with the trends in the land type area changes made it possible to additionally substantiate the direction and intensity of the nature management dynamics in the region under study.

Keywords: geosystems, land types, automated interpretation, structure of soil cover, geoinformation analysis

For citation: Chervan A.N., Kislytsyn D.A. 2025. Studying Land Use Dynamics under the Geosystem Approach on the Example of the Belarus Novogrudok Upland. *Regional Geosystems*, 49(3): 434–449 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-434-449 EDN: GHONWD

Введение

Геосистемный подход к учету и оценке почвенных и земельных ресурсов является методологической основой территориального планирования на разных административных или хозяйственных уровнях. Комплексное изучение почвенно-земельных ресурсов реализуется в рассмотрении почвы и почвенного покрова как биокосной географической системы – геосистемы [Арманд, 1988]. Исследование трендов изменения структуры землепользования в границах закономерно организованных природных единиц позволяет принимать управленические решения хозяйственного использования, адекватные природно-ресурсному потенциалу. Оперативный пространственный анализ актуальных данных землепользования и ретроспективный учет структуры видов земель целесообразно выполнять с использованием ГИС-технологий геообработки векторных и растровых, в том числе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) [Непоклонов и др., 2020; Артемьева, Алифанов, 2024].

Использование технологий автоматизированного дешифрирования ДДЗЗ позволяет существенно снизить трудоемкость картографирования структуры и динамики земельных ресурсов [Скачкова, Курлович, 2022; Costa et al., 2022]. Сочетание объектно-ориентированного подхода и контролируемой классификации при обработке снимков *PlanetScope*, *Sentinel-2*, *Sentinel-1*, а также анализ текстуры и сегментация изображений позволяют комплексно учесть мультиспектральные и радиолокационные данные [Vizzari, 2022]. Постклассификационная обработка повышает точность результатов автоматизированного дешифрирования за счет проведения генерализации и применения маскирования для отдельных классов объектов [Dash et al., 2023], а также путем применения дополнительной информации, включая цифровые модели рельефа [Ye et al., 2021; Wasniewski et al., 2023].

Структура землепользования, соизмеряемая со структурой почвенного покрова (СПП), дает основания для выявления устойчивых трендов, обусловленных изменением потенциала почвенных и земельных ресурсов. Оценка пространственно-временной динамики различных классов земельного покрова и прогнозирование вероятных изменений могут проводиться на основе комплексного анализа результатов дешифрирования ДДЗЗ [Зарубин и др., 2020; Воробьев и др., 2023], а применение информации о цифровых моделях рельефа позволяет определить подверженность почв сельскохозяйственных земель процессам водной эрозии [Синельникова и др., 2023; Кузнецова и др., 2024]. Анализ особенностей распределения индекса *NDVI* является перспективным направлением для мониторинга сельскохозяйственных земель [Пинясова, Павлова, 2024]. На основе разновременных космических снимков *Sentinel-2* за вегетационный сезон по *NDVI* возможно достоверно дифференцировать используемые и неиспользуемые участки, а также пары [Wang et al., 2020; Васильченко, 2024]. Спектральные индексы активно применяются для оценки динамики уровня вегетации растительности в ландшафтах [Гусев, 2022], а также для изучения процессов изменения площади лесопокрытых территорий [Lin et al., 2020] и картографирования структуры землепользования [Silva et al., 2020]. Использование результатов комплексной обработки ДДЗЗ демонстрирует высокую эффективность при проведении экологического мониторинга мелиорированных земель и определении различных видов деградации почв [Шаповалов и др., 2023], а также при оценке лесистости овражно-балочных систем [Терехин, 2024].

Репрезентативность Новогрудской возвышенности относительно структуры и динамики землепользования обусловлена существенной площадью территории и особенностями пространственной дифференциации почвенного покрова и природных условий, учитываемых при выделении и анализе различных геосистем. Данный физико-географический район относится к юго-западному округу Белорусской гряды Западно-Белорусской физико-географической провинции, в пределах которого представлены практически все виды земель (кроме залежных), которые встречаются на территории Беларуси [Реестр земельных ресурсов..., 2024]. Особенности вертикального и горизонтального расчленения рельефа Новогрудской возвышенности обусловливают значительное распространение дерново-подзолистых почв (включая эродированные) с одновременным развитием других генетических типов почв, характеризующихся большим разнообразием как по гранулометрическому составу, так и по степени увлажнения. Пространственный анализ динамики структуры землепользования в границах природных систем, идентифицированных по СПП, дает возможность осуществлять превентивное планирование противодеградационных мероприятий [Червань и др., 2022], например, относительно проявления водной эрозии почв или ухудшения культуртехнического состояния сельскохозяйственных земель.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на территории Новогрудской возвышенности общей площадью 485193 га, значительно превышающей площадь административного района (например, Новогрудского – 167626 га [Реестр земельных ресурсов..., 2024]), и репрезентативной для учета и оценки динамики земель. Данный физико-географический район расположен преимущественно в пределах Новогрудского, Дятловского и Кореличского районов Гродненской области Республики Беларусь, а также в центральной и в северной частях Барановичского района Брестской области, небольшой участок возвышенности приурочен к северо-востоку Слонимского района Гродненской области.

Уточнение границы Новогрудской возвышенности проведено на основе использования геосистемного подхода, учитывающего результаты крупномасштабного (М 1:10 000) анализа почвенного покрова и рельефа. Значительная часть границы физико-географического района проходит вдоль пойменных участков таких рек, как Неман, Щара, Исса, Уша, так как крупные пойменные геосистемы, расположенные на окраине возвышенности, относятся по природным условиям к другим районам. В западной и южной частях Новогрудской возвышенности уточненная граница соответствует переходу к равнинным формам рельефа.

Технологии геоинформационного анализа данных и цифровой обработки космических снимков, а также картографический, статистический и сравнительный методы использованы для учета и оценки землепользования за два периода с общей продолжительностью 24 года: с 1999 по 2010 год и с 2010 по 2023 год. Многозональные космические снимки *Landsat-5* (даты съемки: 08.05.1999 и 22.05.2010) и *Sentinel-2* (01.05.2023), которые имеют уровень обработки *Collection 2 Level 2* и *L2A*, использованы в качестве исходных ДДЗЗ. Вычисление минимальных значений индекса *NDVI* за вегетационный период проведено на основе дополнительной обработки снимков *Landsat-5* за 23.10.1999, 04.10.2010 и 06.10.2010, а также двух снимков *Sentinel-2* за 11.05.2021 и 28.09.2023. Это необходимо для повышения степени достоверности при идентификации пахотных земель, которые имеют более низкие минимальные значения индекса *NDVI* за период с начала мая по конец октября, чем луговые земли.

Автоматизированное дешифрирование космических снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* методом максимального правдоподобия выполнено в ArcGIS 10.7 для выделения 6 видов земель: пахотные, луговые, лесные, под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР),

под водными объектами, под болотами. В отдельный класс объектов объединены земли под застройкой, земли общего пользования и другие техногенные территории. На основе пространственных данных открытых геопорталов (*OpenStreetMap* [2025] и др.) проведено картографирование небольших сельских населенных пунктов, которые затруднительно определить по результатам обработки данных *Landsat-5* с пространственным разрешением 30 м. Генерализация результатов контролируемой классификации и автоматическая векторизация выполнены путем применения функций «*Spatial Analyst*» и «Конвертация», что необходимо для агрегации небольших контуров, которые имеют площадь менее 8 и 20 пикселов для снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* соответственно.

Глобальная цифровая модель рельефа (ЦМР) *FABDEM Copernicus GLO 30 DEM* [FABDEM V1-2..., 2023] использована для расчета уклона и вертикального расчленения. Достаточно высокая точность данных о рельефе (по высоте оценивается в диапазоне от 1,12 до 2,88 м, а для лесных земель – до 5 м) позволяет выполнить картографирование в более крупном масштабе по сравнению с другими общедоступными ЦМР [Шихов, Абдулин, 2024]. Повышение точности результатов дешифрирования выполнено на основе сочетания статистических данных о морфометрии рельефа и вегетационном индексе *NDVI* в пределах каждого контура с помощью инструмента «Зональная статистика в таблицу» в *ArcGIS 10.7*.

По результатам контролируемой классификации космического снимка *Sentinel-2* контуры земель под болотами со средними значениями уклона рельефа более $0,6^\circ$, расположенные внутри лесных массивов, отнесены к лесным землям. Для космических снимков *Landsat-5* для более достоверной дифференциации земель под болотами от луговых земель, которые на переувлажненных участках имеют схожие спектральные характеристики, использованы значения уклона рельефа, которые для болот в среднем не превышают $0,6^\circ$ [Кислицын, Клебанович, 2024]. Пахотные земли выделяются минимальными значениями *NDVI* за вегетационный период по сравнению с луговыми землями, для которых *NDVI* в среднем превышает 0,28 и 0,45 на основе снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* соответственно, что связано с различиями в данных съемки и особенностями съемочных систем. К лесным землям в результате переклассификации отнесены контуры земель под ДКР со средними значениями уклона рельефа менее $0,7^\circ$ и максимальными значениями данного показателя до $1,5^\circ$, что в основном соответствует лесным землям на заболоченных почвах. Если вертикальное расчленение рельефа превышает $15 \text{ м}/\text{км}^2$ для небольших участков болот и индекс *NDVI* составляет более 0,3, то данные контуры экспертно отнесены к лесным землям. Контуры луговых земель, которые граничат только с пашней и имеют площадь до 10 га, классифицированы как пахотные. Это способствует учету существенных спектральных различий внутри очень крупных контуров пашни и исправлению ошибочно выделенных внутри них нескольких видов земель. В результате полуавтоматической переклассификации к землям под ДКР отнесены участки лесов с площадью менее 3 га и средними значениями *NDVI* более 0,35, которые граничат с пахотными и луговыми землями, а также контурами, занятymi кустарниковой растительностью. Оценка точности результатов дешифрирования космического снимка *Sentinel-2* за 2023 год проведена на основе векторного слоя «*Land*» из базы данных земельно-информационной системы (ЗИС) Беларуси, содержащего информацию о видах земель.

Цифровые почвенные карты сельскохозяйственных организаций (М 1:10 000) и административных районов (М 1:50 000), а также ЦМР *FABDEM* использованы для идентификации геосистем в пределах Новогрудской возвышенности на основе комплексного учета орографического, геоморфологического, гипсометрического и литологического критериев, согласно иерархической схеме группировки геосистем, учитывающей их наименование и индекс [Романова и др., 2011]. Для каждой геосистемы геостатистическими методами в *ArcGIS 10.7* выполнен расчет удельного веса видов земель и их групп за 1999, 2010 и 2023 годы. Из общего числа геосистем Новогрудской возвышенности (54), около 95 % занимают 20, среди которых 16 относятся к водораз-

дельным пространствам (водоразделам). Для определения трендов изменения площади сельскохозяйственных, лесных земель и земель под ДКР в 20 основных геосистемах использованы нормированные проценты, рассчитанные по формуле:

$$Y = \left(\left(\frac{x_2}{x_1} \cdot 100 \right) - 100 \right) \cdot x_2,$$

где Y – нормированный процент изменения вида земель за определенный период, x_1 – удельный вес вида земель в начале периода, x_2 – удельный вес вида земель в конце периода.

Определение устойчивости тенденций выполнено путем сопоставления нормированных процентов со среднеквадратическим отклонением для каждого из периодов.

Результаты и их обсуждение

Высокий уровень сельскохозяйственной освоенности территории Новогрудской возвышенности (около 49–51 % при республиканском 38,7 %) обусловлен широким распространением более плодородных суглинистых и супесчаных почв на лессовидных и моренных отложениях. В таблице 1 представлена динамика структуры видов земель Новогрудской возвышенности за период с 1999 по 2023 год. Увеличение удельного веса лесных земель связано с переводом наиболее крупных контуров под ДКР в состав лесов, а также с процессами лесовосстановления на участках, на которых ранее были проведены вырубки. За исследуемый период наблюдается двукратный рост площади земель под ДКР из-за зарастания небольших контуров малоплодородных естественных луговых земель кустарниковой растительностью.

На основе цифровой обработки разновременных космических снимков выявлено незначительное снижение сельскохозяйственной освоенности исследуемой территории (от 54,8 % до 51,0 % за 1999 и 2023 год соответственно). Площадь луговых земель в 2023 году составляет 76 % от аналогичного показателя за 1999 год, что обусловлено переводом наиболее продуктивных участков в состав пашни (преимущественно после 2010 года), а также ростом удельного веса земель под ДКР и лесных массивов. За период с 1999 по 2010 год произошло сокращение площади пахотных земель из-за перевода небольших наименее продуктивных участков пашни в состав улучшенных луговых земель. Увеличение удельного веса пахотных земель произошло после 2010 года и в основном характерно для территории Барановичского и Кореличского районов, которые характеризуются более высоким бонитетом почв.

Земли под болотами представлены фрагментарно на территории Новогрудской возвышенности и расположены в пределах небольших плоских понижений рельефа, реже на участках пойм рек, удельный вес данного вида земель снизился от 1,08 % до 0,78 %. Увеличение площади городской застройки в окрестностях Барановичей, Новогрудка и Дятлово привело к росту удельного веса земель под застройкой, общего пользования, других земель (от 7,84 % до 8,90 % за 24-летний период). Сопоставление удельного веса видов земель за 2023 год проведено для данных, полученных на основе автоматизированного дешифрирования космического снимка *Sentinel-2*, и векторного слоя *Land* из ЗИС.

Оценка точности дешифрирования проведена на основе 975 произвольно расположенных точек, количество которых пропорционально удельному весу вида земель и составляет 81,6 % (табл. 1). Наибольшие значения пользовательской точности характерны для лесных земель и под водными объектами – 90,0 % и более, также высокая степень достоверности характерна для пахотных земель и под застройкой (78,5 % и 84,1 % соответственно). Отдельные контуры улучшенных луговых земель, которые перепахивались в 2021–2023 годах, были отнесены к пахотным, что обуславливает различия с данными ЗИС. Простран-

ственное разрешение космических снимков *Landsat-5* и *Sentinel-2* позволяет идентифицировать крупные участки кустарниковой растительности, но контуры с площадью до 0,3–0,5 га не были определены по результатам контролируемой классификации. Часть участков, на которых проводятся лесовосстановительные мероприятия или расположены заболоченные леса, при дешифрировании отнесены к землям под ДКР, что снижает пользовательскую точность для данного вида земель до 53,1 %. Пространственная достоверность определения земель под болотами невысока (около 50,0 %), несмотря на сопоставимые результаты при сравнении удельного веса, что связано с идентичными спектральными характеристиками и значениями индекса *NDVI*, как и для части контуров луговых заболоченных земель. На основе контролируемой классификации космических снимков выделение водотоков затруднительно (за исключением рек с широким руслом). Поэтому по итогам дешифрирования к землям под водными объектами отнесены в основном водоемы, занимающие небольшие площади в пределах Новогрудской возвышенности.

Таблица 1
Table 1

Динамика структуры видов земель Новогрудской возвышенности
за период с 1999 по 2023 год и оценка точности
Dynamics of Novogrudok Upland land type structure from 1999 to 2023 and accuracy assessment

Вид земель	Удельный вес по ДДЗЗ, %			Удельный вес от общей площади по данным ЗИС, %	Пользовательская точность, %
	1999 год	2010 год	2023 год		
Пахотные	38,23	37,46	38,40	35,87	78,5
Луговые	16,56	15,43	12,56	13,33	62,6
Лесные	34,25	35,18	35,52	35,58	94,7
Под древесно-кустарниковой растительностью	1,72	1,97	3,52	4,25	53,1
Под водными объектами	0,31	0,40	0,33	1,05	90,0
Под болотами	1,08	0,95	0,78	0,78	50,0
Под застройкой, общего пользования, другие земли	7,84	8,62	8,90	9,14	84,1

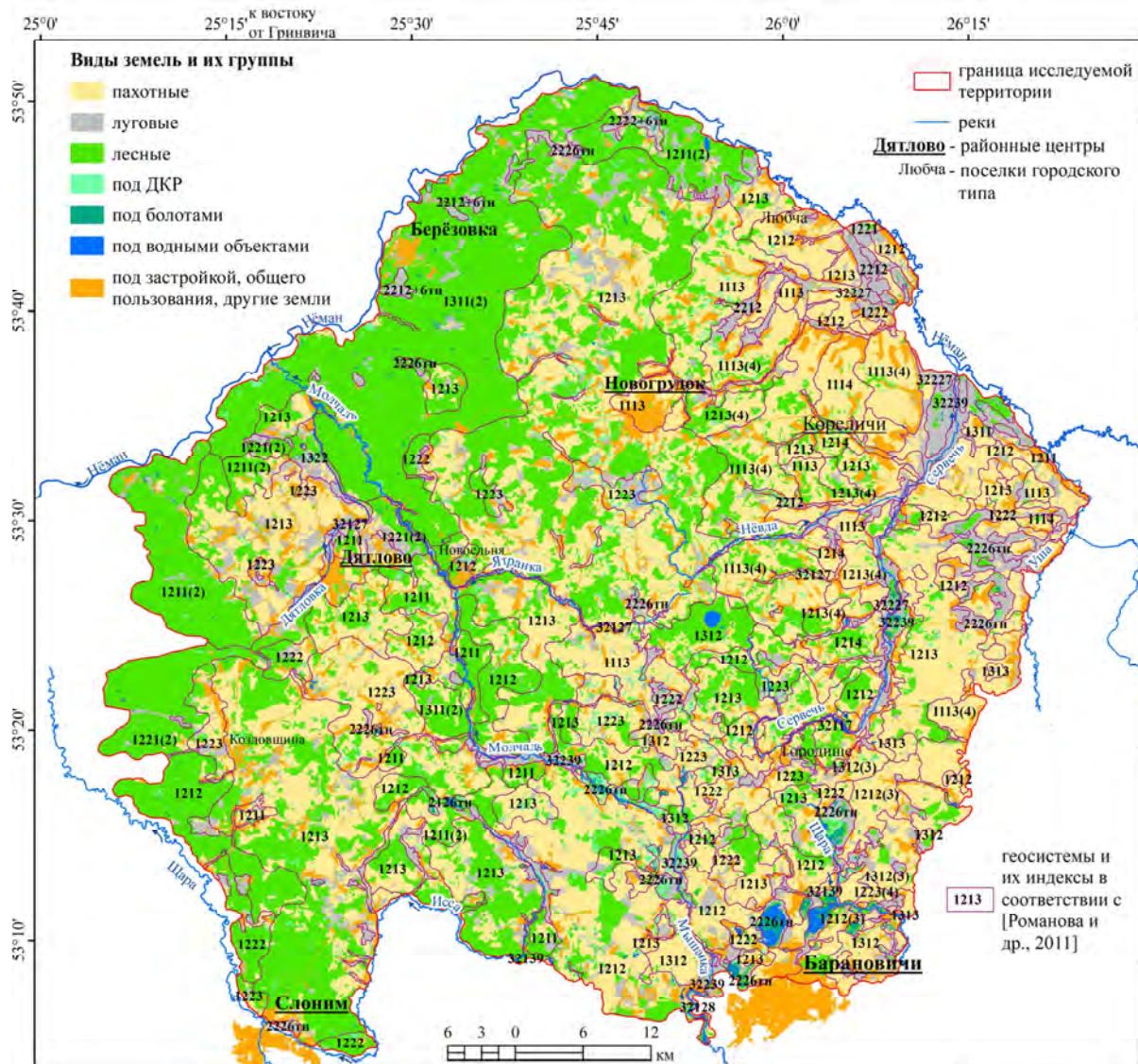
Типологический учет изменений динамики структуры землепользования предполагает использование геосистем в качестве единиц геостатистического анализа. Идентифицированные по почвенным комбинациям геосистемы, закономерно организованные в пространстве, позволяют диагностировать устойчивые тренды изменений площадей по видам земель в границах крупных физико-географических или административно-территориальных единиц.

Пространственное распределение видов земель существенно дифференцировано в пределах исследуемой территории. Лесные массивы сконцентрированы на северо-западе Новогрудской возвышенности и приурочены к высоким плоским водоразделам на рыхлых с двучленными без водоупора почвообразующих породах – 1311(2) в соответствии с [Романова и др., 2011], также высокая лесистость исследуемой территории наблюдается в западной и юго-западной частях, где расположены выпуклые высокие (реже низкие) водоразделы на тех же почвообразующих породах – 1211(2), 1221(2). В окрестностях города Барановичи, к северо-западу от гп. Кореличи и к востоку от долины реки Сервечи проявляется преобладание пахотных земель, что связано с высоким баллом кадастровой оценки, а также большими размерами контуров и средней крутизной склонов.

Крупные массивы пахотных земель приурочены к высоким выпуклым и плоским водоразделам на двучленных породах как с водоупором, так и без него (1212(3), 1312(3)), а также к фрагментарным водоразделам, в том числе на суглинистых породах (1113,

1113(4), 1114), где удельный вес пашни достигает 60–70 %. В центральной части Новогрудской возвышенности (в верховьях реки Ятранки, а также к западу и северо-западу от Новогрудка) удельный вес пахотных земель имеет не такие высокие значения (около 40–50 %), что обусловлено особенностями рельефа на высоком выпуклом водоразделе с дву-членными на водоупоре породах (1213). Луговые земли занимают гораздо меньшие площади по сравнению с пахотными, при этом наиболее крупные участки лугов расположены в речных долинах Немана и Сервечи, а также в пределах глубокой озеровидной заторфованной депрессии (2226 тн) западнее от нижнего течения реки Уши.

Верховья бассейнов рек Щара, Мышанка и Молчадь характеризуются наличием крупных контуров земель под ДКР, которые также представлены в центральной части исследуемой территории среди массивов сельскохозяйственных земель. К северу от Барановичей расположены наиболее крупные контуры земель под болотами (в пределах торфо-разработок), которые также сконцентрированы в долине реки Сервечи (рис. 1).



Пространственный анализ структуры землепользования выполнен для 20 основных геосистем Новогрудской возвышенности. Высокой сельскохозяйственной освоенностью (более 60 %) характеризуются 12 геосистем, которые расположены преимущественно в восточной части исследуемой территории, включая две геосистемы пойм (32227 и 32239), имеющие наибольший удельный вес луговых улучшенных земель (62,9–69,1 %) вследствие гидротехнической мелиорации. В пределах центральной поймы выделяется заторфованная геосистема низкого уровня (32239), которая имеет очень низкую долю пахотных земель (5,1 %), что существенно меньше по сравнению с пойменной геосистемой среднего уровня на рыхлом аллювии (32227) – 23,4 %, так как в естественных условиях без искусственного регулирования водного режима на аллювиальных болотных почвах возрастает удельный вес земель под болотами и под ДКР. Для депрессий также характерно преобладание луговых земель, а доля земель под болотами намного выше для глубокой озеровидной заторфованной геосистемы (2226 тн) по сравнению с неглубокой озеровидной депрессией на двухчленных без водоупора породах и торфе (2212 + 6 тн) – 10,3 % и 2,0 % соответственно (рис. 2).

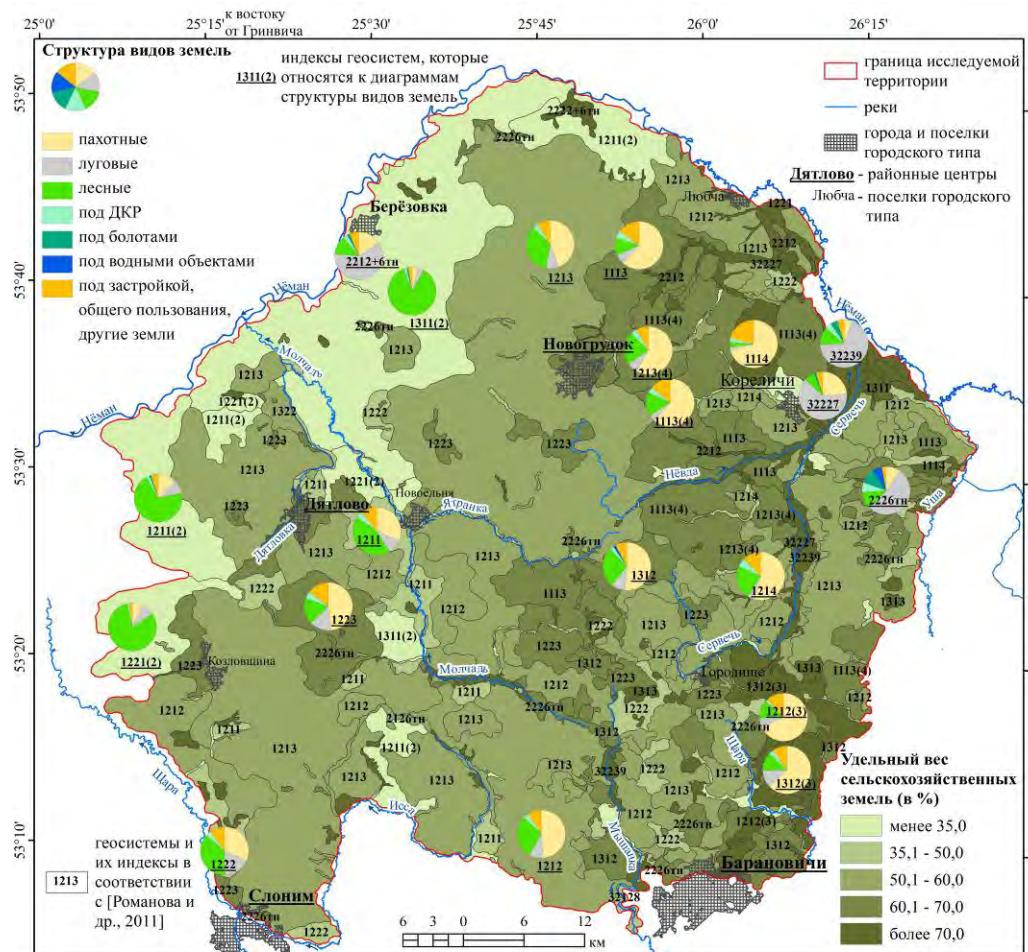


Рис. 2. Структура видов земель и уровень сельскохозяйственной освоенности геосистем Новогрудской возвышенности в 2023 году

Fig. 2. Land type structure and agricultural development level of Novogrudok Upland geosystems in 2023

Фрагментарные высокие водоразделы (1113, 1113(4), 1114) характеризуются низким удельным весом луговых земель (от 6,5 % до 1,5 % на двуучленных с водоупором и суглинистых породах соответственно), и, несмотря на большую сложность почвенного покрова (табл. 2), вследствие высокого уровня плодородия почв распаханы в значитель-

ной степени. Высокие плоские водоразделы (1311(2), 1312, 1312(3)), а также низкие выпуклые (1221(2), 1222, 1223) имеют закономерное проявление роста доли пахотных земель при переходе от рыхлых с двучленными без водоупора породах к двучленным с водоупором. Водоразделы на рыхлых с двучленными без водоупора породах (1211(2), 1221(2), 1311(2)) выделяются максимальной лесистостью (от 70,2 % до 86,5 %), что обусловлено преобладанием песчаных и супесчаных без водоупорного горизонта почв. Земли под ДКР составляют более 4,0 % общей площади в 6 геосистемах, включая 4 водораздела. Наибольший удельный вес от общей площади Новогрудской возвышенности (36,7 %) представлен высоким выпуклым водоразделом на двучленных с водоупором породах (1213), в структуре которого пахотные, лесные и луговые земли составляют 44,1 %, 34,7 % и 8,5 % соответственно.

Заметное увеличение площади земель, занятых лесной и древесно-кустарниковой растительностью, характерно для фрагментарных водоразделов (1113, 1113(4), 1114), а также для высокого выпуклого водораздела на суглинистых породах (1214), что связано с проявлением водной эрозии почв в связи с большими уклонами и распространением лесовидных почвообразующих пород. Площадь сельскохозяйственных земель здесь уменьшилась, особенно за период с 2010 по 2023 год. Высокие плоские водоразделы (1311(2), 1312, 1312(3)) имеют устойчивые тренды роста площади лесных земель и под ДКР и сокращения сельскохозяйственных земель.

Для геосистем водоразделов характерен балансовый контраст между сельскохозяйственными и лесными землями. Выпуклые водоразделы на рыхлых с двучленными без водоупора породах (1211(2), 1221(2)), которые отличаются высоким уровнем лесистости, не имеют выраженных трендов, так как доля пахотных и луговых земель вследствие низкой сельскохозяйственной освоенности слабо изменяется, а площадь лесопокрытых территорий варьируется в зависимости от развития лесных культур и проведения сплошных рубок (рис. 3).

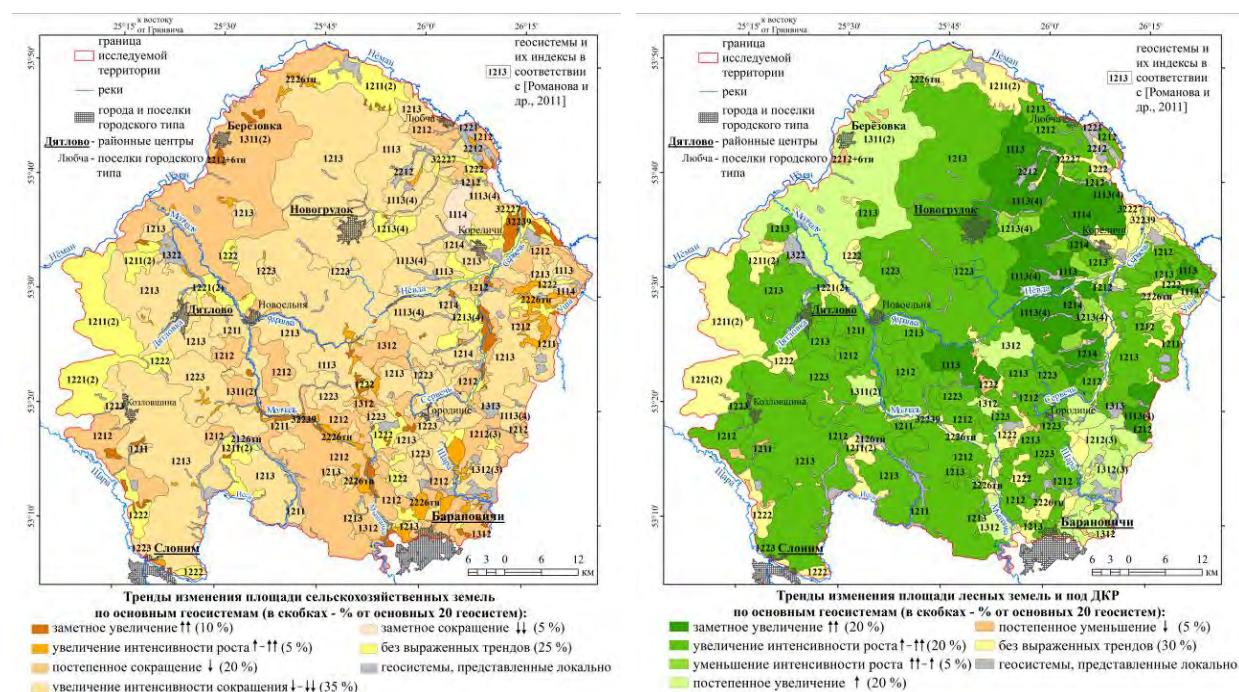


Рис. 3. Тренды изменения площади сельскохозяйственных земель, лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью по основным геосистемам за период с 1999 по 2023 год

Fig. 3. Trends in agricultural land, woodland, and scrubland area changes by major geosystems from 1999 to 2023

Устойчивый рост площади сельскохозяйственных земель наблюдается для депрессий (2212 + 6 тн, 2226 тн) в основном за счет снижения лесистости в 1999–2010 годах вследствие гидротехнической мелиорации, а также увеличения площади луговых земель за период с 2010 по 2023 год. В заторфованных поймах (32239) также происходит активное увеличение доли пахотных земель с 1999 года и луговых с 2010 года. Устойчивый прирост доли лесных земель с 1999 по 2010 год и под ДКР с 2010 года обеспечивается снижением сельскохозяйственной освоенности геосистем на почвообразующих породах с водоупором и легких суглинках (1113, 1213, 1113(4), 1214, 1114).

Выпуклые водоразделы на рыхлых и двучленных без водоупора породах (1211 и 1212) характеризуются увеличением интенсивности роста лесных земель и под ДКР за счет повышения лесистости в Дятловском районе, так как почвенный покров в пределах данных геосистем отличается средним уровнем плодородия, кроме участков к северо-западу от Барановичей. Сельскохозяйственные земли имеют более выраженный тренд к сокращению площади для высокого выпуклого водораздела на двучленных без водоупора породах (1212) по сравнению с аналогичным водоразделом на рыхлых породах (1211) (рис. 4). Это объясняется необходимостью запасов влаги в корнеобитаемом слое сельскохозяйственных культур и соответствующей продуктивной способностью почв.

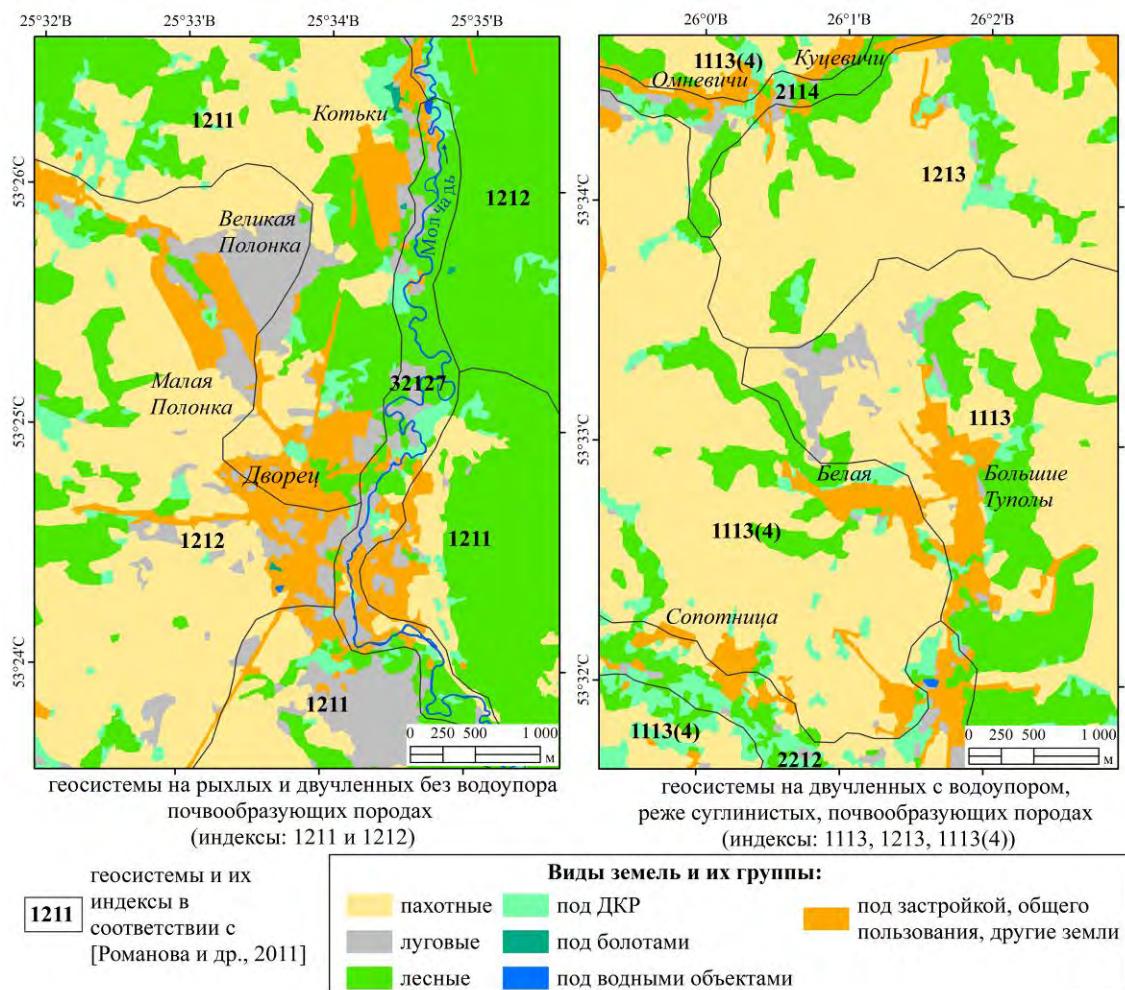


Рис. 4. Типичные геосистемы по трендам изменений сельскохозяйственных земель, лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью за период с 1999 по 2023 год

Fig. 4. Typical geosystems by the trends in agricultural land, woodland, and scrubland changes from 1999 to 2023

Водоразделы на двучленных с водоупором, реже суглинистых, почвообразующих породах (1113, 1113(4), 1213 на рис. 4) выделяются ростом земель под ДКР (особенно по-

сле 2010 года) при малых изменениях уровня лесистости, что вызвано закустаренностью эродированных сельскохозяйственных земель, особенно в нижних частях ложбин стока. В связи с высоким уровнем плодородия почвенного покрова для данных геосистем наблюдается снижение площади луговых земель, а эродированность почв приводит к уменьшению удельного веса пахотных земель.

В целом тренды на сельскохозяйственных землях выявлены для 15 из 20 основных геосистем, по лесным землям и землям под ДКР – 14 из 20, что больше, чем при выявлении тенденций только для земель под ДКР (10 из 20). Для соизмерения трендов изменения структуры землепользования оценивались картометрические показатели СПП геосистем: коэффициенты контрастности, сложности и неоднородности по разработанной ранее методике в *ArcGIS 10.7* [Романова и др., 2011; Сazonov, 2020]. Представленные в таблице 2 коэффициенты дифференцированы по 5 группам: от минимальных (min) до максимальных (max) значений, включая промежуточные варианты (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Оценка структуры почвенного покрова геосистем Новогрудской возвышенности

и динамика видов земель за период с 1999 по 2023 год

Assessment of Novogrudok Upland geosystems' soil cover structure
 and land type dynamics from 1999 to 2023

Геосистема	Коэффициенты СПП (по группам)			Тренды изменения площади (1999–2023)			
	Контрастности	Сложности	Неоднородности	С.-х.	Луговые	Лесные и под ДКР	Под ДКР
1113	med	med-max	med-max	↓-↓↓	↓	↑↑	↑↑
1113(4)	med	med	med	↓-↓↓	↓	↑↑	↑-↑↑
1114	min-med	min-med	min	↓↓		↑↑	↑↑
1211	med	med-max	med	↓-↓↓		↑-↑↑	↑
1211(2)	med	med	med				
1212	med	med-max	med	↓-↓↓	↓	↑	↑
1212(3)	min-med	med	min-med	↓		↑-↑↑	
1213	med	min-med	min-med	↓-↓↓	↓	↑-↑↑	↑
1213(4)	min-med	med	min-med			↑-↑↑	
1214	min	min-med	min	↓-↓↓		↑-↑↑	↑↑
1221(2)	med-max	min-med	med				↓
1222	max	med-max	max			↓-↓↓	↓-↓↓
1223	med-max	med	med	↓-↓↓	↓-↓↓	↑	
1311(2)	med	min-med	med	↓		↑	
1312	min-med	med-max	min-med	↓		↑	↑
1312(3)	min-med	med	med	↓-↓↓		↑	
2212(бтн)	max	med-max	max	↑↑		↓	
2226тн	max	med	max	↑-↑↑			
32227	med	med-max	med				
32239	med-max	med	med-max	↑↑		↓-↓↓	

Следует отметить, что анализ СПП геосистем осуществлялся на двух масштабных уровнях – по цифровым почвенным картам сельскохозяйственных организаций в М 1:10 000 и административных районах в М 1:50 000. Наибольшие значения неоднородности СПП характерны для геосистем выпуклых низких водоразделов (1222) и двух вариантов депрессий (2212(бтн), 2226тн), что объясняется значительной контрастностью автоморфных и гидроморфных почв в их составе. Данный факт усугубляется усложнением почвенного покрова вследствие гидротехнической мелиорации почв в связи с увеличением пахотных и луговых улучшенных земель в их составе за период 1999–2023 годы. Наиболее выраженные тренды увеличения площади земель лесных и

под ДКР на фоне снижения сельскохозяйственной освоенности приурочены к геосистемам фрагментарных и выпуклых высоких водоразделов (1113(4), 1114, 1211, 1214), что объясняется меньшими показателями продуктивности почв, несмотря на невысокие показатели неоднородности СПП.

Геосистемы выпуклых высоких и низких водоразделов, а также центральных пойм среднего уровня на рыхлых почвообразующих породах (1211(2), 1221(2), 32227) отличаются тем, что за 24-летний период практически не выявлено каких-либо устойчивых изменений в структуре видов земель. В первую очередь, это объясняется невысокой продуктивной способностью таких почв.

Заключение

Оценка многолетней динамики землепользования важна с точки зрения выработки стратегических решений в природопользовании. Пространственный анализ видов земель крупных физико-географических или административных регионов целесообразно выполнять в границах закономерно организованных геосистем, типологически объединяющих схожие условия землепользования и реакцию на техногенное воздействие с точки зрения возможных процессов деградации почвенного покрова. Необходимость актуальных данных и автоматизации геообработки обуславливает применение информации ДДЗЗ и инструментария ГИС-технологий.

Комплексное применение результатов контролируемой классификации космических снимков *Landsat-5*, *Sentinel-2* и ГИС-технологий позволило определить направление и интенсивность трендов изменения площади основных видов земель для 20 основных геосистем Новогрудской возвышенности. Определены различия интенсивности трендов для геосистем вследствие морфологических особенностей рельефа, разного гранулометрического состава и наличия гидротехнического регулирования водного режима почв. Удельный вес пахотных земель имеет наименьшие значения (около 4–5 %) для заторфованной центральной поймы низкого уровня и высокого плоского водораздела на рыхлых с двучленными без водоупора почвообразующих породах, а максимальные значения (более 70 %) характерны для фрагментарного высокого водораздела на суглинистых породах, где продуктивная способность почв приоритетнее развития водно-эррозионных процессов.

Результаты картометрического анализа структуры почвенного покрова геосистем, сопоставленные с трендами изменения площадей видов земель, позволили дополнительно объяснить как направление, так и интенсивность динамики природопользования на территории Новогрудской возвышенности.

Выявление структуры и динамики землепользования Новогрудской возвышенности как репрезентативного крупного физико-географического района Беларуси на основе геосистемного подхода методологически может использоваться в стратегиях территориального планирования на региональном и республиканском уровнях природопользования.

Список источников

- Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь. 2024. Электронный ресурс. URL: https://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (дата обращения: 15.03.2025).
- Сазонов А.А. 2020. Скрипт для расчетов коэффициентов сложности, контрастности и неоднородности структуры почвенного покрова. Минск, БГУ.
- Шихов А.Н., Абдулин Р.К. 2024 Фонд космических снимков для создания карт. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 115 с.
- FABDEM V1-2. 2023. University of Bristol. Electronic resource. URL: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn> (date of access: 16.03.2025).
- OpenStreetMap. 2025. Electronic resource. URL: <http://download.geofabrik.de/europe/belarus.html> (date of access: 17.03.2025).

Список литературы

- Арманд А.Д. 1988. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М., Наука, 261 с.
- Артемьева О.В., Алифанов Н.А. 2024. Картографирование сельскохозяйственных угодий Белгородской области на основе данных дистанционного зондирования. Региональные геосистемы, 48(4): 565–577. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-565-577>
- Васильченко А.А. 2024. Динамика используемых сельскохозяйственных угодий Волго-Ахтубинской поймы на основе сезонных композитных изображений Sentinel-2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(5): 203–218.
- Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Ша Д., Лежнин С.А., Ван Д., Дергунов Д.М. 2023. Мониторинг и прогноз динамики наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым данным в QGIS MOLUSCE. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(5): 176–193. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193>
- Гусев А.П. 2022. Закономерности долговременной динамики локальных геосистем юго-востока Беларуси. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 8(2): 60–70.
- Зарубин О.А., Ларина А.В., Саулин В.А., Шабайкина В.А. 2020. Использование многозональных космических снимков для целей геоинформационного мониторинга и анализа пространственных характеристик сельскохозяйственного землепользования. Вектор ГеоНаук, 3(2): 37–50. <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2020-10017>
- Кислицын Д.А., Клебанович Н.В. 2024. Геоинформационный анализ динамики и структуры классов земельного покрытия Новогрудской возвышенности. Журнал Белорусского государственного университета: География. Геология, 1: 126–140.
- Кузнецова А.С., Краснощеков К.В., Дергунов А.В., Ерунова М.Г., Макаров Д.С., Харламов Д.В., Якубайлик О.Э. 2024. Моделирование водной эрозии с использованием уравнения RUSLE в масштабе землепользования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 145–154. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-145-154>
- Непоклонов В.Б., Хабаров Д.А., Хабарова И.А. 2020. Применение геоинформационных технологий при исследовании изменений структуры землепользования территорий по материалам многозональной космической съемки. Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий, 25(2): 151–159. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-151-159>
- Пинясова Е.В., Павлова Е.В. 2024. Анализ распределения индекса NDVI на посевной площади пашни Республики Хакасия по данным дистанционного зондирования Земли. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 121–130. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130>
- Романова Т.А., Червань А.Н., Андреева В.Л. 2011. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова. Почвоведение, 3: 300–310.
- Синельникова К.П., Берденгалиева А.Н., Матвеев Ш., Балынова В.В., Мелихова А.В. 2023. Картографирование пахотных земель в агроландшафтах Волгоградской области по данным дистанционного зондирования. Исследования Земли из космоса, 5: 85–96. <https://doi.org/10.31857/S0205961423050081>
- Скачкова А.С., Курлович Д.М. 2022. Оценка структуры и динамики земель Западно-Белорусской провинции (по данным дистанционного зондирования Земли). Минск, БГУ, 135 с.
- Терехин Э.А. 2024. Возможности оценки лесистости овражно-балочных систем Среднерусской лесостепи по данным дистанционного зондирования Земли. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(3): 107–120.
- Червань А.Н., Цыбулько Н.Н., Ящухно В.М. 2022. Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/почв Беларуси. Известия РАН. Серия географическая, 86(1): 55–68. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010058>
- Шаповалов Д.А., Ведешин Л.А., Евстратова Л.Г., Антошкин А.А. 2023. Методы использования мультиспектральных снимков при экологическом мониторинге мелиорированных земель. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(4): 187–201.
- Costa H., Benevides P., Moreira F.D., Moraes D., Caetano M. 2022. Spatially Stratified and Multi-Stage Approach for National Land Cover Mapping Based on Sentinel-2 Data and Expert Knowledge. Remote Sensing, 14(8): 1865. <https://doi.org/10.3390/rs14081865>

- Dash P., Sanders S.L., Parajuli, P., Ouyang Y. 2023. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. *Remote Sensing*, 15(16): 4020. <https://doi.org/10.3390/rs15164020>
- Lin X., Niu J., Berndtsson R., Yu X., Zhang L., Chen X. 2020. NDVI Dynamics and Its Response to Climate Change and Reforestation in Northern China. *Remote Sensing*, 12(24): 4138. <https://doi.org/10.3390/rs12244138>
- Silva V.S., Salami G., Silva M.I.O., Silva E.A., Monteiro J.J., Alba E. 2020. Methodological Evaluation of Vegetation Indexes in Land Use and Land Cover (LULC) Classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2): 159–169. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>
- Vizzari M. 2022. PlanetScope, Sentinel-2, and Sentinel-1 Data Integration for Object-Based Land Cover Classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(11): 2628. <https://doi.org/10.3390/rs14112628>
- Wang Q., Li J., Jin T., Chang X., Zhu Y., Li Y., Sun J., Li D. 2020. Comparative Analysis of Landsat-8, Sentinel-2, and GF-1 Data for Retrieving Soil Moisture over Wheat Farmlands. *Remote sensing*, 12(17): 2708 <https://doi.org/10.3390/rs12172708>
- Wasniewski A., Hoscilo A., Aune-Lundberg L. 2023. The Impact of Selection of Reference Samples and DEM on the Accuracy of Land Cover Classification Based on Sentinel-2 Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32: 101035. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101035>
- Ye N., Morgenroth J., Xu C., Chen N. 2021. Indigenous Forest Classification in New Zealand – A Comparison of Classifiers and Sensors. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102: 102395. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102395>

References

- Armand A.D. 1988. Samoorganizatsiya i samoregulyatsiya geograficheskikh sistem [Self-Organization and Self-Regulation of Geographical Systems]. Moscow, Pabl. Nauka, 261 p.
- Artemeva O.V., Alifanov N.A. 2024. Compiling of Agricultural Lands in the Belgorod Region Based on Remote Sensing Data. *Regional Geosystems*, 48(4): 565–577 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-565-577>
- Vasilchenko A.A. 2024. Dynamics of Used Agricultural Lands of the Volga-Akhtuba Floodplain Based on Seasonal Sentinel-2 Composite Images. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(5): 203–218 (in Russian).
- Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Sha J., Lezhnin S.A., Van J., Dergunov D.M. 2023. Monitoring and Prediction of Land Cover Dynamics in the Middle Volga Using Satellite Data with QGIS MOLUSCE. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 20(5): 176–193 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193>
- Gusev A.P. 2022. Patterns of Long-Term Dynamics of Local Geosystems in the South-East of Belarus. *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 8(74): 60–70 (in Russian).
- Zarubin O.A., Larina A.V., Saulin V.A., Shabaikina V.A. 2020. The Use of Multizone Satellite Imagery for the Purpose of Geoinformation Monitoring and Analysis of Spatial Characteristics Of Agricultural Land Use. *Vector of Geosciences*, 3(2): 37–50 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2020-10017>
- Kislitsyn D.A., Klebanovich N.V. 2024. Geoinformation analysis of the dynamics and structure of land cover classes of the Novogrudok Upland. *Journal of the Belarusian State University: Geography. Geology*, 1: 126–140 (in Russian).
- Kuznetsova A.S., Krasnoshchekov K.V., Dergunov A.V., Erunova M.G., Makarov D.S., Kharlamov D.V., Yakubailik O.E. 2024. Modeling Water Erosion Using the RUSLE Equation at the Land Use Scale. *Current problems in remote sensing of the Earth from Space*, 21(3): 145–154 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-145-154>
- Nepoklonov V.B., Khabarov D.A., Khabarova I.A. 2020. Application of Geoinformation Technologies in the Study of Changes in the Structure of Land Use of Territories by Materials of Multi-Zone Space Imaging. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*, 25(2): 151–159 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-151-159>

- Pinyasova E.V., Pavlova E.V. 2024. Analysis of the Distribution of the NDVI Index on the Arable Land Area of the Republic of Khakassia According to Remote Sensing Data. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 21(3): 121–130 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130>
- Romanova T.A., Chervan A.N., Andreeva V.L. 2011. Theoretical Basis and Practical Significance of Investigations into Soil Cover Patterns. Eurasian Soil Science, 44(3): 272–280. <https://doi.org/10.1134/S106422931101011X>
- Sinelnikova K.P., Berdengalieva A.N., Matveev Sh., Balynova V.V., Melikhova A.V. 2023. Mapping of Arable Lands in the Agrolandscapes of the Volgograd Region Using Remote Sensing Data. Issledovanie Zemli iz kosmosa, 5: 85–96 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961423050081>
- Skachkova A.S., Kurlovich D.M. 2022. Otsenka strukturny i dinamiki zemel' Zapadno-Beloruskoy provincii (na osnove dannyh distantsionnogo zondirovaniya) [Assessment of the Structure and Dynamics of the Lands of the West Belarusian Province (Based on Earth Remote Sensing Data)]. Minsk, Publ. BSU, 135 p.
- Terekhin E.A. 2024. Possibilities for Assessing the Forest Cover of Small Dry Valleys in the Central Russian Forest-Steppe Using Remote Sensing Data. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 21(3): 107–120 (in Russian).
- Chervan A.N., Tsybulko N.N., Yatsukno V.M. 2022. Methodological Approaches and Practical Application of the Results of Land/Soil Degradation Assessment in Belarus. Izvestiya RAS. Geographical series, 86(1): 55–68 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622010058>
- Shapovalov D.A., Vedeshin L.A., Evstratova L.G., Antoshkin A.A. 2023. Methods of Using Multispectral Images in Ecological Monitoring of Reclaimed Lands. Current problems in remote sensing of the Earth from Space, 20(4): 187–201 (in Russian).
- Costa H., Benevides P., Moreira F.D., Moraes D., Caetano M. 2022. Spatially Stratified and Multi-Stage Approach for National Land Cover Mapping Based on Sentinel-2 Data and Expert Knowledge. Remote Sensing, 14(8): 1865. <https://doi.org/10.3390/rs14081865>
- Dash P., Sanders S.L., Parajuli, P., Ouyang Y. 2023. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. Remote Sensing, 15(16): 4020. <https://doi.org/10.3390/rs15164020>
- Lin X., Niu J., Berndtsson R., Yu X., Zhang L., Chen X. 2020. NDVI Dynamics and Its Response to Climate Change and Reforestation in Northern China. Remote Sensing, 12(24): 4138. <https://doi.org/10.3390/rs12244138>
- Silva V.S., Salami G., Silva M.I.O., Silva E.A., Monteiro J.J., Alba E. 2020. Methodological Evaluation of Vegetation Indexes in Land Use and Land Cover (LULC) Classification. Geology, Ecology, and Landscapes, 4(2): 159–169. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>
- Vizzari M. 2022. PlanetScope, Sentinel-2, and Sentinel-1 Data Integration for Object-Based Land Cover Classification in Google Earth Engine. Remote Sensing, 14(11): 2628. <https://doi.org/10.3390/rs14112628>
- Wang Q., Li J., Jin T., Chang X., Zhu Y., Li Y., Sun J., Li D. 2020. Comparative Analysis of Landsat-8, Sentinel-2, and GF-1 Data for Retrieving Soil Moisture over Wheat Farmlands. Remote sensing, 12(17): 2708 <https://doi.org/10.3390/rs12172708>
- Wasniewski A., Hoscilo A., Aune-Lundberg L. 2023. The Impact of Selection of Reference Samples and DEM on the Accuracy of Land Cover Classification Based on Sentinel-2 Data. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 32: 101035. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101035>
- Ye N., Morgenroth J., Xu C., Chen N. 2021. Indigenous Forest Classification in New Zealand – A Comparison of Classifiers and Sensors. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 102: 102395. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102395>

Поступила в редакцию 08.04.2025;
поступила после рецензирования 06.05.2025;
принята к публикации 21.06.2025

Received April 08, 2025;
Revised May 06, 2025;
Accepted June 21, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Червань Александр Николаевич,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
заведующий кафедрой почвоведения и
геоинформационных систем факультета
географии и геоинформатики, Белорусский
государственный университет, г. Минск,
Республика Беларусь

Кислицын Дмитрий Андреевич, аспирант,
преподаватель кафедры почвоведения и
геоинформационных систем факультета
географии и геоинформатики, Белорусский
государственный университет, г. Минск,
Республика Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander N. Chervan, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Soil Science and Geoinformation Systems, Faculty of Geography and Geoinformatics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Dmitry A. Kislytsyn, postgraduate student, Lecturer of the Department of Soil Science and Geoinformation Systems, Faculty of Geography and Geoinformatics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

УДК 528.88

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461

EDN: GNMFAR

Оценка скорости формирования древесной растительности на разных типах залежных земель юга Среднерусской возвышенности

Терехин Э.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы 85
terekhin@bsuedu.ru

Аннотация. Анализ влияния процессов облесения постагрогенных земель на их спектрально-отражательные свойства выступает необходимым условием развития подходов мониторинга восстановительных сукцессий на основе спутниковых данных. Изложены результаты оценки многолетней динамики вегетационного индекса для залежных земель юга Среднерусской возвышенности, отличающихся по породному составу древесной растительности и формам ее участия. Установлено, что в начале третьего десятилетия XXI века средняя величина лесистости постагрогенных земель с хвойными породами в несколько раз выше, чем залежей с древесной растительностью, состоящей из лиственных пород. Особенностью постагрогенных земель с лиственными породами на территории региона является то, что для их большинства после более чем двадцатилетнего периода восстановительных сукцессий величина покрытия древесной растительностью не превышает 20 %. Различия в скорости роста вегетационного индекса, описываемые логарифмической кривой, отражают различия между залежами с лиственными и хвойными породами. Вместе с тем тренды многолетних изменений вегетационного индекса характеризуют различия между залежами по наличию участков сплошной или разреженной древесной растительности. После периода восстановительной сукцессии, охватывающего около двух десятилетий, на залежах с лиственными породами статистически значимый тренд вегетационного индекса наблюдается при формировании участков сплошной древесной растительности и не выявляется в случае их отсутствия, при наличии отдельно стоящих деревьев. На постагрогенных землях с хвойными породами статистически значимый положительный тренд выявлен как при формировании участков сплошной, так и разреженной древесной растительности.

Ключевые слова: оставленные аграрные земли, древесная растительность, многолетние ряды, восстановительные сукцессии, NDVI

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Терехин Э.А. 2025. Оценка скорости формирования древесной растительности на разных типах залежных земель юга Среднерусской возвышенности. Региональные геосистемы, 49(3): 450–461. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461 EDN: GNMFAR

Estimating the Afforestation Rate on Different Types of Postagrogenic Lands in the South of the Central Russian Upland

Edgar A. Terekhin

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
terekhin@bsuedu.ru

Abstract. Analysis of the impact produced by afforestation of postagrogenic lands on their spectral-reflective properties is a necessary condition for the development of approaches to monitoring restorative

© Терехин Э.А., 2025

successions based on remote sensing data. The paper analyses the long-term dynamics of the vegetation index for abandoned agricultural lands in the south of the Central Russian Upland, differing in the species composition of tree vegetation and the forms of its participation. In the early 2020s, the average forest cover of postagrogenic lands with coniferous species is several times higher than that of lands with forest vegetation of deciduous species. A regional feature of postagrogenic lands with deciduous trees is that for most of them, after more than a twenty-year period of restorative successions, the forest cover does not exceed 20 %. Differences in the growth rate of the vegetation index, described by a logarithmic curve, characterize the differences between abandoned agricultural lands with deciduous and coniferous species. At the same time, the long-term dynamics of the vegetation index also characterizes the differences between abandoned lands in terms of the presence of areas of continuous or sparse tree vegetation. After a twenty-year period of restorative successions on abandoned lands with deciduous trees, a statistically significant trend in the vegetation index is observed during the formation of areas of continuous forest vegetation and is not detected in the presence of isolated trees. On postagrogenic lands with coniferous species, a statistically significant positive trend is present both in the case of the formation of continuous and sparse tree vegetation.

Keywords: abandoned agricultural lands, tree vegetation, time series, secondary succession, NDVI

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Terekhin E.A. 2025. Estimating the afforestation rate on different types of postagrogenic lands in the south of the Central Russian Upland. *Regional Geosystems*, 49(3): 450–461 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461 EDN: GNMFAR

Введение

Процессы формирования сообществ древесной растительности в последние десятилетия получили достаточно значительное распространение на постагрогенных землях лесной и лесостепной природных зон [Москаленко, Бобровский, 2012; Лежнин, 2016; Пономарева и др., 2018; Данилов и др., 2023]. Анализ естественного облесения и особенностей распространения древесных пород выступает одной из ключевых задач в оценке восстановительных сукцессий, протекающих на них [Карпин и др., 2017; Fradette et al., 2021; Широких и др., 2023]. Вместе с тем крайне актуальными задачами становятся развитие подходов к оценке скорости облесения залежей и разработка показателей, позволяющих анализировать ее пространственные различия. При отсутствии антропогенных или природных нарушений процесс распространения древесной растительности протекает непрерывно, определяя изменения растительного покрова залежных земель на протяжении десятилетий.

Мониторинг восстановительных процессов на бывших пахотных угодьях необходим для решения фундаментальных задач, связанных с географическими особенностями сукцессий [Голеусов, Лисецкий, 2009]. Одновременно мониторинг растительного покрова залежей важен и в контексте принятия решений об их дальнейшем использовании [Иванов и др., 2020; Бурлуцкий и др., 2021; Нечаева, 2023; Сорокина, 2024], особенно в регионах, играющих ключевую роль в аграрном секторе страны [Русанов, 2012; Черкасов, Сосов, 2017; Левыкин и др., 2020]. Примером таких регионов является юг Среднерусской возвышенности, расположенный в условиях лесостепи и характеризующийся преобладанием черноземных почв. На залежных землях в большинстве случаев распространены деревья лиственных пород: яблоня, груша, робиния ложноакациевая, клен ясенелистный и др. Среди них присутствуют и инвазивные виды, которые могут вытеснить местные. В районах произрастания хвойных лесов, часто имеющих искусственное происхождение, на залежных землях формируются насаждения из сосны обыкновенной. На постагрогенных землях региона вследствие восстановительных процессов формируются участки как сплошной, так и разреженной древесной расти-

тельности. Таким образом, анализ скорости облесения залежных земель обуславливает необходимость ее рассмотрения в контексте разных форм участия древесной растительности и различий в ее породном составе.

Возможности объективной оценки скорости облесения постагрених земель во многом связаны с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Обусловлено это тем, что практически только на их основе возможно решение двух ключевых задач, позволяющих выполнить анализ многолетних изменений в лесистости залежей: сформировать необходимую выборку объектов с аналогичным временем постагрениого восстановления и построить длительный ряд наблюдений. В условиях региона многие угодья, ранее пребывавшие в залежном состоянии, вновь вводятся в оборот, поэтому возникает необходимость использования наблюдений за каждый анализируемый год. Вместе с тем становится необходимым и подбор данных за период, достаточный для того, чтобы процессы формирования древесной растительности позволили оценить их скорость, региональные особенности и различия, обусловленные породным составом. Перечисленные факторы требуют ретроспективного анализа на десятилетия назад. Такие возможности доступны на основе рядов спутниковых наблюдений, позволяющих распознать залежи среди других типов земель. Спутниковые данные при этом должны иметь необходимое пространственное разрешение [Медведев и др., 2019; Домнина и др., 2022] и достаточно большой временной охват, чтобы максимально учесть время восстановительных процессов на залежных землях. Не менее важной является и задача корректного анализа и интерпретации их многолетних рядов дистанционно измеряемых характеристик, например, вегетационных индексов. Ее решение обуславливает необходимость использования однотипных спутниковых данных для исключения влияния фактора конструкционных различий съемочной аппаратуры, проявляющихся, например, в границах спектральных диапазонов. В настоящее время наиболее полно перечисленным условиям удовлетворяют данные с прибора *MODIS*, функционирующего на орбите с начала 2000-х гг. Информационные продукты, разрабатываемые на его основе, рассчитываются по атмосферно и радиометрически откорректированным спутниковым данным. Они составляют основу многих исследований, связанных с количественным анализом изменений, происходящих на земной поверхности [Justice et al., 2002; Heck et al., 2019; Zhu et al., 2021].

Цель исследования заключалась в анализе особенностей многолетней динамики вегетационного индекса постагрених земель юга Среднерусской возвышенности в условиях формирования на них древесной растительности. Задачи исследования включали сравнение многолетней динамики вегетационного индекса на залежных землях с лиственными и хвойными породами в условиях, когда происходит формирование разреженной или сплошной, сомкнутой древесной растительности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступали постагрение земли, располагающиеся на юге Среднерусской возвышенности (преимущественно территория Белгородской области). Для основной части территории исследования характерны условия типичной лесостепи, а для юго-восточной части – южной лесостепи.

Формирование выборки объектов проводили таким образом, чтобы она включала постагрение земли с разными породами деревьев (лиственные или хвойные), с разной величиной проективного покрытия древесной растительностью, измеряемой от 0 до 1, и разной формой ее участия (сплошная или разреженная). При подборе объектов стремились отбирать постагрение земли с одинаковым периодом восстановительных сукцессий, т. е. находящихся в залежном состоянии в период исследования 2000–2022 гг.

Выявление различных типов постагрених земель осуществлено на основе совместного анализа разновременных снимков *Landsat TM/OLI* 2000–2022 гг., снимков из

сервиса *Google Earth* аналогичного периода и снимков *Sentinel-2* 2022 года. Для каждого объекта по снимкам *Sentinel-2* подготовлен векторный контур. Снимки из *Google Earth* и *Sentinel-2* применялись для определения формы участия древесной растительности на залежах, либо подтверждения ее отсутствия на них. Для постагогенных земель, на которых присутствует древесная растительность, определена ее величина методом визуального дешифрирования. После подготовки векторной основы для каждой залежи вычислена ее площадь в гектарах. На основе полученной информации установлены количественные данные о распределении залежных земель с лиственными и хвойными породами в разных градациях проектного покрытия от 0 до 1 с интервалом 0,2. Учитывая примерно одинаковое время восстановительной сукцессии на залежных землях, полученные данные на следующем этапе позволили исследовать параметры многолетних рядов индекса *NDVI* как показателей скорости формирования древесной растительности. В общей сложности сформированная выборка включала 138 постагогенных земель суммарной площадью 2188,2 га.

Следующий этап исследования включал вычисление и анализ для каждой залежи многолетнего ряда вегетационного индекса *NDVI*. Соответствующий показатель выбран в связи с тем, что он находится в достаточно сильной зависимости от величины покрытия залежных земель древесной растительностью [Терехин, 2021]. Для расчета индекса использованы информационные продукты *MOD13Q1* [Testa et al., 2018; Anees et al., 2024]. Они являются 16-дневными композитными изображениями *NDVI*, полученными на основе снимков с прибора *MODIS*, прошедших атмосферную и радиометрическую коррекцию. Прибор установлен на спутнике *Terra* и функционирует с начала 2000 года. Для каждой залежи методом зональной статистики рассчитаны значения вегетационного индекса, усредненные в пределах их контуров. Учитывая ограничения пространственного разрешения снимков *MODIS*, для статистического анализа многолетних значений *NDVI* использованы только залежные земли с площадью более 15–20 га. Из 23 значений вегетационного индекса каждого года в анализ включены величины, охватывающие период с начала апреля по конец октября. Они применены для формирования многолетних рядов индекса периода 2000–2022 гг., которые рассчитали для каждой залежи. Для исследования особенностей многолетней динамики каждого типа залежных земель (с лиственными или хвойными породами, с разной формой участия древесной растительности) вычислены ряды, усредненные на основе значений с каждого анализируемого типа постагогенных земель. С учетом того, что многолетняя динамика вегетационного индекса в условиях развития процессов облесения хорошо описывается логарифмической зависимостью, особенности этой функции могут быть использованы для сравнения скорости облесения постагогенных земель. Соответствующий подход может быть использован для сравнения относительных различий между анализируемыми типами залежных земель по скорости роста их проектного покрытия древесной растительностью.

В качестве показателя скорости облесения постагогенных земель использованы также параметры (абсолютная величина и уровень значимости) величины *tau* критерия Манна-Кендалла. Он является непараметрическим критерием для выявления наличия или отсутствия статистически значимого тренда в многолетнем ряде. Абсолютная величина *tau* находится в зависимости от скорости облесения постагогенных земель [Терехин, 2022]. Для расчета параметров этой величины также были использованы многолетние ряды вегетационного индекса, состоящие из значений апреля – октября с 2000 по 2022 год. В рамках исследования фактические особенности постагогенных земель с разной формой участия и скоростью формирования древесной растительности, определенные на основе спутниковых данных, с учетом результатов наземных обследований растительного покрова были сопоставлены с графиками и параметрами многолетней динамики вегетационного индекса на наиболее типичных объектах.

Результаты и обсуждение

В начале третьего десятилетия XXI века на территории юга Среднерусской возвышенности в категории залежных земель с лиственными породами преобладают уголья, величина проективного покрытия древесной растительностью (лесистости) которых не превышает 20 % (рис. 1). Среди залежных земель с хвойными породами деревьев наибольшую долю занимают участки с лесистостью выше 80 %. Обозначенные различия выступают следствием разной скорости заселения лиственными и хвойными породами залежных земель в регионе.

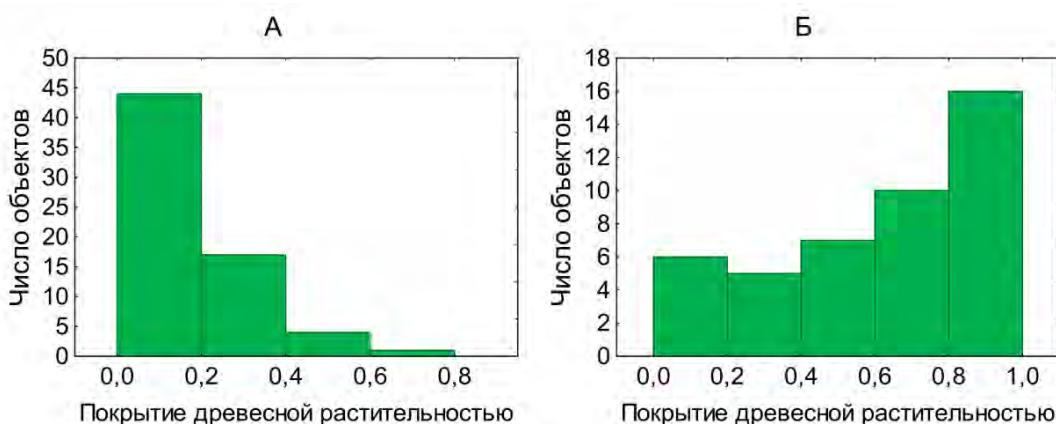


Рис. 1. Гистограммы постагрогенных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, с древесной растительностью, состоящей из лиственных (А) и хвойных пород (Б)

Fig. 1. Histograms of postagrogenic lands typical for the south of the Central Russian Upland, with tree vegetation of deciduous (A) and coniferous (B) species

Более высокая степень облесения постагрогенных земель с хвойными породами обусловлена тем, что участки, на которых они распространяются, непосредственно граничат с сосновыми лесами, а также особенностями самой сосны. Она характеризуется не-прихотливостью и очень быстро поселяется на постагрогенных землях. Залежи с лиственными породами в большинстве случаев окаймляются лесными посадками.

Для постагрогенных земель региона, на которых распространяются лиственные породы деревьев, в начале третьего десятилетия XXI века характерна относительно невысокая величина лесистости при достаточно высоком коэффициенте вариации (табл. 1). Он является следствием различий в состоянии травянистого покрова залежей, которые также оказывают влияние на их значения вегетационного индекса.

Таблица 1
 Table 1

Характеристики лесистости постагрогенных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, в начале третьего десятилетия XXI в.

Parameters of forest cover of postagrogenic lands typical for the south of the Central Russian Upland in the early third decade of the 21st century

Тип залежных земель	Число наблюдений	Среднее	Коэффициент вариации, %
С лиственными породами деревьев	66	0,16	97,5
С хвойными породами деревьев	44	0,62	46,8

Постагрогенные земли с хвойными породами, наоборот, характеризуются высокой средней величиной проективного покрытия древесной растительностью при более низком ее коэффициенте вариации.

Различия в скорости облесения достаточно хорошо проявляются в параметрах многолетнего ряда вегетационного индекса, охватывающего период восстановительных сукцессий на постагрогенных землях. На залежных землях с лиственными породами в условиях формирования участков сплошной древесной растительности скорость роста значений спектрального индекса существенно выше, чем на угодьях, на которых распространяются одиночные деревья (рис. 2). При этом стоит отметить, что, несмотря на наличие участков сплошной древесной растительности, величина проективного покрытия крон для залежных земель региона с лиственными породами редко превышает 0,25, т. е. основная часть угодий даже после более чем двадцатилетнего периода восстановительных сукцессий остается покрытой травянистой растительностью. Различия в скорости облесения постагрогенных земель отражаются через значения коэффициентов перед логарифмом аппроксимирующей функции. В условиях отсутствия формирования сплошных участков из древесных пород положительная тенденция вегетационного индекса просматривается крайне незначительно.

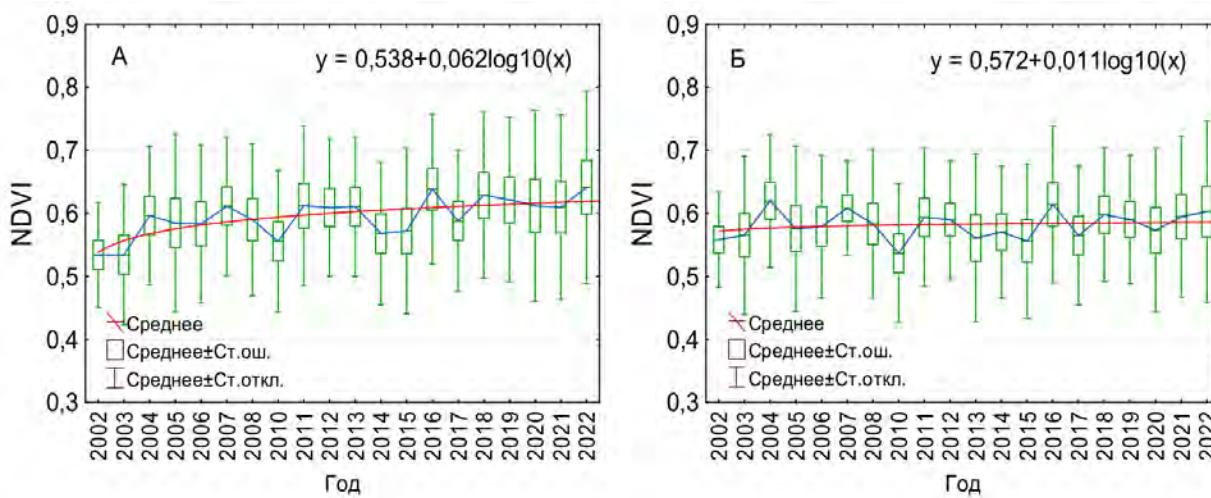


Рис. 2. Параметры многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, с наличием участков сплошной (А) и разреженной древесной растительности (Б), состоящей из лиственных пород

Fig. 2. Parameters of long-term dynamics of vegetation index for postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland with areas of continuous (A) and sparse tree vegetation (B) of deciduous species

Более высокая скорость облесения постагрогенных земель с хвойными породами отражается в форме кривой многолетней динамики вегетационного индекса и, соответственно, в значениях коэффициента перед логарифмом (рис. 3). Для этого типа постагрогенных земель он выше, чем для залежей с лиственными породами. Соответствующая особенность проявляется как в случае формирования сплошной, так и разреженной древесной растительности. Рост многолетних значений вегетационного индекса, усредненных с начала апреля по конец октября каждого года, происходит по зависимости, которая аппроксимируется также логарифмической функцией. Ее первая производная по времени характеризует скорость роста значений вегетационного индекса.

Учитывая, что для постагрогенных земель с хвойными породами деревьев и наличием участков сплошного лесного покрова (рис. 3 А) средняя величина проективного покрытия в 2022 году составила около 0,69, более высокая скорость роста значений NDVI на них по сравнению с аналогичным типом залежей с лиственными породами согласуется с фактическими значениями лесистости. Из анализа многолетней динамики вегетационного индекса следует, что скорость распространения хвойных пород на постагрогенных землях региона выше в сравнении с залежами с лиственными породами на основной части исследуемого периода восстановительных сукцессий.

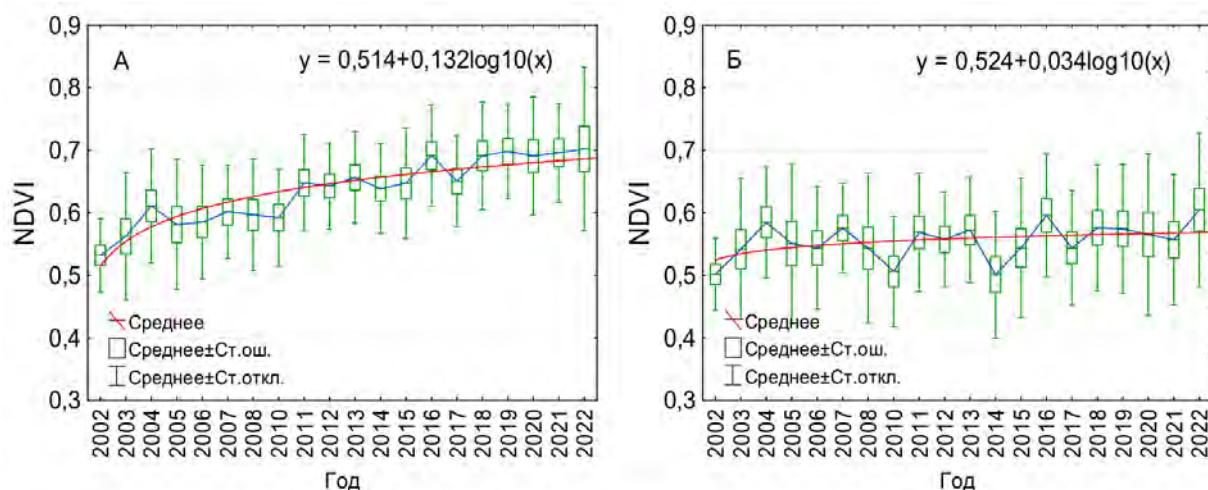


Рис. 3. Параметры многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель, типичных юга Среднерусской возвышенности, с наличием участков сплошной (А) и разреженной древесной растительности (Б), состоящей из хвойных пород

Fig. 3. Parameters of long-term dynamics of vegetation index for postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland with areas of continuous (A) and sparse tree vegetation (B) of coniferous species

На основе оценки параметров многолетней динамики вегетационного индекса (величина τ_{au} Манна-Кендалла и уровень ее значимости) также можно сделать вывод о более интенсивном росте годовых значений вегетационного индекса на залежах с хвойными породами при формировании как сплошных участков древесной растительности, так и при распространении отдельно стоящих деревьев (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Параметры многолетней динамики вегетационного индекса в 2002–2022 гг. различных типов залежных земель с древесной растительностью, состоящей из лиственных и хвойных пород
 Parameters of long-term dynamics of vegetation index in 2002–2022 for different types of abandoned lands with tree vegetation of deciduous and coniferous species

Тип залежных земель	Тау Манна-Кендалла	Уровень значимости Тау Манна-Кендалла
С лиственными породами со сплошной древесной растительностью	0,12	0,003
С лиственными породами с разреженной древесной растительностью	0,04	0,330
С хвойными породами со сплошной древесной растительностью	0,36	0,000
С хвойными породами с разреженной древесной растительностью	0,12	0,002

При формировании на залежных землях участков сплошной древесной растительности в обоих случаях наблюдается статистически значимый тренд. При этом абсолютное значение τ_{au} и уровень ее значимости для постагрогенных земель с хвойными породами значительно выше, чем с лиственными. Распространение одиночных разреженных деревьев из лиственных пород не показало статистически значимого тренда вегетационного индекса. На залежных землях с присутствием разреженных хвойных пород такой тренд наблюдается, хотя и абсолютное значение τ_{au} многолетнего ряда в 3 раза ниже, чем в условиях формирования сплошной древесной растительности.

Сопоставление постагренических земель на снимках высокого пространственного разрешения (рис. 4) и особенностей их многолетней динамики вегетационного индекса (рис. 5) достаточно наглядно показывает влияния фактической достигнутой лесистости на скорость роста значений $NDVI$, либо же отсутствие его положительной динамики в условиях присутствия на залежах только травянистой растительности.



Рис. 4. Примеры постагренических земель юга Среднерусской возвышенности, отличающихся по участию древесной растительности, на снимках Sentinel-2 (Синтез каналов 4-3-2).

1, 2 – величина проективного покрытия древесной растительностью 0,34 и 0,12. 3 – древесная растительность отсутствует

Fig. 4. Examples of postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland, distinguished by the presence of forest vegetation, in Sentinel-2 data (Bands synthesis 4-3-2).

1, 2 – forest cover is 0.34 and 0.12. 3 – without tree vegetation

Сравнение графиков многолетней динамики вегетационного индекса (рис. 5) показывает, что различия между залежными землями проявляются по двум показателям: по скорости набора годовых значений и по их абсолютным величинам.

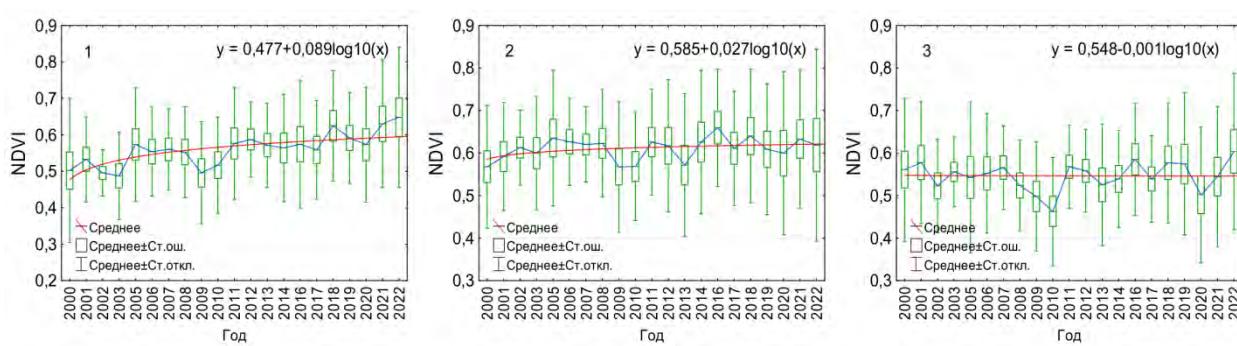


Рис. 5. Примеры многолетней динамики вегетационного индекса различных типов постагренических земель, представленных на рис. 4: 1, 2 – величина проективного покрытия древесной растительностью 0,34 и 0,12. 3 – древесная растительность отсутствует

Fig. 5. Examples of long-term dynamics of the vegetation index for different types of postagrogenic lands are presented in Figure 4: 1, 2 – forest cover is 0.34 and 0.12. 3 – without tree vegetation

В условиях формирования древесной растительности вегетационный индекс показывают положительную динамику. Скорость роста логарифмической функции при этом может отличаться в зависимости от скорости увеличения лесистости залежей, особенно в начале периода восстановительной сукцессии.

Заключение

На постагрогенных землях, типичных для юга Среднерусской возвышенности и отличающихся по присутствию лиственных или хвойных пород, а также формой распространения древесной растительности, различия в скорости облесения описываются через параметры многолетнего ряда вегетационного индекса. В начале третьего десятилетия XXI века региональной особенностью является более высокая величина лесистости залежных земель с хвойными породами, чем с лиственными, которая стала следствием разной скорости формирования на них древесной растительности. В условиях развития этого процесса многолетняя динамика вегетационного индекса залежей описывается логарифмической кривой. Разная скорость роста вегетационного индекса при этом характеризует не только различия между залежными землями с лиственными или хвойными породами, но и различия, обусловленные присутствием участков сплошной или разреженной древесной растительности. Статистически значимый тренд вегетационного индекса наблюдается для обеих категорий залежных земель с хвойными породами. Для залежей с лиственными породами значимый тренд характерен только при формировании участков сплошного лесного покрова.

Список литературы

- Бурлуцкий В.А., Мазуров В.Н., Семешкина П.С., Косолапов В.М. 2021. Продукционный потенциал и освоение растительных сообществ залежных земель Мещовского ополья в Калужской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 1: 45–52. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/45-52>
- Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. 2009. Воспроизведение почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. Москва, ГЕОС, 210 с.
- Данилов Д.А., Яковлев А.А., Крылов И.А. 2023. Формирование естественных растительных ассоциаций на постагрогенных землях. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 242: 60–82. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.60-82>
- Домнина Е.А., Адамович Т.А., Тимонов А.С., Ашихмина Т.Я. 2022. Мониторинг зарастания заброшенных земель сельскохозяйственного назначения по спутниковым снимкам высокого разрешения. Теоретическая и прикладная экология, 3: 82–89. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-082-089>
- Иванов А.И., Иванова Ж.А., Соколов И.В. 2020. Вторичное освоение неиспользуемых угодий. Российская сельскохозяйственная наука, 2: 48–52. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-48-52>
- Карпин В.А., Петров Н.В., Туюнен А.В. 2017. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднетаежной подзоны. Сибирский лесной журнал, 6: 120–129. <https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>
- Левыкин С.В., Чибилёв А.А., Кочуров Б.И., Казачков Г.В. 2020. К стратегии сохранения и восстановления степей и управления природопользованием на постцелинном пространстве. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 4: 626–636. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040093>
- Лежнин С.А. 2016. Создание и актуализация базы данных по застраивающим сельскохозяйственным землям республики Марий Эл. Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: технологическая, 4: 16–21.
- Медведев А.А., Тельнова Н.О., Кудиков А.В. 2019. Дистанционный высокодетальный мониторинг динамики зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель лесной растительностью. Вопросы лесной науки, 2(3): 1–12. <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2019-2-3-1-12>
- Москаленко С.В., Бобровский М.В. 2012. Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике «Калужские засеки». Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 14(1–5): 1332–1335.
- Нечаева Т.В. 2023. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор). Почвы и окружающая среда, 6(2): e215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>

- Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И., Шишкин А.С., Швецов Е.Г. 2018. Мониторинг трансформации старопахотных почв лесостепной зоны при лесовосстановлении. География и природные ресурсы, 2: 154–161. [https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2\(154-161\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(154-161))
- Русанов А.М. 2012. Естественное восстановление агроландшафтов степной и лесостепной зон Оренбургской области. Степной бюллетень, 36: 8–12.
- Сорокина О.А. 2024. Трансформация плодородия почв залежей лесостепной зоны при различном направлении их использования. Вестник КрасГАУ, 5: 93–100. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-5-93-100>
- Терехин Э.А. 2021. Индикация многолетних изменений в растительном покрове залежных земель лесостепи на основе рядов вегетационного индекса NDVI. Компьютерная оптика, 45(2): 245–252. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-797>
- Терехин Э.А. 2022. Оценка процессов лесовозобновления на залежах европейской территории России с использованием многолетних изменений спектрально-отражательных характеристик. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 19(3): 233–244. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-233-244>
- Черкасов Г.Н., Сосов Н.А. 2017. Приемы создания высокоурожайных сенокосов на залежных землях склонов в Центральном Черноземье. Достижения науки и техники АПК, 31(5): 13–15.
- Широких П.С., Федоров Н.И., Туктамышев И.Р., Бикбаев И.Г., Мартыненко В.Г. 2023. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья. Экология, 3: 179–187. <https://doi.org/10.31857/S036705972303006X>
- Anees S.A., Mehmood K., Rehman A., Rehman N.U., Muhammad S., Shahzad F., Hussain K., Luo M., Alarfaj A.A., Alharbi S.A., Khan W.R. 2024. Unveiling Fractional Vegetation Cover Dynamics: a Spatiotemporal Analysis Using MODIS NDVI and machine learning. Environmental and Sustainability Indicators, 24: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100485>
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the Boreal Zone: A Modelling Approach. Forest Ecology and Management, 499: 119565. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119565>
- Heck E., de Beurs K.M., Owsley B.C., Henebry G.M. 2019. Evaluation of the MODIS Collections 5 and 6 for Change Analysis of Vegetation and Land Surface Temperature Dynamics in North and South America. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 156: 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.011>
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. Remote Sensing of Environment, 83(1–2): 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6)
- Testa S., Soudani K., Boschetti L., Borgogno Mondino E. 2018. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI Time Series to Estimate Phenological Metrics in French Deciduous Forests. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64: 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.006>
- Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. Science of The Total Environment, 755: 142651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142651>

References

- Burlukij V.A., Mazurov V.N., Semeshkina P.S., Kosolapov, V.M. 2021. Production Capabilities and Exploitation of Fallow Lands Plant Communities of Meshchovsky Opolye in the Kaluga Region. Vestnik of the Russian agricultural sciences, 1: 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/45-52>
- Goleusov P.V., Lisetskii F.N. 2009. Reproduction of Soils in Anthropogenous Landscapes of Forest-Steppe Zone. Moscow, Pabl. GEOS, 210 p. (in Russian).
- Danilov D.A., Yakovlev A.A., Krylov I.A. 2023. Formation of Natural Plant Associations on Post-agrogenic Lands. Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii, 242: 60–82 (in Russian). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.60-82>
- Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashihmina T.Ja. 2022. Monitoring of Overgrowing of

- Abandoned Agricultural Lands Using High-Resolution Satellite Images. *Theoretical and Applied Ecology*, 3: 82–89 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-082-089>
- Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Sokolov I.V. 2020. Secondary Development of Unused Land. *Russian Agricultural Sciences*, 46(3): 274–278. DOI: 10.3103/S1068367420030076
- Karpin V.A., Petrov N.V., Tuyunen A.V. 2017. Regeneration of Forest Phytocoenoses after Various Agricultural Land Use Practices in the Conditions of Middle Taiga Subzone. *Siberian Journal of Forest Science*, 6: 120–129 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>
- Levykin S.V., Chibilev A.A., Kochurov B.I., Kazachkov G.V. 2020. To the Strategy of Steppes' Conservation and Restoration and Natural Resource Use in the Area of Post-Virgin Lands. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 4: 626–636 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556620040093>
- Lezhnin S.A. 2016. Creating and Updating a Database of Reforestation on Abandoned Agricultural Lands of the Republic of Mari El. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: tehnologicheskaja*, 4: 16–21 (in Russian).
- Medvedev A.A., Telnova N.O., Kudikov A.V. 2019. Highly Detailed Remote Sensing Monitoring of Tree Overgrowth on Abandoned Agricultural Lands. *Forest Science Issues*, 2(3): 1–12 (in Russian). <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2019-2-3-1-12>
- Moskalenko S.V., Bobrovsky M.V. 2012. Forest Herb Colonization in Abandoned Arable Land from the Old-Growth Oak-Dominated Forest (in the Reserve "Kaluzhskie Zaseki"). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 14(1–5): 1332–1335 (in Russian).
- Nechaeva T.V. 2023. Abandoned Lands in Russia: Distribution, Agroecological Status and Perspective Use (a Review). *The Journal of Soils and Environment*, 6(2): e215 (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Ponomareva T.V., Ponomarev E.I., Shishikin A.S., Shvetsov E.G. 2018. Monitoring of Transformation of Postagrogenic Soils in Forest-Steppe Zone During the Process of Reforestation. *Geography and Natural Resources*, 2: 154–161 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2\(154-161\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(154-161))
- Rusanov A.M. 2012. Natural Recovery of Agricultural Landscapes in Steppe and Forest-Steppe Zones of Orenburg Province. *Stepnoj bjulleten'*, 36: 8–12 (in Russian).
- Sorokina O.A. 2024. Transformation of Fallow Lands Soils Fertility in the Forest-Steppe Zone with Their Use Different Directions. *Bulliten KrasGAU*, 5: 93–100 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-5-93-100>
- Terekhin E.A. 2021. Indication of Long-Term Changes in the Vegetation of Abandoned Agricultural Lands for the Forest-steppe Zone Using NDVI Time Series. *Computer Optics*, 45(2): 245–252 (in Russian). <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-797>
- Terekhin E.A. 2022. Estimation of Reforestation on Abandoned Agricultural Lands in European Russia Using Long-Term Changes in Spectral Response. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 19(3): 233–244 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-233-244>
- Cherkasov G.N., Sosov N.A. 2017. Methods of Creating High-Yield Hayfields on Idle Sloping Lands in the Central Chernozem Area. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 31(5): 13–15 (in Russian).
- Shirokikh P.S., Fedorov N.I., Tuktamyshev I.R., Bikbaev I.G., Martynenko V.B. 2023. Patterns of Reforestation Successions on Abandoned Agricultural Lands of the Bashkir Cis-Urals. *Èkologiya*, 3: 179–187 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S036705972303006X>
- Anees S.A., Mahmood K., Rehman A., Rehman N.U., Muhammad S., Shahzad F., Hussain K., Luo M., Alarfaj A.A., Alharbi S.A., Khan W.R. 2024. Unveiling Fractional Vegetation Cover Dynamics: a Spatiotemporal Analysis Using MODIS NDVI and machine learning. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100485>
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the Boreal Zone: A Modelling Approach. *Forest Ecology and Management*, 499: 119565. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119565>
- Heck E., de Beurs K.M., Owsley B.C., Henebry G.M. 2019. Evaluation of the MODIS Collections 5 and 6 for Change Analysis of Vegetation and Land Surface Temperature Dynamics in North and South

- America. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 156: 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.011>
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2): 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6)
- Testa S., Soudani K., Boschetti L., Borgogno Mondino E. 2018. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI Time Series to Estimate Phenological Metrics in French Deciduous Forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64: 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.006>
- Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. *Science of The Total Environment*, 755: 142651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142651>

*Поступила в редакцию 14.07.2025;
поступила после рецензирования 21.08.2025;
принята к публикации 08.09.2025*

*Received July 14, 2025;
Revised August 21, 2025;
Accepted September 08, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Терехин Эдгар Аркадьевич, доктор географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Geoinformatics, Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 504.3.054
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476
EDN ЛЮРСА

Результаты мониторинга концентрации и потоков углекислого газа в г. Белгороде (2023–2024 гг.)

Голеусов П.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
goleusov@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности и результаты ведения мониторинга потоков углекислого газа в городских условиях с использованием метода турбулентных пульсаций на площадке карбонового полигона НИУ «БелГУ». Схема мониторинга включает измерения на двух уровнях эколого-климатических станций (ЭКС), установленных на башне на высотах 10 (ЭКС_10) и 49 (ЭКС_49) м. ЭКС_10 охватывает измерениями преимущественно экспериментальную площадку полигона, а ЭКС_49 – участок Юго-Западного района г. Белгорода, на контакте различных типов городских экосистем: ботанического сада, участков малоэтажной и многоэтажной застройки. По результатам измерений в 2023 и 2024 гг. установлено, что урбанизированные экосистемы Белгорода на исследуемой территории имеют положительный баланс потоков углерода в атмосферном воздухе на протяжении всего года, но в мае баланс близок к нейтральному. Выявлены особенности годичной динамики чистого экосистемного обмена, её статистические характеристики, в том числе цикличность разной размерности. Среднегодовой уровень потоков углекислого газа в 2023 году составил $3,46 \pm 14,07$ мкмоль/м²·с, в 2024 году $3,52 \pm 9,54$. Измерения были дополнены регистрацией климатических параметров, что было учтено в интерпретации данных за исследуемый период. Полученные результаты обосновывают целесообразность ведения мониторинга потоков атмосферного углерода в городских экосистемах: в теоретическом отношении – в связи со значительным объемом новой научной информации, практическом отношении – для контроля эффективности мер, направленных на экологическую оптимизацию городской среды.

Ключевые слова: городские экосистемы, углекислый газ, углеродный баланс, чистый экосистемный обмен, метод турбулентных пульсаций, эколого-климатические станции, карбоновый полигон

Благодарности: исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00169 (<https://rscf.ru/project/23-17-00169/>).

Для цитирования: Голеусов П.В. 2025. Результаты мониторинга концентрации и потоков углекислого газа в г. Белгороде (2023–2024 гг.). Региональные геосистемы, 49(3): 462–476. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476 EDN: ЛЮРСА

Results of Monitoring Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in Belgorod (2023–2024)

Pavel V. Goleusov

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
goleusov@bsuedu.ru

Abstract. The article presents the results of monitoring carbon dioxide fluxes in urban conditions using the eddy covariance method. The site under study was the carbon polygon of Belgorod State National

© Голеусов П.В., 2025

Research University located in the South-West district of Belgorod and operated by the University's Regional Center for Carbon Balance Monitoring. The monitoring scheme includes measurements at two levels of ecological and climatic stations (ECSs) installed on the tower at heights of 10 metres and 49 metres. The ECS located at the 10-metre height provides measurements of the experimental site of the polygon in the botanical garden, while the one located at the 49-metre height covers the area at the junction of the botanical garden and urban territory with low-rise and high-rise buildings. The measurements conducted in 2023 and 2024 showed a positive balance of carbon fluxes in the atmospheric air throughout the year, though in May the balance was close to neutral. The study revealed features of annual dynamics of net ecosystem exchange and its statistical characteristics, including cyclicity of different dimensions. The average annual level of carbon dioxide fluxes was $3.46 \pm 14.07 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ in 2023 and $3.52 \pm 9.54 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ in 2024. The measurements were supplemented by the registration of climatic parameters, which was taken into account in the interpretation of the data for the study period. The research results substantiate the feasibility of monitoring atmospheric carbon flows in urban ecosystems. In theoretical terms, its importance is explained by large amounts of new scientific information, while from the practical perspective, this monitoring will make it possible to control the effectiveness of measures aimed at environmental optimization of the urban environment.

Keywords: urban ecosystems, carbon dioxide, carbon balance, net ecosystem exchange, eddy covariance method, eddy covariance stations, carbon polygon

Acknowledgements: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation, project No. 23-17-00169 (<https://rscf.ru/project/23-17-00169/>).

For citation: Goleusov P.V. 2025. Results of Monitoring Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in Belgorod (2023–2024). *Regional Geosystems*, 49(3): 462–476 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476 EDN: ЛИОРСА

Введение

Города являются наиболее несбалансированными экосистемами в отношении потоков углерода, в связи с большим сосредоточением техногенных источников выбросов оксидов углерода (CO_2 , CO), метана и других углеводородов. На урбанизированные территории приходится более 70 % антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ), причём среди их источников доминирует энергетический сектор [Wei et al., 2021]. Городские территории России составляют чуть более 2 % от площади всех городов мира (19,5 тыс. km^2 , 10-е место) [Our World..., 2025], но по выбросам парниковых газов страна занимает 4-е место [EDGAR, 2023], а Москва – 7-е – среди мегаполисов мира [Wei et al., 2021].

В Центрально-Чернозёмном районе (ЦЧР), по данным ресурса *Climate trace* за 2024 год, крупнейшим источником (федерального уровня) выбросов парниковых газов в CO_2 -эквиваленте является Липецк (31,14 млн т в год), за счёт деятельности Новолипецкого металлургического комбината. Другие областные центры ЦЧР имеют существенно меньший уровень годовых выбросов: Воронеж – 5,99, Белгород – 4,01, Курск – 3,59, Тамбов – 2,02 млн т в год (при этом заметим, что *Climate trace* учитывает далеко не все источники выбросов). В Белгороде среди техногенных источников эмиссии ПГ доминируют ТЭЦ и котельные, на втором месте – предприятия строительной индустрии. По данным Белгородстата, в городе насчитывается около 5000 га зелёных насаждений, что составляет 30,4 % его территории. По результатам инвентаризации, проведённой в 2023 году АНО «Зеленая инфраструктура городов», городских древесно-кустарниковых насаждений существенно меньше – 2 219 га. Очевидно, что зелёные насаждения города не могут в сколько-нибудь значимой степени компенсировать выбросы углекислого газа на его территории, но смягчить углеродный дисбаланс в некоторой степени могут, наряду с выполнением других не менее важных экологических функций. Это определяет актуальность ведения мониторинга эмиссии и поглощения углекислого газа на городских территориях. Кроме того, повышенное содержание углекислого газа, наличие «островов тепла», городского освещения, загряз-

нения воздуха и почв, а также специфические требования к озеленению города формируют условия, для которых необходимо искать нестандартные решения по экологической компенсации углеродного дисбаланса. Функцию мониторинговых и экспериментальных площадок в этой связи могли бы выполнять городские карбоновые полигоны.

Сеть карбоновых полигонов – это российское нововведение в деятельность научных организаций, внедряемое соответствующим проектом Минобрнауки с 2021 года [Карбоновые полигоны ..., 2025], в дополнение к существовавшей с 2010-х гг. сети эколого-климатических станций (ЭКС), которые вели измерения потоков ПГ в рамках отдельных научных проектов. На 2022 год общероссийская сеть мониторинга экосистемных потоков ПГ RuFlux включала 22 станции [Куричева и др., 2023]. По данным Каталога эколого-климатических станций [2025] насчитывается 35 ЭКС. RuFlux курирует Лаборатория Биогеоценологии им. В.Н. Сукачёва Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН) [Мониторинг..., 2025]. В дальнейшем предполагается интеграция этой сети с сетью карбоновых полигонов [Куричева и др., 2023]. Отметим, что и станции RuFlux, и карбоновые полигоны организованы преимущественно в природных экосистемах и ориентированы на установление возможностей России в поглощении парниковых газов, в первую очередь за счёт таёжных – лесных и болотных – экосистем. ЭКС в антропогенно-модифицированных экосистемах (агроландшафты, в т. ч. постагрогенные экосистемы) немногочисленны. Собственно, «городских» станций (т. е. расположенных непосредственно в городских кварталах) среди них нет, но есть станции в городской черте (например, карбоновый полигон Чеченской Республики). На ресурсе «Карбоновые полигоны Российской Федерации» [О проекте ..., 2025] прямо указывается, что «... полигоны – это тестовые площадки на **неурбанизированных территориях**, на которых разрабатывают и испытывают технологии измерения, мониторинга и контроля парниковых газов». Во многом такой подход определяется особенностью используемого метода измерения углеродного баланса – метода турбулентных пульсаций (МТП) [Бурба и др., 2016], для которого одним из требований является однородность подстилающей поверхности в зоне формирования измеряемых турбулентных потоков. Для города это требование невыполнимо, за исключением крупных массивов городских лесов на относительно ровном рельефе. В зарубежных исследованиях такое ограничение метода (в англоязычной среде – метод «*eddy covariance*», вихревых ковариаций) учитывается, а неровная поверхность городов считается главным фактором неопределённости в формировании потоков ПГ [Feigenwinter et al., 2012; Crawford, Christen, 2015], но как непреодолимое препятствие не рассматривается. Например, эта методологическая проблема может быть решена при проведении синхронных измерений двумя ЭКС в одной точке городского пространства [Järvi et al., 2018].

Обзор использования МТП в городских условиях дан в работе [Li et al., 2024], на основе анализа 127 статей, находящихся в базе данных Web of Science и опубликованных в период с 2009 по 2022 год. Авторы отмечают дискуссионность применимости и необходимость совершенствования методики измерения радиационного баланса и потоков ПГ в городах, но также – целесообразность создания международной сети городских ЭКС и ведения долгосрочных наблюдений за городскими потоками ПГ. К настоящему времени уже есть длинные ряды данных, полученных с помощью МТП в крупных городах. Например, в Базеле (Швейцария) измерения МТП проводятся с 2005 года на 18-метровой башне, установленной прямо на крыше 20-метрового здания Лаборатории метеорологии, климатологии и дистанционного зондирования Базельского университета [Schmutz et al., 2016]. Следует отметить, что эти исследования в виде проекта «*Urban carbon dioxide Flux Monitoring using Eddy Covariance and Earth Observation*» [2025] были в 2019–2022 гг. поддержаны грантом Евросоюза CORDIS. В результате участниками проекта были разработаны методологические принципы измерений МТП в городах [Stagakis et al., 2022, 2023]. Согласно препринту американских авторов [Horne et al., 2025], в рамках проекта «*The Indianapolis Flux Experiment (INFLUX)*» в Индианаполисе измерения проводятся с 2013 года тремя башнями *eddy covariance* высотой 30, 41 и 43 м, установленными в разных районах города. В Вене оборудование для мониторинга потоков

ПГ установлено на башне радиовещания «А1 Арсенал» на высоте 144 м [Matthews, Schume, 2022]. В целом высота расположения ЭКС имеет значение для неопределённости измерений МТП в городах: чем выше, тем более генерализованным будет измерение потоков для городского ландшафта. Например, в Пекине ЭКС расположены на высотах 47, 140, 280 м на башне общей высотой 325 м [Huizhi et al., 2012]. Но в Бари (Италия) вполне кондиционные результаты были получены на станции, установленной на крыше 12-метрового здания, на штативе высотой 5,5 м, т. е. на уровне 17,5 м над улицей [Rana et al., 2021].

В России проект создания городского карбонового полигона был поддержан в рамках участия Белгородского государственного национального университета (НИУ «БелГУ») в конкурсе Минобрнауки «Приоритет-2030» в 2022 году. Полигон был создан на площадке ботанического сада НИУ «БелГУ» и проводит измерения потоков CO₂ с ноября 2022 года. Оператором является Региональный центр мониторинга углеродного баланса НИУ «БелГУ». Далее будут рассмотрены результаты измерения концентрации и потоков углекислого газа в г. Белгороде в 2023–2024 гг., полученные с помощью МТП на двух станциях, установленных на башне высотой 50 м. Они дополняют опубликованные ранее материалы [Голеусов, 2024].

Объекты и методы исследования

Выбор расположения карбонового полигона в Белгороде определялся возможностью проведения измерения потоков углерода как на квазиприродной территории с экспериментальными изменениями структуры экосистемы, так и на участке городской территории, включающей транспортные магистрали, зоны одноэтажной и многоэтажной застройки, но без прямого воздействия (ближе 2 км) крупных источников выбросов CO₂ (котельных, ТЭЦ, производств). Также важно было учесть режим циркуляционных процессов, определяемый рельефом города – в Белгороде он довольно неоднороден. В этом отношении предпочтительнее были возвышенности по сравнению с долинами рек. Этим установкам соответствует ботанический сад НИУ «БелГУ», расположенный на реки Везёлки (Болховец) и её правого притока – Гостянки (Гостёнки), с отметками рельефа от 128 до 188 м н. у. м.

Ботанический сад НИУ «БелГУ» был создан в 1999 году, он является ООПТ регионального значения. До этого участок представлял собой сельскохозяйственные угодья и древесные насаждения защитного типа. В настоящее время основную часть ботанического сада (45 га) занимает культурный ландшафт, выполняющий культурно-просветительскую, исследовательскую и производственную функцию. В нём выделяется 2 функциональные зоны: экспериментально-производственная (питомники, опытные поля, оранжерейно-тепличное хозяйство, экспериментальные участки, хоздвор и т. п.) и экспозиционно-парковая (коллекции живых растений).

В северо-западной части ботанического сада в 2022 году, на месте рекультивированной свалки (преимущественно строительных отходов), на абс. отм. 185 м была возведена свободностоящая башня из металлоконструкций (мобильная антенная опора) МАО-50-КМ1 высотой 50 м. Превышение рельефа в месте установки над центральной частью города – долинами рр. Везёлка и Северский Донец составляет 66–70 м. С учётом высоты конструкции уровень фоновых водоразделов (до 220 м) превышен на 15 м. Площадь ботанического сада составляет 71 га и практически полностью охвачена измерениями ЭКС_49. Координаты центроида карбонового полигона: 50,5932083 с.ш., 36,5357052 в.д.

На рис. 1 представлены зоны охвата измерений ЭКС полигона, установленными на высоте 10 и 49 м. Площадь зоны охвата (90 % потоков) ЭКС_10 составляет в среднем 2,1 га и обеспечивает измерение на экспериментальной площадке полигона. Её средний радиус составляет 84 ± 28 м. Площадь зоны охвата ЭКС_49 радиусом 734 ± 408 м в среднем составляет 168,0 га. Особенностью МТП является варьирование размеров зоны охвата, в зависимости от атмосферных условий: в стабильных условиях она возрастает, в нестабильных – сокращается [Бурба и др., 2016]. Коэффициент годичной вариации протяжённости зоны охвата для станции 10 м составляет 11 %, для станции 49 м – 19 %.



Рис. 1. Зоны охвата эколого-климатических станций карбонового полигона НИУ «БелГУ» на космическом снимке (*GoogleEarth*)

Fig. 1. Footprint of eddy covariance stations in Belgorod State University carbon polygon on a satellite image (*GoogleEarth*)

Структура зоны охвата ЭКС_10 относительно однородна как по рельефу, так и по растительному покрову. Она на 52 % представлена травянистыми сообществами, на 48 % – древесными насаждениями (преимущественно берёзой повислой, клёном остролистным и ясенем пенсильванским). В перспективе соотношение между травянистой и древесной растительностью будет меняться в сторону увеличения доли последней в связи с посадками тополя Симона и клёна остролистного, которые выбраны в качестве модельных видов. Почвенный покров экспериментального участка представлен различными антропогенными почвами (технозёмы, реплантозёмы) и антропогенно-преобразованным (нарушенным при лесопосадках) чернозёмом типичным. Непосредственно на месте установки башни почвенный покров был восстановлен с использованием материала гумусового горизонта чернозёма типичного, причём на месте закладки почвенных датчиков – он послойно перенесён из лесопосадки на полную мощность гумусового горизонта (A+AB) объёмом 6 м³. На опытной делянке карбонового полигона площадью 1200 м² развернуты эксперименты по разработке технологий ускоренного накопления углерода в почве.

Зона охвата станции 49 м на 33 % застроена, из них 10 % – многоэтажная застройка (микрорайон «Новая Жизнь»). В дальнейшем доля многоэтажной застройки будет возрастать (строится микрорайон «Жемчужина»), что позволит исследовать влияние изменения соотношения разных типов застройки и квазиприродных экосистем на характеристики углеродного баланса. В зону охвата станции 49 м попадает крупная автомагистраль города (ул. Механизаторов) с круговым движением. Среди других источников антропогенных выбросов стоит выделить выбросы индивидуальных систем отопления частного сектора. Крупные котельные и ТЭЦ в зоне охвата отсутствуют, но их влияние в измерениях зарегистрировано.

Климатические условия участка исследования умеренно-континентальные, среднегодовая температура для климатической нормы (1991–2020 гг.) 7,7 °C, годовое количество осадков 526 мм (по данным АМСГ Белгород, индекс ВМО 34214) [Архив погоды ..., 2025]. Однако в период измерений отмечено отклонение в сторону потепления (9,0 °C в 2023 году и 10,4 °C в 2024 году). В 2023 году осадков выпало больше климатической нормы – 754 мм, в 2024 – меньше, 406 мм. Особенno засушливым был летне-осенний период 2024 года. Для зимнего сезона преобладающие скорости ветра находятся в интервале 4–5 м/с, средняя скорость составляет 4 м/с. Максимальная повторяемость характерна для ветров западного и юго-западного направления, следующими по повторяемости являются восточные ветры. Для летнего сезона преобладающие скорости ветра находятся в интервале 2–3 м/с, средняя скорость составляет 2,6 м/с. В летний сезон наблюдается достаточно равномерное распределение направлений ветра, с незначительным преобладанием ветров с северной составляющей. Годовые розы ветров представлены на рис. 2.

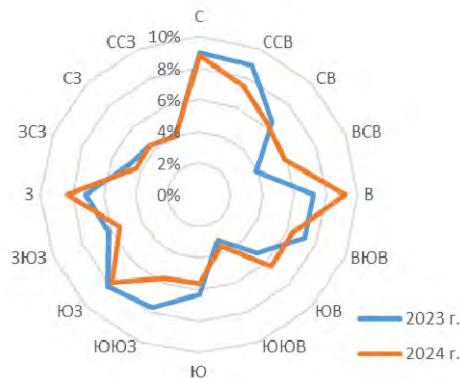


Рис. 2. Розы ветров периода исследований
Fig. 2. Wind roses of the research period

Преобладающие направления ветров были учтены при выборе расположения башни с ЭКС. Дифференциация зоны охвата по секторам розы ветров позволяет вести мониторинг углеродного баланса различных типов городских экосистем, разных участков ботанического сада и экспериментальной площадки карбонового полигона, а также вычленить влияние автотранспорта и других техногенных источников на динамику потоков CO₂.

ЭКС карбонового полигона оборудованы системами *eddy covariance* на основе газоанализаторов CO₂/H₂O закрытого типа *LI-7200RSF* (*LI-COR*) в комплексе с цифровыми ультразвуковыми анемометрами *iSonic-3 Cage MP* (*METEK*), наборами датчиков серии *Biomet* (*LI-COR*). Измерения концентрации CO₂ и параметров ветра производятся с частотой 10 Гц. Обработку данных проводили с помощью программного обеспечения *EddyPro-7.0.9* с усреднением для 30-минутных интервалов, в соответствии с рекомендациями, изложенными [Бурба и др., 2016]. В данной статье анализируются среднегодовые и среднемесячные значения концентрации и потоков CO₂, а также данные станции *Biomet* (температура, относительная влажность воздуха, радиационный баланс, объемная влажность почвы). Относительно непрерывные ряды измерений концентрации и потоков CO₂ для ЭКС_10 представлены с февраля 2023 года по апрель 2024 года. Для ЭКС_49 – с января 2023 года по ноябрь 2024 года. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ *MS Excel* и *Statistica*.

Результаты и их обсуждение

Климатические параметры, измеренные станциями в 2023 и 2024 гг., представлены на рис. 3. Как было отмечено выше, эти годы были заметно теплее климатической нормы, причем по данным собственных измерений ЭКС, отличия были более существенны, чем по данным АМСГ Белгород, расположенной на северной окраине города. Это подтверждает наличие «теплового острова» над его центральной частью. Радиационный баланс в 2023 и 2024 гг.

за период с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ составил в среднем 119 и 127 Bt/m^2 , соответственно, для ЭКС_10; 106 и 108 Bt/m^2 – для ЭКС_49. В 2024 году в этот период установилась засуха, особенно в августе – октябре, которые были практически без осадков, о чём свидетельствует годовое распределение показателя среднемесячной относительной влажности воздуха и объёмной влажности почвы (рис. 3В, Г). Это привело к гибели большей части саженцев тополя Симона и клёна остролистного, высаженных в 2023 году.

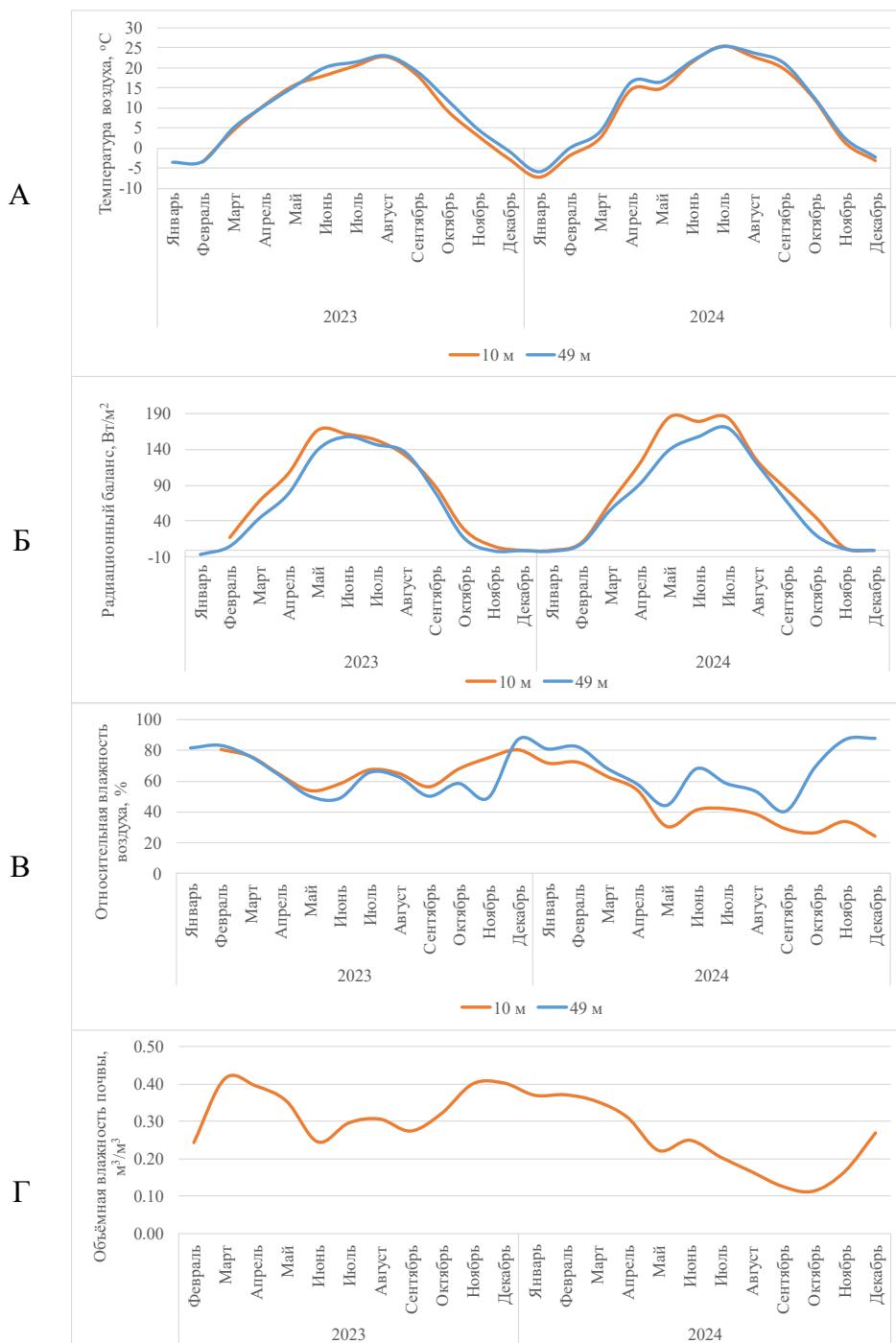


Рис. 3. Некоторые климатические характеристики периода измерений: А – температура воздуха; Б – радиационный баланс; В – относительная влажность воздуха; Г – объёмная влажность почвы (на глубине 10 см, ЭКС_10)

Fig. 3. Some climatic characteristics of the measurement period: A – air temperature; B – radiation balance; C – relative air humidity; D – volumetric soil moisture (at a depth of 10 cm, ECS_10)

Рассмотрим годовую динамику среднемесячной концентрации углекислого газа, измеренной в 2023 и 2024 гг. и представленную на рис. 4. В качестве мер варьирования данного показателя за месяц и за год использованы величина стандартного отклонения и коэффициент вариации.

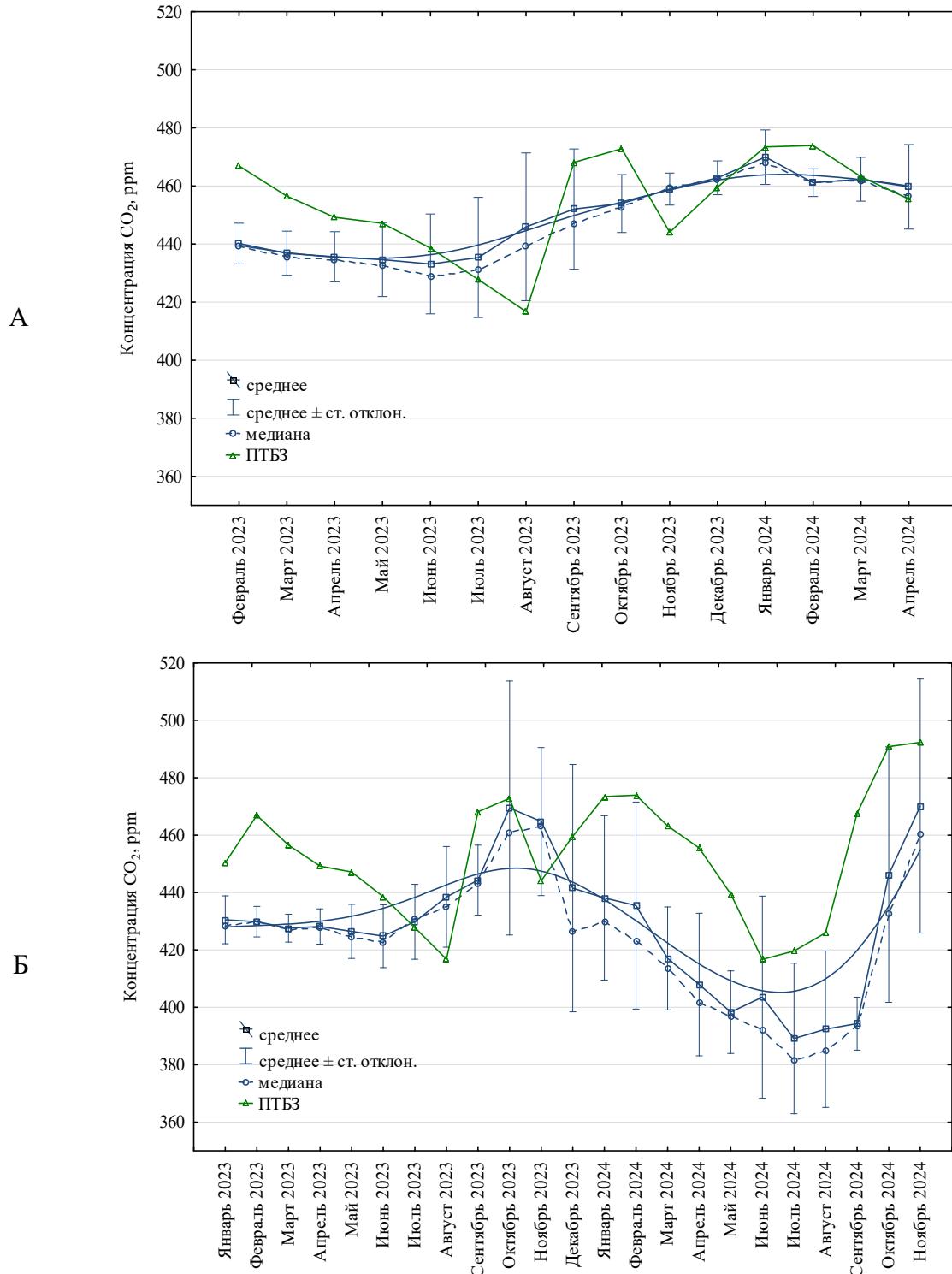


Рис. 4. Динамика среднемесячной концентрации углекислого газа на ЭКС 10 (А) и ЭКС 49 (Б) в сравнении с годовым ходом концентрации CO₂ в Приокско-Террасном биосфера заповеднике (ПТБЗ) [Доклад..., 2024, 2025]

Fig. 4. Dynamics of average monthly concentration of carbon dioxide at ECS 10 m (A) and ECS 49 m (B) in comparison with the annual course of CO₂ concentration in the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve [Report..., 2024, 2025]

Среднегодовая концентрация CO_2 , измеренная на высоте 10 м в 2023 году составила $445 \pm 18 \text{ ppm}$, коэффициент вариации 4 %. На высоте 49 м среднегодовая концентрация в 2023 году составила $435 \pm 23 \text{ ppm}$, а в 2024 году $416 \pm 38 \text{ ppm}$. Коэффициенты вариации, соответственно, 5 и 9 %. Диапазоны варьирования среднегодовых концентраций перекрываются, что не позволяет делать вывод о достоверных тенденциях. Концентрация CO_2 закономерно снижается с высотой, а степень варьирования несколько возрастает. Для выявления согласованности годовой динамики среднемесячных концентраций с «природной динамикой» использовали данные ЭКС Приокско-Террасного биосферного заповедника (ПТБЗ) – наиболее близкой по местоположению из пяти станций, данные которых публикуются Росгидрометом [Доклад..., 2024, 2025]. Динамика по ЭКС_10 согласована с рядом ПТБЗ на 35 %, по ЭКС_49 – на 24 % (в обоих случаях корреляция значима при $p = 0,95$). Минимальные концентрации CO_2 в городских экосистемах, как и в природных, достигаются в середине вегетационного периода, а максимальные – в конце осени, когда совпадают природные и техногенные эмиссионные потоки (отопительный сезон).

Особый интерес вызывает анализ цикличности динамики концентрации углекислого газа в городских экосистемах в вегетационный период, так же как и ацикличности – в зимний период. В вегетационный период очевидно наличие суточного цикла, обусловленного фотосинтезом, он является базовым, остальные – фоновыми. На рис. 5 представлена месячная динамика для мая – месяца, для которого зарегистрированы также наиболее значимые поглощения CO_2 . Динамика концентрации на уровнях 10 и 49 м происходит согласованно, коэффициент корреляции $0,48 \pm 0,05$, при этом отмечается лаг 3–5 часов между пиками уровней. Это связано с атмосферной дисперсией углекислого газа, поступающего из низких источников. Формы пиков могут иметь различия: более сглаженные или более островершинные (см. рис. 5), причём островершинными являются максимальные пики, что связано с влиянием техногенных источников. Природная динамика – более пологая. Этот факт подтверждается анализом направлений ветра и зон охвата.

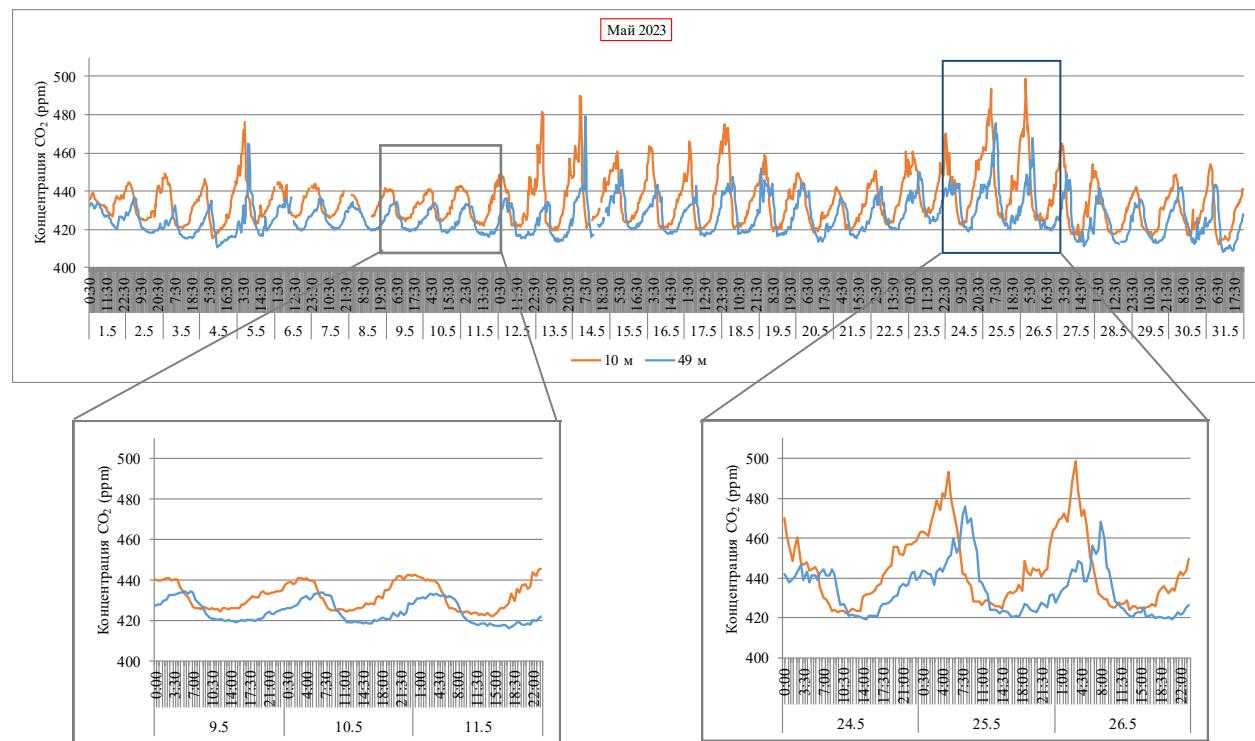


Рис. 5. Месячная динамика концентрации углекислого газа в мае 2023 года на ЭКС 10 и 49 м с детализацией форм пиков

Fig. 5. Monthly dynamics of carbon dioxide concentration in May 2023 at ECSs located at 10 m and 49 m with details of peak shapes

В зимний период суточная динамика практически отсутствует (рис. 6), а на уровне 10 м вообще имеет вид «белого шума». В целом она определяется техногенными источниками и процессами переноса воздушных масс. На высоте 49 м методом Фурье-анализа выявляются недельные и декадные циклы, спектральная плотность которых намного выше, чем у суточного цикла. Анализ данных ЭКС_49 в зимний период позволяет более точно выявить влияние техногенных источников. Например, самый большой пик концентрации 01.12.2023 был, по всей видимости, обусловлен влиянием котельной Южной – одного из самых мощных городских источников.

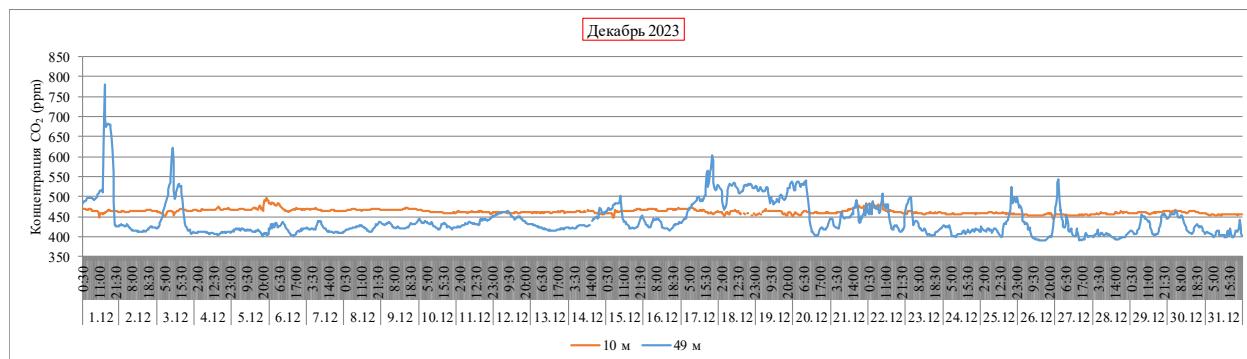


Рис. 6. Месячная динамика концентрации углекислого газа в декабре 2023 года на ЭКС 10 и 49 м

Fig. 6. Monthly dynamics of carbon dioxide concentration in December 2023
at ECSs located at 10 m and 49 m

Рассчитанные на основе измерений ЭКС потоки углекислого газа характеризуют чистый экосистемный обмен (*net ecosystem exchange, NEE*) зоны охвата, т. е. баланс вертикальных потоков, обусловленных эмиссией и поглощением CO₂. В городах он, как правило, положительный, за исключением локальных экосистем древесных насаждений и, возможно, водоёмов.

С увеличением зоны охвата возрастает количество источников эмиссии, поэтому экосистемное дыхание, определённое с помощью ЭКС_49, втрое больше, чем для ЭКС_10. В 2023 году на площадке карбонового полигона NEE составил в среднем $1,14 \pm 5,54$ мкмоль/m²·с. Максимальные значения характерны для октября и ноября, минимальные – для мая и июня (рис. 7А). Следует отметить, что медианные значения NEE в отрицательную область не заходят на протяжении всего года, таким образом, лишь в мае площадка карбонового полигона была относительно углеродно-нейтральной. Максимальное среднесуточное поглощение CO₂ зарегистрировано 17.05.2023 г. NEE = $-6,07 \pm 7,96$ мкмоль/m²·с. Максимальная эмиссия – 20.11.2023 г., когда NEE составил в среднем $5,21 \pm 3,29$ мкмоль/m²·с.

Для ЭКС_49 удалось сформировать практически двухлетний ряд наблюдений, согласно которым в 2023 и 2024 гг. среднегодовой уровень NEE оставался практически неизменный: $3,46 \pm 14,07$ (2023 год) и $3,52 \pm 9,54$ мкмоль/m²·с (2024 год). Обращает на себя внимание более широкий диапазон варьирования показателя этой станции (см. рис. 7Б) по сравнению с ЭКС_10, что связано как с более неоднородной зоной охвата, так и с более значительным варьированием концентрации CO₂ на высоте 49 м. Также, как и на высоте 10 м, отмечается некоторая компенсация эмиссии во время вегетационного периода, наиболее интенсивная в мае. Максимальное среднесуточное поглощение в зоне охвата ЭКС_49 зарегистрировано 30.05.2024 г. NEE = $-5,28 \pm 9,68$ мкмоль/m²·с. Максимальная среднесуточная эмиссия отмечена 28.11.2024 г., NEE = $9,74 \pm 10,38$ мкмоль/m²·с. В 2024 году, в связи с засушливыми условиями второй половины лета, экосистемы города быстрее вернулись к эмиссионному типу углеродного баланса, чем в 2023 году.

Уровень эмиссионных потоков, измеренных на Белгородском карбоновом полигоне, соответствует уровню пригородных зон, т. к. в центральных районах крупных мегаполисов среднесуточный NEE может достигать 80–100 мкмоль/м²·с, а среднегодовой – до 38 мкмоль/м²·с [Ward et al., 2015; Min et al., 2022].

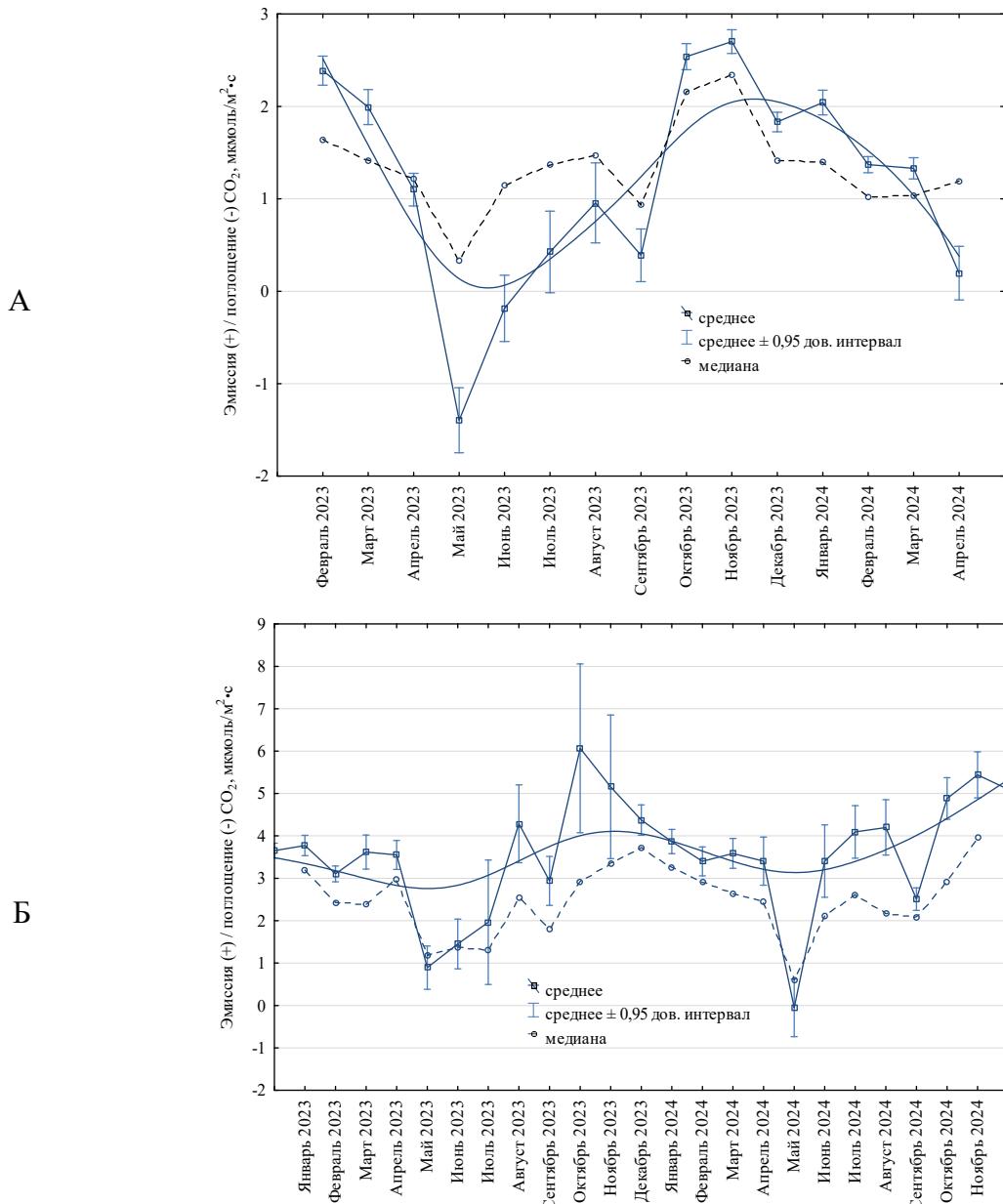


Рис. 7. Среднемесячные потоки углекислого газа на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ», рассчитанные для высот 10 м (А) и 49 м (Б)

Fig. 7. Average monthly carbon dioxide flux at the carbon polygon of Belgorod State University, calculated for heights of 10 m (A) and 49 m (B)

В России подобных измерений немного. Близкие результаты получены на карбоновом полигоне Чеченской Республики, на сходном участке (антропогенно нарушенном, а затем рекультивированном): диапазон варьирования потоков CO₂ составил от –1 до 6 мкмоль/м²·с, при этом эмиссионные потоки преобладали на протяжении всего периода измерений [Сатосина и др., 2023]. Для другого участка карбонового полигона «Зелёная зона г. Грозный» (ООПТ), расположенного в городской черте, но в широколиственном лесу, за период наблюдений с апреля по ноябрь 2023 года, максимальное поглощение также было зарегистрировано в мае, а в остальные месяцы эмиссия превышала поглощение [Братков, Бекмурзаева, 2025].

Таким образом, средневозрастные городские насаждения (как на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ»), как и средневозрастные естественные лесные экосистемы (как на Чеченском карбоновом полигоне), неэффективны в отношении компенсации углеродного дисбаланса. Дальнейшие эксперименты покажут, способно ли омоложение насаждений с использованием наиболее «поглощающих» видов улучшить показатели NEE в условиях города.

Заключение

В России исследования углеродного баланса урбанизированных ландшафтов не являются распространённым научным направлением, в связи с приоритетностью решения задачи оценки поглотительной способности природных экосистем. Режимы функционирования антропогенно преобразованных экосистем менее изучены, а результаты исследований имеют большую практическую значимость с точки зрения управления природными процессами. За рубежом исследования потоков парниковых газов на урбанизированных территориях довольно распространены, но в отношении метода турбулентных пульсаций ограничены методологическими проблемами, связанными с большой неоднородностью зон охвата измерений. Вместе с тем именно городские экосистемы сильнее всего нуждаются в компенсации углеродного дисбаланса путём применения природоподобных технологий. Поэтому создание исследовательских (для которых задача мониторинга потоков ПГ не главная) карбоновых полигонов в городах вполне обосновано. Такой профиль деятельности был принят для Белгородского карбонового полигона, созданного в 2022 году на базе НОЦ «Ботанический сад НИУ «БелГУ».

Измерения, проведённые на различающихся по площади зон охвата ЭКС карбонового полигона, на высотах 10 и 49 м в 2023 и 2024 гг. показали относительно стабильный положительный баланс углекислого газа в атмосферном воздухе Юго-Западного района г. Белгорода, соответствующий уровню пригородных зон. Зелёные насаждения ботанического сада компенсируют эмиссионные потоки в период с мая по июль, но полностью их не перекрывают, что предполагает поиск более эффективных решений для озеленения городских территорий. На протяжении всего года, за исключением мая, озеленённые городские экосистемы (подобные ботаническому саду НИУ «БелГУ») имеют эмиссионный статус.

С учётом развития жилой застройки территории, охваченной мониторингом, а также экспериментальных работ на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ», в дальнейшем могут быть проведены исследования влияния изменения состояния зон охвата на баланс CO₂ в атмосфере Белгорода. Накопленные эмпирически данные формируют основу для выявления пространственных и временных закономерностей углеродного баланса в условиях урбанизированного ландшафта.

Список источников

- Архив погоды в Белгороде / им. В.Г. Шухова (аэропорт). gr5.ru расписание погоды. Электронный ресурс. URL: [\(дата обращения 20.07.2025\).](https://gr5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде,_им._В.Г._Шухова_(аэропорт))
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. 2024. Москва, 104 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. 2025. Москва, 104 с.
- Карбоновые полигоны. Минобрнауки России. Электронный ресурс. URL: [\(дата обращения 20.07.2025\).](https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/)
- Каталог эколого-климатических станций России. Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН). Электронный ресурс. URL: [\(дата обращения 20.07.2025\).](https://sevin.ru/sites/default/files/2025-06/EC%20буклет_05.2025.pdf)
- Мониторинг потоков парниковых газов в России. Сайт российской сети экологических наблюдений. Электронный ресурс. URL: [\(дата обращения 20.07.2025\).](https://ruflux.net/)
- О проекте. Карбоновые полигоны Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: [\(дата обращения 20.07.2025\).](https://carbon-polygons.ru/about/)

EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research. GHG emissions of all world countries. 2023 report. Electronic resource. URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023 (access date: 20.07.2025).

Our World in Data. Urban area over the long-term. Electronic resource. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/urban-area-long-term?tab=table> (access date: 20.07.2025).

Список литературы

- Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. 2025. Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зелёная зона г. Грозный». Юг России: экология, развитие. 20(1): 107–116. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2025-1-10>
- Бурба Г.Г., Курбатова Ю.А., Куричева О.А., Авилов В.К., Мамкин В.В. 2016. Метод турбулентных пульсаций. Краткое практическое руководство. М., ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, 230 с.
- Голеусов П.В. 2024. Результаты измерения концентрации и потоков углекислого газа в Белгородской агломерации. Московский экономический журнал, 9(1): 114–122. https://doi.org/10.55186/2413046X_2023_9_1_33
- Куричева О.А., Максимов А.П., Максимов Т.Х., Мамкин В.В., Марунич А.С., Мигловец М.Н., Михайлов О.А., Панов А.В., Прокушин А.С., Сиденко Н.В., Шилкин А.В., Лапшина Е.Д., Курганова И.Н., Авилов В.К., Варлагин А.В., Гитарский М.Л., Дмитриченко А.А., Дюкарев Е.А., Загирова С.В., Замолодчиков Д.Г., Зырянов В.И., Карелин Д.В., Карсанав С.В., Курбатова Ю.А. 2023. Мониторинг экосистемных потоков парниковых газов на территории России: сеть Ruflux. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 87(4): 512–535. <https://doi.org/10.31857/S2587556623040052>
- Сатосина Е.М., Мамадиев Н.А., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. 2023. Карбоновый полигон Чеченской Республики: IV. Пилотные измерения потоков парниковых газов. Грозненский естественнонаучный бюллетень, 8(2(32)): 53–64. <https://doi.org/10.25744/genb.2023.97.15.008>
- Crawford B., Christen A. 2015. Spatial Source Attribution of Measured Urban Eddy Covariance CO₂ Fluxes. Theoretical and Applied Climatology, 119: 733–755. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1124-0>
- Feigenwinter C., Vogt R., Christen A. 2012. Eddy Covariance Measurements Over Urban Areas. In: Eddy Covariance. Springer Atmospheric Sciences. Ed. by M. Aubinet, T. Vesala, D. Papale. Springer, Dordrecht: 377–397. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1_16
- Horne J.P., Richardson S.J., Murphy S.L., Kenion H.C., Haupt B.J., Ahlsweide B.J., Miles N.L., Davis K.J. 2025. Urban Eddy Covariance – The INFLUX Network. Earth System Science Data. Discussion [preprint]. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-232>
- Huizhi L., Jianwu F., Jarvi L., Vesala T. 2012. Four-Year (2006–2009) Eddy Covariance Measurements of CO₂ Flux Over an Urban Area in Beijing. Atmospheric Chemistry and Physics, 12(17): 7881–7892. <https://doi.org/10.5194/acp-12-7881-2012>
- Järvi L., Rannik Ü., Kokkonen T. V., Kurppa M., Karppinen A., Kouznetsov R.D., Rantala P., Vesala T., Wood C.R. 2018. Uncertainty of Eddy Covariance Flux Measurements Over an Urban Area Based on Two Towers. Atmospheric Measurement Techniques, 11(10): 5421–5438. <https://doi.org/10.5194/amt-11-5421-2018>
- Li Y., Cai X., Li M., Jiang Z., Tang F., Zhang S., Shui T., Zhu S. 2024. Review of the Urban Carbon Flux and Energy Balance Based on the Eddy Covariance Technique. Aerosol and Air Quality Research, 24: 230245. <https://doi.org/10.4209/aaqr.230245>
- Matthews B., Schume H. 2022. Tall Tower Eddy Covariance Measurements of CO₂ Fluxes in Vienna, Austria. Atmospheric Environment, 274: 118941 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118941>
- Min K.-E., Mun J., Perdigones B., Lee S., Kwak K.-H. 2022. Insights on Estimating Urban CO₂ Emissions Using Eddy-Covariance Flux Measurements. Atmospheric Chemistry and Physics. Discussion [preprint]. <https://doi.org/10.5194/acp-2022-205>
- Rana G., Martinelli N., Famulari D., Pezzati F., Muschitiello C., Ferrara R. 2021. Representativeness of Carbon Dioxide Fluxes Measured by Eddy Covariance over a Mediterranean Urban District with Equipment Setup Restrictions. Atmosphere, 12(2): 197. <https://doi.org/10.3390/atmos12020197>
- Schmutz M., Vogt R., Feigenwinter C., Parlow E. 2016. Ten Years of Eddy Covariance Measurements in Basel, Switzerland: Seasonal and Interannual Variabilities of Urban CO₂ Mole Fraction and Flux.

Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121(14): 8649–8667.
<https://doi.org/10.1002/2016JD025063>

Stagakis S., Feigenwinter C., Vogt R., Kalberer M. 2022. A High-Resolution Monitoring Approach of Urban CO₂ Fluxes. Part 1 – Bottom-up Model Development. *Science of the Total Environment*, 858(3): 160216. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160216>

Stagakis S., Feigenwinter C., Vogt R., Brunner D., Kalberer M. 2023. A High-Resolution Monitoring Approach of Urban CO₂ Fluxes. Part 2 – Surface Flux Optimisation Using Eddy Covariance Observations. *Science of the Total Environment*, 903: 166035. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166035>

Ward H.C., Kotthaus S., Grimmond C.S.B., Bjorkgren A., Wilkinson M., Morrison W.T.J., Evans J.G., Morison J.I.L., Iamarino M. 2015. Effects of Urban Density on Carbon Dioxide Exchanges: Observations of Dense Urban, Suburban and Woodland Areas of Southern England. *Environmental Pollution*, 198: 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.031>

Wei T., Wu J., Chen S. 2021. Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3: 696381. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.696381>

References

- Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. 2025. Assessment of the Carbon Stock and Budget at the Grozny Green Zone Carbon Landfill Site. *South of Russia: ecology, development*. 20(1): 107–116 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2025-1-10>
- Burba G.G., Kurbatova Yu.A., Kuricheva O.A., Avilov V.K., Mamkin V.V. 2016. *Metod turbulentnykh pul'satcii*. Kratko prakticheskoe rukovodstvo [Method of Turbulent Pulsations. Brief Practical Guide]. Moscow, Pabl. Severtsov Institute of Economics and Evolution RAS, 230 p.
- Goleusov P.V. 2024. Measurement Results of Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in the Belgorod Agglomeration. *Moscow Economic Journal*, 9(1): 114–122 (in Russian). https://doi.org/10.55186/2413046X_2023_9_1_33
- Kuricheva O.A., Maksimov A.P., Maksimov T.Kh., Mamkin V.V., Marunich A.S., Miglovets M.N., Mikhailov O.A., Panov A.V., Prokushkin A.S., Sidenko N.V., Shilkin A.V., Lapshina E.D., Kurganova I.N., Avilov V.K., Varlagin A.V., Gitarsky M.L., Dmitrichenko A.A., Dyukarev E.A., Zagirova S.V., Zamolodchikov D.G., Zyryanov V.I., Karelina D.V., Karsanaev S.V., Kurbatova Yu.A. 2023. Ruflux: the Network of the Eddy Covariance Sites in Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 87(4): 512–535 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556623040052>
- Satosina E.M., Mamadiev N.A., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Kurbatova Yu.A., Olchev A.V. 2023. Carbon Polygon of the Chechen Republic: IV. Pilot Measurements of Greenhouse Gas Flows. *Grozny Natural Science Bulletin*, 8(2(32)): 53–64 (in Russian). <https://doi.org/10.25744/genb.2023.97.15.008>
- Crawford B., Christen A. 2015. Spatial Source Attribution of Measured Urban Eddy Covariance CO₂ Fluxes. *Theoretical and Applied Climatology*, 119: 733–755. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1124-0>
- Feigenwinter C., Vogt R., Christen A. 2012. Eddy Covariance Measurements Over Urban Areas. In: *Eddy Covariance*. Springer Atmospheric Sciences. Ed. by M. Aubinet, T. Vesala, D. Papale. Springer, Dordrecht: 377–397. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1_16
- Horne J.P., Richardson S.J., Murphy S.L., Kenion H.C., Haupt B.J., Ahlsweide B.J., Miles N.L., Davis K.J. 2025. Urban Eddy Covariance – The INFLUX Network. *Earth System Science Data. Discussion [preprint]*. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-232>
- Huizhi L., Jianwu F., Jarvi L., Vesala T. 2012. Four-Year (2006–2009) Eddy Covariance Measurements of CO₂ Flux Over an Urban Area in Beijing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(17): 7881–7892. <https://doi.org/10.5194/acp-12-7881-2012>
- Järvi L., Rannik Ü., Kokkonen T. V., Kurppa M., Karppinen A., Kouznetsov R.D., Rantala P., Vesala T., Wood C.R. 2018. Uncertainty of Eddy Covariance Flux Measurements Over an Urban Area Based on Two Towers. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(10): 5421–5438. <https://doi.org/10.5194/amt-11-5421-2018>
- Li Y., Cai X., Li M., Jiang Z., Tang F., Zhang S., Shui T., Zhu S. 2024. Review of the Urban Carbon Flux and Energy Balance Based on the Eddy Covariance Technique. *Aerosol and Air Quality Research*, 24: 230245. <https://doi.org/10.4209/aaqr.230245>

- Matthews B., Schume H. 2022. Tall Tower Eddy Covariance Measurements of CO₂ Fluxes in Vienna, Austria. *Atmospheric Environment*, 274: 118941 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118941>
- Min K.-E., Mun J., Perdigones B., Lee S., Kwak K.-H. 2022. Insights on Estimating Urban CO₂ Emissions Using Eddy-Covariance Flux Measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussion* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/acp-2022-205>
- Rana G., Martinelli N., Famulari D., Pezzati F., Muschitiello C., Ferrara R. 2021. Representativeness of Carbon Dioxide Fluxes Measured by Eddy Covariance over a Mediterranean Urban District with Equipment Setup Restrictions. *Atmosphere*, 12(2): 197. <https://doi.org/10.3390/atmos12020197>
- Schmutz M., Vogt R., Feigenwinter C., Parlow E. 2016. Ten Years of Eddy Covariance Measurements in Basel, Switzerland: Seasonal and Interannual Variabilities of Urban CO₂ Mole Fraction and Flux. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(14): 8649–8667. <https://doi.org/10.1002/2016JD025063>
- Stagakis S., Feigenwinter C., Vogt R., Kalberer M. 2022. A High-Resolution Monitoring Approach of Urban CO₂ Fluxes. Part 1 – Bottom-up Model Development. *Science of the Total Environment*, 858(3): 160216. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160216>
- Stagakis S., Feigenwinter C., Vogt R., Brunner D., Kalberer M. 2023. A High-Resolution Monitoring Approach of Urban CO₂ Fluxes. Part 2 – Surface Flux Optimisation Using Eddy Covariance Observations. *Science of the Total Environment*, 903: 166035. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166035>
- Ward H.C., Kotthaus S., Grimmond C.S.B., Bjorkegren A., Wilkinson M., Morrison W.T.J., Evans J.G., Morison J.I.L., Iamarino M. 2015. Effects of Urban Density on Carbon Dioxide Exchanges: Observations of Dense Urban, Suburban and Woodland Areas of Southern England. *Environmental Pollution*, 198: 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.031>
- Wei T., Wu J., Chen S. 2021. Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3: 696381. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.696381>

Поступила в редакцию 25.07.2025;
поступила после рецензирования 28.08.2025;
принята к публикации 09.09.2025

Received July 25, 2025;
Revised August 28, 2025;
Accepted September 09, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Голеусов Павел Вячеславович, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. Goleusov, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Методология исследования геосистем

Methodology of Geosystems Research

УДК 004.93'1:912.43:81'373.21

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-477-499

EDN KKFUTD

Автоматическое распознавание топонимов: новые вызовы для цифровой картографии

Крупнова Е.С., Дмитриев А.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29Б
krupnalena@mail.ru, avd84@list.ru

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ современных методов автоматического распознавания топонимов на географических картах и в текстах. Проведено сравнение вычислительных подходов, включая графовые методы (*MST*), ансамблевые алгоритмы, морфологические операции и лексико-семантические методы. Авторы рассматривают вызовы, связанные с многословными топонимами, неоднозначностью географических названий и визуальными особенностями карт. Особое внимание уделяется метрикам оценки эффективности и вычислительной сложности алгоритмов. Проведена систематизация методологических этапов обработки топонимов с учетом российских и зарубежных исследований. Исследование выявляет ключевые проблемы в области распознавания географических названий: высокую плотность информации на картах, пересечение текстовых меток с другими картографическими элементами, разнообразие шрифтов, размеров и ориентаций текста. Анализируются вычислительные особенности и точность различных подходов, от традиционных методов до современных архитектур глубокого обучения. Предложена концепция комплексной архитектуры автоматического распознавания топонимов, интегрирующая методы компьютерного зрения, обработки естественного языка и пространственного анализа. Авторы демонстрируют, что наиболее перспективным направлением является создание адаптивных систем, способных динамически выбирать оптимальный набор алгоритмов в зависимости от характеристик обрабатываемых данных и задач конкретного исследования.

Ключевые слова: топонимы, распознавание текста, геоинформационные системы, исторические карты, компьютерное зрение

Для цитирования: Крупнова Е.С., Дмитриев А.В. 2025. Автоматическое распознавание топонимов: новые вызовы для цифровой картографии. Региональные геосистемы, 49(3): 477–499.
DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-477-499 EDN: KKFUTD

Automatic Recognition of Toponyms: New Challenges for Digital Cartography

Elena S. Krupnova, Alexander V. Dmitriev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29B Polytechnicheskaya St, St. Petersburg 195251, Russia
krupnalena@mail.ru, avd84@list.ru

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of modern methods for automatic toponym recognition on geographic maps and in texts. The authors compare computational approaches including

© Крупнова Е.С., Дмитриев А.В., 2025

graph methods (MST), ensemble algorithms, morphological operations, and lexico-semantic methods. The paper examines challenges related to multi-word toponyms, geographical name ambiguity, and visual features of maps. Special attention is given to efficiency evaluation metrics and computational complexity of algorithms. The study systematizes methodological stages of toponym processing considering both Russian and international research. The research identifies key challenges in geographic name recognition: high information density on maps, intersection of text labels with other cartographic elements, and diversity of fonts, sizes, and text orientations. The paper examines computational characteristics and accuracy of various approaches, from traditional methods to modern deep learning architectures. The authors propose a concept of an integrated architecture for automatic toponym recognition that combines computer vision methods, natural language processing, and spatial analysis. The study demonstrates that the most promising direction is the development of adaptive systems capable of dynamically selecting the optimal set of algorithms depending on the characteristics of the processed data and the objectives of specific research.

Keywords: toponyms, text recognition, geographic information systems, historical maps, computer vision

For citation: Krupnova E.S., Dmitriev A.V. 2025. Automatic Recognition of Toponyms: New Challenges for Digital Cartography. *Regional Geosystems*, 49(3): 477–499 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-477-499 EDN: KKFUTD

Введение

Карты, будучи визуальным отражением пространственных отношений и человеческих знаний о мире, представляют собой уникальную форму документирования историко-культурной и географической информации [Kent, 2008]. Исторические карты особенно ценные, поскольку запечатлевают не только геопространственную реальность прошлого, но и отражают лингвистические, политические и культурные трансформации через изменения топонимов [Olson et al., 2023].

В контексте современной цифровой гуманитаристики и геоинформатики обработка и анализ картографических материалов приобретают новое измерение благодаря передовым методам компьютерного зрения и машинного обучения [Hu et al., 2022a].

Автоматическое распознавание топонимов на картах представляет собой комплексную междисциплинарную задачу, находящуюся на пересечении компьютерного зрения, обработки естественного языка, исторической географии и геоинформационных систем [Chiang et al., 2014]. Хотя прогресс в области оптического распознавания символов (*OCR*) достиг значительных результатов, применение этих технологий к картографическим материалам остается нетривиальной задачей из-за уникальных особенностей карт как визуально-текстуальных документов [Bluche, 2015; Schlegel, 2021].

Общегеографические и исторические карты характеризуются высокой плотностью информации, где текстовые метки пересекаются с другими картографическими элементами, имеют разнообразные шрифты, размеры, ориентации и распределение по поверхности [Pezeshk, Tutwiler, 2011]. Как отмечают Deseilligny с соавторами [1995], текстовые метки на картах могут появляться в разных цветах, ориентациях, размерах и шрифтах, а неоднородный фон и перекрытие с другими элементами карты существенно снижают точность распознавания.

В отличие от стандартных задач *OCR*, распознавание топонимов на картах требует синтеза различных подходов, включая детекцию текста, распознавание символов, геокодирование и разрешение топонимической неоднозначности [Ardanuy, Sporleider, 2017]. Эта неоднозначность усугубляется тем, что многие топонимы являются полисемичными – одно название может относиться к нескольким географическим объектам. Kyramargiou с соавторами [2020] подчеркивают значимость изучения изменений топонимов для понима-

ния культурно-исторических процессов, что делает автоматическое распознавание особенно ценным инструментом для истории картографии и пространственной гуманитаристики.

Цель исследования – создание и обоснование комплексной методологии автоматического распознавания топонимов на картографических материалах через интеграцию методов компьютерного зрения, обработки естественного языка и пространственного анализа для повышения точности идентификации многословных и низкочастотных географических названий.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает процесс автоматического распознавания топонимов на картографических материалах и в текстах. Топонимы рассматриваются как лингвистические единицы с пространственными, историческими и культурными характеристиками. Особое внимание уделяется историческим картам с их визуальной сложностью и специфическими особенностями.

Методологическое исследование базируется на сравнительно-аналитическом подходе, систематизирующем российские и международные разработки. Вычислительные методы классифицированы по алгоритмическим принципам: графовые (*MST*), ансамблевые, морфологические и лексико-семантические. Применена многомерная система оценки, включающая метрики текстового распознавания (*CER*, *IoU*) и пространственного разрешения неоднозначности (*Accuracy@161km*, *AUC*).

Проведен анализ вычислительной сложности алгоритмов (от $O(n)$ до $O(n^2)$) с учетом их масштабируемости для обработки картографических коллекций. Исследованы проблемные случаи: многословные топонимы и омонимичные географические названия. На основе комплексного анализа предложена интегрированная архитектура распознавания топонимов, сочетающая методы компьютерного зрения, обработки естественного языка и пространственного анализа.

Результаты и их обсуждение

Эволюция методов автоматического распознавания топонимов прошла путь от традиционных подходов ручного проектирования признаков, таких как *Stroke Width Transform* [Epshteyn et al., 2010] и *Maximally Stable Extremal Regions* [Neumann, Matas, 2010; Neumann, Matas, 2012], к современным архитектурам глубокого обучения.

Уже с конца 1980-х годов исследователи начали разрабатывать алгоритмы для извлечения текста из изображений. Пионерская работа Fletcher и Kasturi [1988] представила метод, основанный на анализе связных компонентов и преобразовании Хафа, который, несмотря на универсальность, не мог эффективно работать с пересечениями текста и графических элементов. В 1990-х годах Pierrot-Deseilligny с соавторами [1995] усовершенствовали подход, применив оптимизацию графа для реконструкции строк символов, однако их метод требовал предварительного знания используемых шрифтов. Параллельно Woodruff и Plaunt [1994] разработали систему *GIPSY*, которая не только распознавала топонимы, но и интерпретировала пространственные отношения между ними.

Новая эра в распознавании топонимов началась с работы Smith и Crane [2001], которая охватила громадный временной диапазон от античности до XIX века и включала анализ более миллиона географических ссылок. Их двухэтапная методология объединяла эвристические методы с многоуровневым анализом контекста. Gelbukh и Levachkine [2002, 2003] сфокусировались на специфических проблемах распознавания текста на картографических материалах, выявив четыре ключевых вызова и предложив комплексное использование различных источников данных и инструментов. Отечественные исследования, представленные работой Крейдлина [2006], продемонстрировали высокую эффективность контекстного анализа для

распознавания топонимов в русскоязычных текстах, несмотря на методологические ограничения. Poulderoux с соавторами [2007] представили четырехэтапный подход к распознаванию топонимов на цветных топографических картах, объединяющий сегментацию, анализ компонентов и строк, OCR-распознавание и постобработку.

Позже Zhou с соавторами [2017] представили *EAST* – эффективный и точный детектор текста на сценах, продемонстрировавший высокую производительность на различных наборах данных. Baek с соавторами [2019] разработали *CRAFT* (*Character Region Awareness for Text Detection*), способный обнаруживать символы без необходимости индивидуальной аннотации глифов. Параллельно развивались методы связывания сущностей, такие как *GENRE* [De Cao et al., 2021] и *BLINK* [Wu et al., 2020], которые показали превосходные результаты в задачах разрешения топонимов [Sevgili et al., 2022].

Однако, несмотря на значительный прогресс, существующие подходы сталкиваются с рядом фундаментальных ограничений. Первое – это проблема многословных топонимов, где отдельные слова должны быть связаны в единую семантическую единицу. Как отмечают Olson с соавторами [2024], существуют три основные проблемы: плотность текстовых меток на картах, непоследовательность размещения многословных географических названий и наличие не связанных текстовых меток между словами многословной фразы. Второе ограничение – недостаточная репрезентация мелкомасштабных и низкочастотных топонимов в существующих базах знаний. Например, *Wikipedia* содержит только около 1,5 миллиона географических объектов, в то время как *OpenStreetMap* и *GeoNames* включают более 23 и 12 миллионов объектов соответственно [Hu et al., 2022b].

Перспективным направлением преодоления этих ограничений является интеграция различных подходов в ансамблевые модели. Ни с соавторами [2021] продемонстрировали, что ансамбль голосования, объединяющий несколько индивидуальных подходов, достигает наилучших результатов на разнородных наборах данных, значительно улучшая производительность распознавания мелкомасштабных объектов. Другое направление – создание специализированных моделей для конкретных типов карт, как предложено Lenc с соавторами [Lenc et al., 2022], которые разработали модель классификации топонимов, адаптированную для исторических кадастровых карт.

Практическое применение технологий автоматического распознавания топонимов простирается далеко за пределы академических исследований. В сфере пространственной гуманитаристики эти технологии открывают новые возможности для анализа исторической мобильности, культурных трансформаций и языковых изменений [Gregory et al., 2015]. В управлении бедствиями автоматическое распознавание топонимов в сообщениях социальных медиа помогает оперативно локализовать пострадавшие районы [Zhang et al., 2021]. В эпидемиологии географическая привязка позволяет отслеживать пространственные паттерны распространения заболеваний и планировать профилактические меры [Scott et al., 2019].

Анализируя современное состояние исследований в области автоматического распознавания топонимов, следует отметить определенный дисбаланс между отечественными и зарубежными научными работами. Хотя российские исследователи вносят ценный вклад в развитие данного направления, количество и масштаб отечественных публикаций заметно уступают зарубежным аналогам.

А.В. Дмитриев [2025] систематически привел методологические подходы, предложенные отечественными и зарубежными учеными, к автоматическому распознаванию топонимов в период с конца 1980-х до середины 2010-х годов. Автор сопоставляет их эффективность, выявляет ограничения и проблемы, которые требуют дальнейшего исследования.

В работах Д.С. Баталова и И.В. Бессмертного [2023], а также О. Аналаковой и О. Еллыевой [2024] рассматриваются возможности применения искусственного интеллекта в изучении топонимики и выявлении закономерностей на примере нескольких

статьей и проектов, в которых были использованы методы анализа геопространственных данных, классификации и кластеризации геоданных, машинного и глубокого обучения для распознавания и сопоставления топонимов.

А.В. Вицентий, В.В. Диковицкий и М.Г. Шишаев [2020] разработали информационную технологию, в которой используются методы синтаксического, морфологического и семантического анализа для извлечения топонимов из текстов, а также современные веб-геосервисы для их геокодирования и визуализации. На первом этапе собирается корпус документов для анализа, на втором анализируются тексты на основе семантических и синтаксико-морфологических методов и обрабатываются результаты. На последнем этапе происходит геокодирование выявленных объектов и синтез цифровой карты. Точность автоматического анализа составляет 66 %.

В работе К.К. Боярского, Е.А. Каневского и Д.А. Буториной [2019] для выявления топонимов был использован парсер *SemSin*. В результате работы данного парсера в xml-файле хранится информация о семантических, грамматических и синтаксических характеристиках слов в предложении. Авторы отмечают, что при извлечении топонимов в русскоязычных текстах часто приходится сталкиваться с проблемой семантической омонимии. В качестве решения предлагается учитывать маркерные слова, которые помогают определить класс слова с точностью не менее 95 %.

При этом необходимо отметить, что в то время как на международном уровне наблюдается интенсивное развитие методов распознавания топонимов, подкрепленное масштабными исследовательскими проектами и обширными наборами данных, российские разработки, несмотря на их методологическую ценность, представлены в меньшем объеме. Эта диспропорция создает потребность в интенсификации отечественных исследований и более активной интеграции российского научного сообщества в международное пространство разработки автоматизированных систем распознавания топонимов.

Сравнительно-сопоставительный анализ отечественных и зарубежных работ позволил выявить и систематизировать ключевые задачи, **методологические этапы** и используемый инструментарий при автоматическом распознавании топонимов на картах и в текстах (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Сравнение методологических подходов к обработке топонимов
Comparison of methodological approaches to toponym processing

Авторы	Задача	Методологические этапы	Особенности подхода	Используемые программные и математические решения
Lenc et al. [2022]	Извлечение топонимов с исторических кадастровых карт	1. Обнаружение топонимов 2. Классификация топонимов 3. Распознавание текста (OCR)	Разделение топонимов на муниципальные (печатные) и общие (рукописные)	Faster R-CNN, EAST, HP-FCN, YOLOv5, Tesseract OCR
Milleville et al. [2020]	Улучшение точности распознавания топонимов на исторических топографических картах	1. Предварительная обработка и геопривязка 2. Сжатие и разделение на фрагменты 3. Распознавание текста 4. Сопоставление с базами топонимов	Изучение влияния качества сжатия и размера фрагментов на точность распознавания	Azure Read API, методы компьютерного зрения, газеттиры

Окончание таблицы 1
 End of the table 1

Olson et al. [2024]	Поиск многословных топонимов на исторических картах	1. Получение текстовых меток из карты 2. Построение минимального остовного дерева 3. Поиск многословного топонима в дереве	Использование MST для определения отношений между одиночными словами	Алгоритм Прима для MST, функция стоимости ребра на основе визуальных атрибутов
Hu et al. [2023]	Разрешение неоднозначности топонимов	1. Группировка координатных оценок с помощью DBSCAN 2. Выбор крупнейшего кластера 3. Использование центроида выбранного кластера как результат	Ансамблевый подход на основе «голосования» нескольких методов	DBSCAN, ансамбль из 7 алгоритмов (GENRE, BLINK, LUKE, CamCoder, Edinburgh Geoparser, SHS, CBH)
Schlegel [2021]	Автоматическое извлечение меток с крупномасштабных исторических карт	1. Обнаружение текста 2. Распознавание текста 3. Измерение сходства строк 4. Приблизительная геопривязка	Комбинирование инструментов обнаружения, распознавания и измерения сходства для повышения точности	Strabo, TensorFlow, OpenCV, KAZE, расстояние Левенштейна
Gritta et al. [2018]	Геокодирование с использованием векторов карты	1. Извлечение характеристик из текста 2. Обучение модели CNN 3. Классификация местоположения	Использование как локальных, так и глобальных признаков из контекста	CNN, предварительно обученная на 1,4 млн геопривязанных статей Википедии
Sekido [2021]	Создание исторических ГИС-материалов для исследований	1. Реорганизация данных в соответствии с целью 2. Преобразование топонимов в географическую информацию 3. Выбор базовой карты 4. Создание карт	Интеграция исторических данных в ГИС	India Place Finder, ГИС-инструменты, исторические карты
Weissenbacher et al. [2015]	Распознавание топонимов в научных статьях	1. Выбор кандидата топонима по стране 2. Выбор по населению при неразрешимой неоднозначности	Использование эвристик, основанных на особенностях научных публикаций	Heuristic-based rules
Вицентий и Шишаев [2021]	Извлечение геоатрибутированных сущностей из текстов на естественном языке	1. Нейросетевой анализ 2. Синтаксико-морфологический анализ 3. Лексико-семантический анализ 4. Геокодирование и геовизуализация	Гибридная технология с учетом «прямого» и «описательного» представления геоатрибутированных сущностей	Библиотека Natasha (на основе BERT), Yargy-парсер с алгоритмом Earley, лексико-семантические шаблоны на LSPL, GIS

Табл. 1 дает возможность оценить релевантность и специфические особенности данных подходов в аспекте геоинформационного, географического, топонимического и математического анализа.

С точки зрения геоинформатики наиболее полными представляются подходы, учитывающие пространственный контекст. Метод Ни с соавторами [2023] с использованием *DBSCAN* для кластеризации географических координат эффективно работает с пространственной неопределенностью. Преимущество – способность учитывать множественные гипотезы о местоположении, недостаток – зависимость от параметров кластеризации. Методология Olson с соавторами [2024] игнорирует геопространственные отношения между различными топонимами на карте, что ограничивает ее применимость для сложных случаев пространственного контекста. Подход Sekido [2019] отличается фокусом на историческую преемственность координатных систем, что критично для интеграции старых и современных данных. Значительный вклад в геоинформационную составляющую вносит методология Вицентия и Шишаева [2021], предлагающая четкую последовательность геокодирования и визуализации структурированных данных, с возможностью синтезировать картосхемы почти в режиме реального времени, что особенно актуально для систем поддержки принятия решений.

Географический аспект наиболее полно учтен в методологии Milleville с соавторами [2020], где геопривязка является начальным этапом процесса, что позволяет ограничить область поиска кандидатов для сопоставления топонимов. Подход Gritta с соавторами [2018] выигрывает благодаря учету глобальных географических контекстов и populационных данных при разрешении неоднозначностей. Существенный недостаток методов, представленных Lenc с соавторами [2022] и Schlegel [2021], – игнорирование географической иерархии объектов (страна – регион – город), что может приводить к ошибкам при омонимии. Методы с большим весом текстовых признаков и малым весом пространственных особенностей (например, в работе Weissenbacher et al., 2015) малоэффективны для топографических и исторических карт с плотным расположением объектов. Работа Вицентия и Шишаева [2021] выделяется введением понятия геоатрибутированной сущности (ГаС), которое расширяет традиционное понимание топонима, включая «описательные» пространственные объекты, что особенно важно для анализа транспортно-логистических систем и региональных пространственных структур.

С позиции топонимики наиболее обоснованными представляются подходы, учитывающие лингвистические особенности топонимов. Подход Schlegel [2021] с использованием расстояния Левенштейна учитывает вариативность написания, но не отражает топонимическую типологию и таксономические отношения. Методология Olson et al. [2024] для многословных топонимов учитывает структурные особенности (регистр, интервалы, размер шрифта), что соответствует топонимической практике. Вместе с тем ни один из методов не учитывает этимологические и культурно-исторические аспекты топонимов, что критично для исторических карт с изменившимися названиями. Работа Lenc с соавторами [2022] с разделением на муниципальные и общие топонимы представляет удачный пример таксономического подхода, но требует дальнейшей детализации. Методология Вицентия и Шишаева [2021] отличается использованием лексико-семантических шаблонов, которые учитывают грамматические особенности и валентности лексем в русском языке, что позволяет точнее классифицировать топонимические объекты и определять их семантические свойства, особенно для сложных лексических конструкций и описательных топонимов.

Математически наиболее обоснованными являются подходы, использующие формальные модели для оценки сходства и кластеризации. Метод Ни с соавторами [2023] с применением *DBSCAN* демонстрирует робастность к выбросам, но чувствителен к выбору

параметров. Алгоритм *MST* в работе Olson с соавторами [2024] обеспечивает оптимальное связывание компонентов с вычислительной сложностью $O(n^2)$, что недостаточно эффективно для карт с большим количеством объектов. CNN-подход Gritta с соавторами [2018] обеспечивает гибкость модели и способность к обобщению, но требует значительных вычислительных ресурсов и обучающих данных. Наиболее эффективное соотношение сложности и точности демонстрирует ансамблевый подход Hu с соавторами [2023], совмещающий преимущества разных моделей и снижающий их индивидуальные недостатки. Работа Вицентия и Шишаева [2021] представляет математически обоснованный гибридный подход, сочетающий преимущества нейросетевых, правило-ориентированных и шаблонных методов, с эмпирически определенными параметрами (например, размер «окрестности» $[-1; +1]$ для контекстного анализа), что обеспечивает достаточно высокую точность (66 %) при обработке реальных текстовых корпусов.

Таким образом, наиболее комплексными и эффективными представляются гибридные подходы, сочетающие пространственный контекст, лингвистические особенности топонимов и робастные алгоритмы кластеризации. Главные ограничения существующих методов – недостаточный учет исторических изменений топонимов, отсутствие интеграции культурно-географического контекста и высокие требования к вычислительным ресурсам для методов глубокого обучения.

Следующим этапом в нашем анализе стало более глубокое, детальное сравнительное исследование вычислительного аппарата методов распознавания и обработки топонимов в российских и зарубежных трудах.

Представленные ниже таблицы демонстрируют комплексную картину методологических и алгоритмических подходов к проблемам распознавания и геопространственной интерпретации топонимов. При детальном рассмотрении этого вычислительного ландшафта выявляется ряд критических закономерностей и тенденций.

В области метрик оценки качества распознавания текста (табл. 2) наблюдается четкая диахотомия между символно-ориентированными и геометрическими подходами. Символьные метрики, такие как *CER*, демонстрируют значительную вариативность результатов (от 0,061 до 0,512 у Lenc et al., 2022), что свидетельствует о существенном влиянии типа текста на качество распознавания. Примечательно, что коммерческие системы показывают более стабильные результаты (0,217–0,301) по сравнению с открытыми (0,284–0,351). Это указывает на потенциальные преимущества проприетарных алгоритмов в обработке гетерогенных текстовых данных на картографических материалах.

Геометрические метрики, в частности *IoU*, обнаруживают меньшую вариативность (0,516–0,630), что может объясняться более универсальным характером пространственного соответствия по сравнению с лингвистическими особенностями текста. Многоуровневый подход к оценке *IoU* (на уровнях 0,5 и 0,75), используемый Lenc с соавторами [2022], представляется методологически более обоснованным, поскольку позволяет дифференцировать «приемлемое» и «точное» соответствие, что критично для картографических приложений.

Анализируя метрики разрешения неоднозначности топонимов (табл. 3), следует отметить концептуальное различие между дистанционно-ориентированными и вероятностными подходами. Метрика *Accuracy@161km*, предложенная Hu с соавторами [2023], устанавливает четкий пространственный порог приемлемости, что соответствует практическим требованиям в геопространственных приложениях. При этом интегральная метрика *AUC* с логарифмическим масштабированием позволяет более тонко оценивать распределение ошибок, придавая меньший вес экстремальным выбросам. Это особенно важно при работе с историческими картами, где точная геопривязка зачастую невозможна.

Таблица 2
Table 2Метрики оценки качества распознавания текста
Metrics for evaluating text recognition quality

Тип метрики	Исследование	Название метрики	Формальное определение	Диапазон значений в исследовании
Символьный уровень	Milleville et al. [2020]	Показатель ошибок по символам (CER)	Расстояние Левенштейна между предсказанным текстом и меткой, деленное на длину метки	0,217–0,301 (коммерческая система) 0,284–0,351 (открытая система)
	Lenc et al. [2022]	Показатель ошибок по символам (CER)	То же	0,061–0,512 (в зависимости от типа текста)
Геометрическое соответствие	Milleville et al. [2020]	Пересечение над объединением (IoU)	Площадь пересечения / площадь объединения	0,516–0,630
	Lenc et al. [2022]	IoU@50, IoU@75	Доля предсказаний с IoU более 0,5 и 0,75	IoU@50: 0,654–0,872 IoU@75: 0,539–0,806
Совокупные метрики	Lenc et al. [2022]	Average Precision (AP)	Площадь под кривой precision/recall	0,271–0,778
		F1-мера	2 * (precision * recall) / (precision + recall)	0,162–0,871
		Avg AP	Среднее AP при IoU от 0,5 до 0,95 с шагом 0,05	2,78–46,7

Таблица 3
Table 3Метрики оценки разрешения неоднозначности топонимов
Metrics for evaluating toponym disambiguation

Тип метрики	Исследование	Название метрики	Формальное определение	Особенности применения
Расстояние	Hu et al. [2023]	Accuracy@16 1km	Процент ошибок геокодирования, которые меньше 100 миль (161 км)	Оценка доли правильно геокодированных топонимов с допустимой погрешностью
	Hu et al. [2023]	Средняя ошибка (ME)	Среднее расстояние между предсказанными и истинными координатами	Количественная оценка среднего отклонения в километрах
Интегральные	Hu et al. [2023]	Площадь под кривой (AUC)	$\int_{i=1}^{N} [\ln(x_i + 1) / \ln(20039)] dx$	Учитывает распределение ошибок по всем топонимам с логарифмическим масштабированием
Точность	Вицентий и Шишаев [2021]	Средняя точность автоматического анализа	Доля правильно распознанных геоатрибутированных сущностей	66 % на тестовом корпусе из 24322 слов

В исследовании Ни с соавторами [2023] метрика *Accuracy@161km* была применена для оценки эффективности их ансамблевого метода при разрешении крайне неоднозначных топонимов. Например, для топонима "Victoria Park", имеющего 589 возможных вариантов в базе *GeoNames*, их метод смог правильно определить, что речь идет о парке в Лондоне, основываясь на контексте: "The Clash – White Riot (Live 1978 Victoria Park, London): via @YouTube Let's start our shift!". Аналогично для аббревиатуры "SA" с 58 вариантами в *GeoNames* система правильно выбрала Южную Африку. Несмотря на высокую вычислительную сложность $O(n \log n)$, метод успешно обработал 98300 топонимов из 12 различных наборов данных.

Примечательно, что в работе Вицентия и Шишаева [2021] используется более обобщенная метрика средней точности (66 %), что отражает их фокус не только на топонимах, но и на более широком понятии геоатрибутированных сущностей, включающем пространственные отношения между объектами.

Табл. 4 представляет алгоритмы обработки и классификации топонимических данных и отражает многоуровневую структуру современных подходов к распознаванию и интерпретации географических названий. Примечательна методологическая дифференциация между алгоритмами, оперирующими в текстовом, визуальном и геопространственном доменах.

Таблица 4
 Table 4

Алгоритмы обработки и классификации топонимических данных
 Algorithms for processing and classification of toponymic data

Тип алгоритма	Исследование	Название алгоритма	Формализация/ Параметры	Вычислительная сложность	Применение
Графовые методы	Olson et al. [2024]	Минимальные оставные деревья (MST)	$\text{cost}(l_i, l_j) = d(l_i, l_j) * (1+h(l_i, l_j)) * (1+a(l_i, l_j)) * (1+c(l_i, l_j))$	$O(n^2)$ для построения MST $O(n)$ для поиска	Связывание отдельных слов в многословные топонимы
Строковые алгоритмы	Milleville et al. [2020]	Сопоставление подстрок	Объединение по наибольшей общей подстроке	$O(m^*n)$, где m и n – длины строк	Объединение фрагментов текста (например, "Sint-Pie" и "ikt-Pieter")
Морфологические операции	Lenc et al. [2022]	Анализ связных компонентов	Медианный фильтр + бинаризация + морфологическая дилатация	$O(n)$, где n – количество пикселей	Предварительная обработка изображений карт
Лексические шаблоны	Вицентий и Шишаев [2021]	Лексико-семантические шаблоны	$LSP1 = \{A \text{ or } P\}$ $N(\{aw\}) < A = N, P = N, A = P >$	Зависит от сложности шаблона	Распознавание сложных топонимических конструкций
Плотностная кластеризация	Hu et al. [2023]	DBSCAN	$\text{minPts} = 2$ $\text{eps} = 10 \text{ км}$	$O(n \log n)$	Группировка координатных оценок разных методов
Дескрипторы изображений	Lenc et al. [2022]	KAZE-дескрипторы	Евклидово расстояние для сопоставления	$O(n \log n)$	Классификация топонимов на печатные и рукописные
Нейросетевые	Вицентий и Шишаев [2021]	BERT (библиотека Natasha)	Предобучение на русскоязычных текстах	Зависит от размера модели	Распознавание 97–98 % именованных сущностей
Комбинированные	Hu et al. [2023]	Ансамблевый подход	7 алгоритмов с дифференцированными весами	Сумма сложностей всех методов	Повышение робастности распознавания

Olson с соавторами [2024] продемонстрировали эффективность этого подхода на примере распознавания сложных многословных топонимов, таких как "Sault Ste. Marie". Алгоритм сначала находит слово "Sault", а затем для каждой текстовой метки, соответствующей этому слову, ищет связанные с ней в графе метки со словами "Ste." и "Marie". Также система успешно обрабатывает случаи множественной омонимии для топонима "Santa Maria", различая между "(Santa Maria, California)", "(Santa Maria, Bulacan)" и другими вариантами. Результаты тестирования показали, что их метод правильно связывает 82,61 % многословных топонимов. Однако квадратичная времененная сложность $O(n^2)$ делает этот подход проблематичным для масштабных картографических коллекций с высокой плотностью текстовых аннотаций, что подтверждается ограниченным тестированием на наборе из 31500 топонимов.

В группе алгоритмов текстовой обработки наиболее методологически обоснованным представляется подход Olson с соавторами [2024] с использованием минимальных остовных деревьев. Функция стоимости ребер MST элегантно интегрирует четыре критических параметра связности текстовых меток: пространственное расстояние, отношение высот, угловое расхождение и капитализацию. Такая многомерная формализация преодолевает традиционные ограничения простых эвристик, основанных только на дистанции. Однако квадратичная времененная сложность $O(n^2)$ делает этот подход проблематичным для масштабных картографических коллекций с высокой плотностью текстовых аннотаций.

Контрастирующим по вычислительной эффективности выступает метод Lenc с соавторами [2022], основанный на морфологических операциях с линейной сложностью $O(n)$. Последовательность «медианный фильтр → бинаризация → морфологическая дилатация → анализ связных компонентов» представляет собой классический конвейер обработки изображений, адаптированный для картографической специфики. Такой подход оптимален для предварительной обработки, но его точность сильно зависит от качества исходных изображений и четкости разделения текстовых и нетекстовых элементов карты (рис. 1).

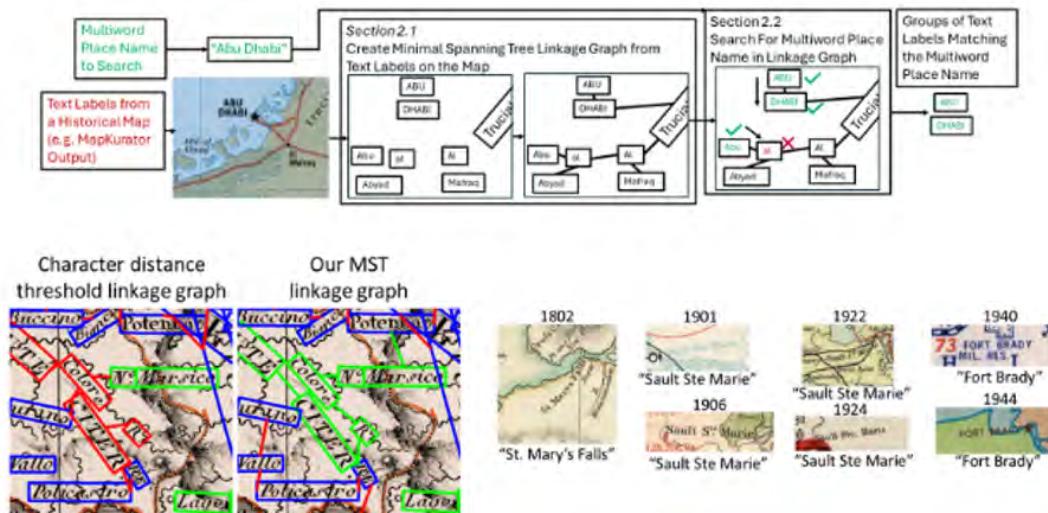


Рис. 1. Сравнение методов связывания многословных топонимов: пороговое расстояние между символами и алгоритм минимального остовного дерева (MST) на примере исторических карт с топонимом "Sault Ste. Marie" разных периодов [Olson et al., 2024]

Fig. 1. Comparison of methods for linking multi-word toponyms: character distance threshold and minimum spanning tree (MST) algorithm using historical maps with the toponym "Sault Ste. Marie" from different periods [Olson et al., 2024]

Строковые алгоритмы, представленные в работе Milleville с соавторами [2020], занимают промежуточное положение по вычислительной сложности $O(m^*n)$ и демонстрируют прагматичный подход к проблеме фрагментированных текстовых меток. Milleville с соавторами [2020] успешно применили этот метод для объединения фрагментов "Sint-Pie" и "ikt-Pieter" в единый топоним "Sint-Pieter" на основе их общей подстроки (рис. 2).

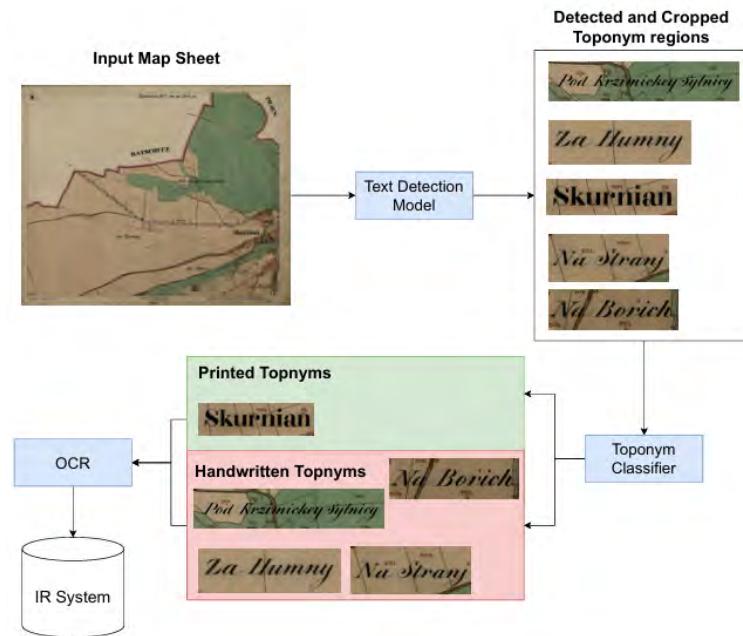


Рис. 2. Общий пайплайн по распознаванию топонимов на исторических картах, представленный в работе Lenc и соавторов и реализующий алгоритм анализа связных компонент [2022]

Fig. 2. General pipeline for toponym recognition on historical maps, presented in the work of Lenc et al. [2022], implementing the connected component analysis algorithm

Однако авторы также отмечают проблемные случаи, такие как слова "*Oude Leieput*" и "*Hbg Karper*", где возникли сложности с определением правильного способа объединения соседних слов. Чувствительность метода к качеству исходных изображений подтверждается экспериментами на фрагментах размером от 1000×1000 до 2500×2500 пикселей с различным уровнем сжатия.

Особый интерес представляют лексико-семантические шаблоны Вицентия и Шишаева [2021], формализующие структурные и грамматические отношения в топонимах. Шаблон $LSP1 = \{A \text{ or } P\} N(\{aw\}) \langle A = N, P = N, A = P \rangle$ кодифицирует морфосинтаксические паттерны, специфичные для русского языка. Исследователи успешно применили свой подход как к прямым топонимам («Хибины», «Мурманск»), так и к сложным описательным геоатрибутированным сущностям, таким как «железнодорожная линия: станция Выходной – мостовой переход через р. Тулома – станция Мурмаш 2 – станция Лавна». Используя лексико-семантические шаблоны вида $LSP1 = \{A \text{ or } P\} N(\{aw\}) \langle A = N, P = N, A = P \rangle$, авторы не только распознают сами топонимы, но и их атрибуты. Например, из фразы «Новая асфальтовая автодорога будет проложена между Мурманском и Белокаменкой» выделяется геоатрибутированная сущность «автодорога» класса «автомобильная дорога», а также значения атрибутов «тип покрытия» и «прочие характеристики». Тестирование на корпусе из 24322 слов показало среднюю точность автоматического анализа 66 %. Этот подход потенциально наиболее адаптивен к морфологически богатым языкам, где простые строковые алгоритмы неэффективны. Однако вычислительная сложность этого метода сильно зависит от количества и детализации шаблонов, что затрудняет его масштабирование.

Переходя к алгоритмам классификации, необходимо отметить методологическую зрелость DBSCAN [Hu et al., 2023] в контексте пространственной кластеризации. Параметризация $minPts = 2$, $eps = 10$ км оптимизирована для географических данных и обеспечивает баланс между чувствительностью к локальным скоплениям и устойчивостью к выбросам. Логарифмическая сложность $O(n \log n)$ делает этот алгоритм масштабируемым для больших наборов данных (рис. 3).

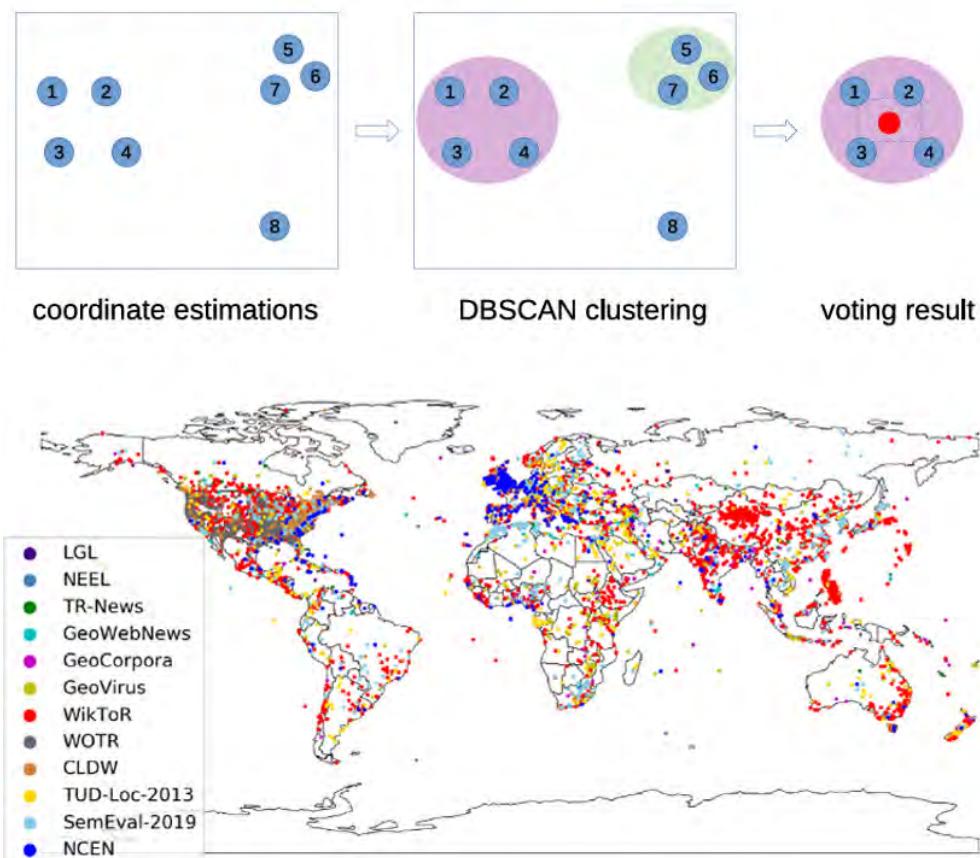


Рис. 3. Рабочий процесс голосующего подхода (выше) и результат применения ансамблевого алгоритма – пространственное распределение 98300 топонимов в 12 наборах данных [Hu et al., 2023]

Fig. 3. Workflow of the voting approach and its results – spatial distribution of the 98300 toponyms in the 12 datasets [Hu et al., 2023]

Использование *KAZE*-дескрипторов (Lenc et al., 2022) для классификации топонимов демонстрирует важный концептуальный сдвиг от текстового к визуальному домену. Применение инвариантных к масштабу и повороту дескрипторов позволяет эффективно дифференцировать печатные и рукописные топонимы, что критично для исторических карт с гетерогенными стилями надписей. Однако точность этого подхода может снижаться при низком контрасте или значительных перекрытиях текста с другими элементами карты.

Нейросетевые методы, представленные библиотекой *Natasha* на базе *BERT* [Вицентий, Шишаев, 2021], отражают современную тенденцию к использованию предобученных языковых моделей. Высокая точность распознавания именованных сущностей (97–98 %) обеспечивается не только архитектурой трансформера, но и специализированным предобучением на русскоязычных текстах. Это подчеркивает важность лингвистической специфики при обработке топонимов.

Наиболее методологически продвинутым представляется ансамблевый подход Ни с соавторами [2023], интегрирующий 7 разнородных алгоритмов с дифференцированными весами. Такая архитектура обеспечивает максимальную робастность за счет компенсации слабостей отдельных методов, что особенно ценно при обработке исторических карт с вариативным качеством. Однако суммарная вычислительная сложность всех методов и необходимость их координации делают этот подход ресурсоемким.

Сравнивая все алгоритмы в континууме «вычислительная эффективность ↔ точность распознавания», можно отметить общую тенденцию к усложнению методологического аппарата при повышении требований к качеству распознавания. Графовые методы (*MST*) и комбинированные подходы (ансамбли) представляют верхний предел точности

при высокой вычислительной стоимости, тогда как морфологические операции и строковые алгоритмы обеспечивают лучшую масштабируемость при потенциально большем количестве ошибок.

Интегрируя данные наблюдения, можно заключить, что оптимальной стратегией обработки топонимических данных является многоуровневый каскадный подход с динамическим выбором алгоритмов в зависимости от типа карты, плотности аннотаций и требуемой точности. Прогрессивное усложнение анализа – от простых морфологических операций и строковых алгоритмов к графовым и ансамблевым методам – позволяет эффективно балансировать между вычислительными ресурсами и качеством распознавания.

Геопространственные алгоритмы (табл. 5) демонстрируют методологическую зрелость в области геопривязки и разрешения неоднозначности.

Таблица 5
 Table 5

Геопространственные алгоритмы
 Geospatial algorithms

Функциональность	Исследование	Метод	Описание	Особенности
Геопривязка	Milleville et al. [2020]	Каскадный процесс	Обнаружение границ + OCR + преобразование координат	Усреднение для снижения ошибок
Пространственные запросы	Milleville et al. [2020]	Регион интереса	Квадратная рамка круговой области с радиусом 2 км	Ограничение области поиска
Контекстный анализ	Вицентий и Шишаев [2021]	«Скользящее окно»	Размер окна [-1; +1]	Учет контекста левого и правого предложений
Разрешение неоднозначности	Hu et al. [2023]	Выбор центроида крупнейшего кластера	Центроид координатных оценок в выбранном кластере	Робастность к выбросам

Каскадный процесс Milleville с соавторами [2020] с усреднением для снижения ошибок представляет собой прагматичный подход к проблеме неточности исторических карт. Метод «скользящего окна» Вицентия и Шишаева [2021] значительно расширяет контекстное понимание топонимов, хотя ограничивается текстовым измерением без учета пространственных отношений между объектами.

Центроидный метод Hu с соавторами [2023] для разрешения неоднозначности интегрирует множественные гипотезы о местоположении и обеспечивает робастность к выбросам. В их работе продемонстрировано, как ни один из отдельных алгоритмов в ансамбле не мог правильно разрешить все тестовые случаи с неоднозначными топонимами ("SA", "False River", "Victoria Park", "Mount Sheridan"), но их комбинация с последующей кластеризацией DBSCAN ($minPts = 2$, $eps = 10$ км) успешно справилась с задачей. Этот подход обладает временной сложностью $O(n \log n)$, что делает его применимым к значительным объемам данных.

Анализ вычислительной эффективности (табл. 6) выявляет значительные различия в масштабируемости рассмотренных подходов. Временная сложность варьируется от $O(n^2)$ для методов на основе *MST* до линейной $O(n)$ для анализа связных компонентов. Это напрямую влияет на практическую применимость методов к крупномасштабным картографическим коллекциям. Примечательно, что подходы с более низкой вычислительной сложностью [Вицентий, Шишаев, 2021; Lenc et al., 2022] обрабатывают и меньшие объемы данных, что может указывать на компромисс между вычислительной эффективностью и масштабируемостью.

Наиболее вычислительно интенсивный подход Olson с соавторами [2024] с квадратичной сложностью $O(n^2)$ был применен к набору из 31500 топонимов (*WikToR*), но авторы отмечают его неэффективность для карт с большим количеством объектов. В противоположность этому, подход Lenc с соавторами [2022] с линейной сложностью $O(n)$ позволил обработать 800 картографических листов с 3700 регионами, но его эффективность ограничивается зависимостью от качества исходного изображения.

Таблица 6
Table 6Сравнение вычислительной эффективности
Comparison of computational efficiency

Исследование	Временная сложность	Пространственная сложность	Обработанный объем данных	Ограничения
Olson et al. [2024]	$O(n^2)$ для MST $O(n)$ для поиска	$O(n)$ для хранения ребер	31500 топонимов (<i>WikToR</i>)	Неэффективно для карт с большим количеством объектов
Hu et al. [2023]	$O(n \log n)$ для DBSCAN	Память для результатов всех методов	98300 топонимов из 12 наборов	Высокие требования к вычислительным ресурсам
Milleville et al. [2020]	Зависит от размера фрагмента	Хранение промежуточных результатов	Фрагменты $1000 \times 1000 - 2500 \times 2500$	Чувствительность к качеству сжатия
Lenc et al. [2022]	$O(n)$ для анализа связных компонентов	Зависит от размера изображения	800 картографических листов	Зависимость от качества исходного изображения
Вицентий и Шишаев [2021]	Зависит от размера корпуса	Хранение контекстных окрестностей	Корпус из 24322 слов	Зависимость от качества разработанных правил и словарей

Наиболее масштабный анализ провели Hu с соавторами [2023], обработав 98300 топонимов из 12 различных наборов данных с использованием алгоритма *DBSCAN* сложности $O(n \log n)$, но это потребовало значительных вычислительных ресурсов и хранения промежуточных результатов всех методов в ансамбле.

Интегрируя наблюдения по всем аспектам анализа вычислительной эффективности автоматического распознавания топонимов, можно выделить три ключевые методологические тенденции в современных подходах к обработке топонимических данных (табл. 7):

1. Комплексность метрик оценки – переход от одномерных метрик к многоаспектным системам оценки, учитывающим как текстовые, так и пространственные характеристики топонимов. Это наглядно демонстрируют работы Lenc et al. с многоуровневым подходом к оценке *IoU* и Hu с соавторами с использованием метрики *Accuracy@161km* вместе с площадью под кривой (*AUC*).

2. Гибридизация алгоритмических подходов – интеграция классических методов обработки текста с геопространственными алгоритмами и методами машинного обучения. Яркий пример – ансамблевый подход Hu с соавторами [2023], который успешно применил комбинацию различных алгоритмов для разрешения сложных случаев неоднозначности топонимов, таких как "Victoria Park" с 589 возможными вариантами.

3. Контекстуализация анализа – растущее внимание к контекстному окружению топонимов. Метод «скользящего окна» Вицентия и Шишаева [2021] с размером окна $[-1; +1]$ позволил успешно распознавать сложные описательные геоатрибутированные сущности, а пространственный подход Olson с соавторами [2024] учитывает не только расстояние между словами, но и их взаимное расположение, высоту и капитализацию.

Наиболее перспективным направлением развития представляется создание адаптивных систем, способных динамически выбирать оптимальный набор алгоритмов и метрик в зависимости от характеристик обрабатываемых данных, исторического периода карт и задач конкретного исследования.

На рис. 4 представлена общая итоговая концепция, демонстрирующая своего рода пайплайн автоматической обработки топонимов на картах и в текстах.

Таблица 7
 Table 7

Типы проблем распознавания
 Types of recognition problems

Исследование	Алгоритм	Вычислительная сложность	Практический пример	Результат
Многословные топонимы				
Olson et al. [2024]	Минимальные оставные деревья (MST)	$O(n^2)$	"Sault Ste. Marie" – алгоритм сначала ищет "Sault", затем связанные с ним "Ste." и "Marie"	82,61 % правильно связанных многословных топонимов
Milleville et al. [2020]	Объединение по наибольшей общей подстроке	$O(m^*n)$	"Sint-Pieter" распознан путем объединения фрагментов "Sint-Pie" и "ikt-Pieter" на основе общей подстроки	Точность зависит от размера фрагмента и качества изображения
Вицентий и Шишаев [2021]	Лексико-семантические шаблоны	Зависит от сложности шаблона	«железнодорожная линия: станция Выходной – мостовой переход через р. Тулома – станция Мурмаш 2 – станция Лавна»	66 % средняя точность автоматического анализа
Неоднозначные топонимы				
Hu et al. [2023]	Ансамблевый подход с DBSCAN	$O(n \log n)$	"Victoria Park" – из 589 возможных вариантов в GeoNames правильно определен как парк в Лондоне	Accuracy@161km: 0,86
Hu et al. [2023]	Ансамблевый подход с DBSCAN	$O(n \log n)$	"SA" – из 58 вариантов правильно определена как Южная Африка	Правильное разрешение в контексте с критической информацией
Вицентий и Шишаев [2021]	«Скользящее окно» с размером [-1; +1]	Зависит от размера корпуса	«Новая автодорога будет проложена между Мурманском и Белокаменкой»	Распознаны топонимы и их пространственные отношения
Визуальные и форматные отличия				
Lenc et al. [2022]	Морфологические операции и KAZE-дескрипторы	$O(n)$ для связных компонентов, $O(n \log n)$ для дескрипторов	Классификация на муниципальные (печатные) и общие (рукописные) топонимы	99,2 % точность классификации
Milleville et al. [2020]	Каскадный процесс	Зависит от размера фрагмента	"Oude Leieput" и "Hbg Karger" - проблема определения, какие соседние слова должны быть объединены	Проблемы с нечетким поиском: "ent" не возвращает "Gent"



Представленный обзор демонстрирует значительный прогресс и одновременно сохраняющиеся вызовы в области автоматического распознавания топонимов на картографических материалах. Анализ вычислительных подходов выявляет четкую тенденцию к созданию гибридных систем, интегрирующих методы компьютерного зрения, обработки естественного языка и пространственного анализа.

Сравнительная оценка эффективности различных алгоритмов показывает существенные методологические расхождения между графовыми методами, ансамблевыми подходами, морфологическими операциями и лексико-семантическими методами. При этом наблюдается закономерный компромисс между вычислительной сложностью и точностью распознавания.

Метрические системы оценки эволюционируют от одномерных показателей к многоаспектным критериям, учитывающим как текстовые, так и пространственные характеристики. Особенно перспективным представляется использование метрик, специфичных для геопространственных задач (*Accuracy@161km*), в сочетании с классическими оценками текстового распознавания (*CER*).

Принципиальной проблемой остается обработка многословных топонимов, что обусловлено не только визуальными особенностями карт, но и лингвистической спецификой географических названий. Методы на основе минимальных оставных деревьев демонстрируют многообещающие результаты, однако их квадратичная вычислительная сложность ограничивает применимость для масштабных коллекций.

Разрешение неоднозначности топонимов эффективно решается ансамблевыми методами с пространственной кластеризацией, но требует значительных вычислительных ресурсов. Примечательно, что ни один из индивидуальных алгоритмов не достигает приемлемой точности для сложных случаев многозначности.

В контексте визуальных и форматных различий топонимов морфологические операции в сочетании с дескрипторами изображений обеспечивают высокую точность классификации, однако их эффективность сильно зависит от качества исходных картографических материалов.

Заключение

Развитие автоматизированных подходов к распознаванию топонимов открывает значительные перспективы в создании интеллектуальных систем картографического наследия, способных обрабатывать обширные исторические коллекции. Проведенный анализ демонстрирует эволюцию методов от традиционных подходов к гибридным архитектурам, интегрирующим компьютерное зрение, обработку естественного языка и пространственный анализ. Будущее этого направления лежит в создании адаптивных систем, самостоятельно выбирающих оптимальные алгоритмы в зависимости от типа и качества обрабатываемых материалов, а также в разработке методов, учитывающих исторические изменения топонимов, культурный контекст и лингвистические особенности разных языков. Перспективными направлениями исследований являются также использование мультимодальных подходов для обработки карт с высоким уровнем визуальной сложности, интеграция с историческими газетами и создание открытых наборов данных для тренировки специализированных моделей. Это позволит не только повысить точность распознавания сложных случаев (многословные и неоднозначные топонимы), но и создать инструменты для междисциплинарных исследований на стыке географии, истории, лингвистики и компьютерных наук.

Список литературы

- Аналакова О., Еллыева О. 2024. Использование искусственного интеллекта для анализа пространственных данных и выявления закономерностей в картографии. Инновационная наука, 5–2–2: 158–160.
- Баталов Д.С., Бессмертный И.В. 2023. Применение искусственного интеллекта в топонимике. Обзор методов искусственного интеллекта и научных работ. В кн.: Географические аспекты устойчивого развития регионов. V Международная научно-практическая конференция, Гомель, 25–26 мая 2023. Гомель, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины: 372–376.
- Боярский К.К., Каневский Е.А., Буторина Д.А. 2019. К вопросу о разрешении семантической омонимии топонимов в русскоязычных текстах. Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии, 3: 19–28. <https://doi.org/10.17586/2541-9781-2019-3-19-28>
- Вицентий А.В., Диковицкий В.В., Шишаев М.Г. 2020. Технология извлечения и визуализации пространственных данных, полученных при анализе текстов. Труды Кольского научного центра РАН, 11(8(11)): 115–119. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.8.11.012>
- Вицентий А.В., Шишаев М.Г. 2021. Технология извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем. Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии, 12(5): 35–49.
- Дмитриев А.В. 2025. Ранний этап в методологии автоматического распознавания топонимов на географических картах и в текстах. Региональные геосистемы, 49(1): 128–145. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-128-145>
- Крейдлин Л.Г. 2006. Программа выделения русских индивидуализированных именных групп TagLite. В кн.: Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Ежегодная международная конференция «Диалог», Москва, 01–04 июня 2016. М., Наука: 292–297.
- Ardanuy M.C., Sporleder C. 2017. Toponym Disambiguation in Historical Documents Using Semantic and Geographic Features. Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Access to Textual Cultural Heritage, Göttingen, Germany: 175–180.
- Baek Y., Lee B., Han D., Yun S., Lee H. 2019. Character Region Awareness for Text Detection. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Long Beach: 9365–9374.
- Bluche T. 2015. Deep Neural Networks for Large Vocabulary Handwritten Text Recognition. Computers and Society, Université Paris Sud, Paris. 20 p.
- Chiang Y.Y., Leyk S., Knoblock C.A. 2014. A Survey of Digital Map Processing Techniques. ACM Computing Surveys (CSUR), 47(1): 1–44. <https://doi.org/10.1145/2557423>
- De Cao N., Izacard G., Riedel S., Petroni F. 2021. Autoregressive Entity Retrieval. Proceedings of the 9th International Conference on Learning Representations, Vienna, Austria, ICLR: 1–20.

- Deseilligny M.P., Le Men H., Stamon G. 1995. Character String Recognition on Maps, a Rotation-invariant Recognition Method. *Pattern Recognition Letters*, 16(12): 1297–1310. [https://doi.org/10.1016/0167-8655\(95\)00084-5](https://doi.org/10.1016/0167-8655(95)00084-5)
- Epshtain B., Ofek E., Wexler, Y. 2010. Detecting Text in Natural Scenes with Stroke Width Transform. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, 13–18 June 2010. USA, San Francisco, CA: 2963–2970.
- Fletcher L.A., Kasturi R. 1988. A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/graphics Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10(6): 910–918.
- Gelbukh A., Levachkine S. 2002. Error Detection and Correction in Toponym Recognition in Cartographic Maps. *IASTED International Conference Geopro-2002*: 1–7.
- Gelbukh A., Levachkine S., Han S.Y. 2003. Resolving Ambiguities in Toponym Recognition in Cartographic Maps. In: *Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 75–86.
- Gregory I., Donaldson C., Murrieta-Flores P., Rayson P. 2015. Geoparsing, GIS, and Textual Analysis: Current Developments in Spatial Humanities Research. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 9(1): 1–14. <https://doi.org/10.3366/ijhac.2015.0135>
- Gritta M., Pilehvar M., Collier N. 2018. Which Melbourne? Augmenting Geocoding with Maps. In: *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Australia, Melbourne: 1285–1296.
- Hu X., Al-Olimat H., Kersten J., Wiegmann M., Klan F., Sun Y., Fan H. 2021. GazPNE: Annotation-free Deep Learning for Place Name Extraction from Microblogs Leveraging Gazetteer and Synthetic Data by Rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 36(2): 310–337. <https://doi.org/10.1080/13658816.2021.1947507>
- Hu X., Sun Y., Kersten J., Zhou Z., Klan F., Fan H. 2023. How Can Voting Mechanisms Improve the Robustness and Generalizability of Toponym Disambiguation? *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 117: 103191. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103191>
- Hu X., Zhou Z., Li H., Hu Y., Gu F., Kersten J., Fan H., Klan F. 2022a. Location Reference Recognition from Texts: A Survey and Comparison. *ACM Computing Surveys*, 56(5): 1–37. <https://doi.org/10.1145/3625819>
- Hu X., Zhou Z., Sun Y., Kersten J., Klan F., Fan H., Wiegmann M. 2022b. GazPNE2: A General Place Name Extractor for Microblogs Fusing Gazetteers and Pretrained Transformer Models. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(17): 16259–16271. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3150967>
- Kent A.J. 2008. Cartographic Blandscapes and the New Noise: Finding the Good View in a Topographical Mashup. *The Bulletin of the Society of Cartographers*, 42(1–2): 29–37.
- Kyramargiou E., Papakondylis Y., Scalora F., Dimitropoulos D. 2020. Changing the Map in Greece and Italy: Place-name Changes in the Nineteenth Century. *The Historical Review/La Revue Historique*, 17: 205–250. <https://doi.org/10.12681/hr.27072>
- Lenc L., Martínek J., Baloun J., Prantl M., Král P. 2022. Historical Map Toponym Extraction for Efficient Information Retrieval. In: *Document Analysis Systems*. Cham: Springer International Publishing: 171–183. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06555-2_12
- Milleville K., Verstockt S., Van de Weghe N. 2020. Improving Toponym Recognition Accuracy of Historical Topographic Maps. In: *Automatic Vectorisation of Historical Maps*. International workshop organized by the ICA Commission on Cartographic Heritage into the Digital, Budapest, 13 March 2020. Budapest, Department of Cartography and Geoinformatics: 63–72.
- Neumann L., Matas J. 2010. A Method for Text Localization and Recognition in Real-world Images. In: *Computer Vision – ACCV 2010. Proceedings of the 10th Asian Conference on Computer Vision*, New Zealand, 8–12 November 2010. Berlin, Heidelberg, Springer: 770–783.
- Neumann L., Matas J. 2012. Real-time Scene Text Localization and Recognition. In: *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 16–21 June 2012. RI, USA, Providence: 3538–3545.
- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2023. An Automatic Approach to Finding Geographic Name Changes on Historical Maps. In: *ACM SIGSPATIAL GIS 2023. Proceedings of the 31st ACM International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Hamburg, 13–16 November 2023. Germany, Hamburg, Association for Computing Machinery: 1–2.

- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2024. Automatic Search of Multiword Place Names on Historical Maps. In: GeoSearch 2024. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data, Atlanta, 29 October 2024. Atlanta, Association for Computing Machinery: 9–12.
- Pezeshk A., Tutwiler R.L. 2011. Automatic Feature Extraction and Text Recognition from Scanned Topographic Maps. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12): 5047–5063. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2157697>
- Pierrot-Deseilligny M., Men H.L., Stamon G. 1995. Characters String Recognition on Maps, a Method for High Level Reconstruction. In: ICDAR '95. Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, 14–16 August 1995. QC, Canada, Montreal: 249–252.
- Pouderoux J., Gonzato J-Ch., Pereira A., Guitton P. 2007. Toponym Recognition in Scanned Color Topographic Maps. In: ICDAR '07. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Curitiba, 23–26 September 2007. Brazil, Curitiba: 531–535.
- Schlegel I. 2021. Automated Extraction of Labels from Large-scale Historical Maps. *AGILE GIScience Series*, 2(12): 1–14.
- Scott P., Bader M. K-F., Burgess T., Hardy G., Williams N. 2019. Global Biogeography and Invasion Risk of the Plant Pathogen Genus Phytophthora. *Environmental Science and Policy*, 101: 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.020>
- Sekido I. 2019. Historical GIS Materials for South Asia Studies in the University of Tokyo. *Journal of Urban and Regional Studies on Contemporary India*, 5(2): 23–27.
- Sevgili Ö., Shelmanov A., Arkhipov M., Panchenko A., Biemann C. 2022. Neural Entity Linking: A Survey of Models Based on Deep Learning. *Semantic Web*, 13(3): 527–570. <https://doi.org/10.3233/SW-222986>
- Smith D.A., Crane G.R. 2001. Disambiguating Geographic Names in a Historical Digital Library. In: Research and Advanced Technology for Digital Libraries. International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, Berlin, 30 August 2001. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 127–136.
- Weissenbacher D., Tahsin T., Beard R., Figaro M., Rivera R., Scotch M., Gonzalez G. 2015. Knowledge-driven Geospatial Location Resolution for Phylogeographic Models of Virus Migration. *Bioinformatics*, 31(12): 348–356. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv259>
- Woodruff A.G., Plaunt Chr. 1994. GIPSY: Automated Geographic Indexing of Text Documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 45(9): 645–655.
- Wu L., Petroni F., Josifoski M., Riedel S., Zettlemoyer L. 2020. Zero-shot Entity Linking with Dense Entity Retrieval. In: Computation and Language. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Stroudsburg, 16–20 November 2020. Stroudsburg, Association for Computational Linguistics: 6397–6407.
- Zhang Y., Chen Z., Zheng X., Chen N., Wang Y. 2021. Extracting the Location of Flooding Events in Urban Systems and Analyzing the Semantic Risk Using Social Sensing Data. *Journal of Hydrology*, 603(4): 127053. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127053>
- Zhou X., Yao C., Wen H., Wang Y., Zhou S., He W., Liang J. 2017. EAST: an Efficient and Accurate Scene Text Detector. In: Computer Science. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, 21–26 July 2017. HI, USA, Honolulu: 5551–5560.

References

- Analakova O., Yolliyeva O. 2024. Using Artificial Intelligence to Analyze Spatial Data and Identify Patterns in Cartography. *Innovacionnaja nauka*, 5–2–2: 158–160 (in Russian).
- Batalov D.S., Bessmertniy I.V. 2023. Primenenie iskusstvennogo intellekta v toponimike. Obzor metodov iskusstvennogo intellekta i nauchnyh rabot [Application of Artificial Intelligence in Toponymy. Review of Artificial Intelligence Methods and Scientific Works]. In: Geograficheskie aspekty ustojchivogo razvitiya regionov [Geographical Aspects of Sustainable Development of Regions]. V International Scientific and Practical Conference, Gomel, 25–26 May 2023. Gomel, Pabl. Gomelskiy gosudarstvenny universitet imeni Frantsiska Skoriny: 372–376.

- Boyarsky K.K., Kanevsky E.A., Butorina D.A. 2019. On the Issue of the Semantic Disambiguation of Toponyms in Russian Texts. *Computer Linguistics and Computing Ontologies*, 3: 19–28 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2541-9781-2019-3-19-28>
- Vicentiy A.V., Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. 2020. The Technology of Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Texts Analysis. *Kola Science Centre Publisher*, 11(8(11)): 115–119 (in Russian). <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.8.11.012>
- Vicentiy A.V., Shishaev M.G. 2021. The Geoattributed Entity Extraction Technology for Visual Representation of Objects Spatial Relations Based on Automated Schematic Map Generation. *Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies*, 12(5): 35–49 (in Russian)
- Dmitriev A.V. 2025. The Early Stage in the Methodology of Automatic Toponym Recognition on Geographic Maps and in Texts. *Regional Geosystems*, 49(1): 128–145 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-128-145>
- Kreydlin L.G. 2005. TagLite: The Program of Identification of Russian Individualized NPs. In: *Computational Linguistics and Intellectual Technologies*. Annual International Conference "Dialogue", Moscow, 01–04 June 2016. Moscow, Pabl. Nauka: 292–297 (in Russian).
- Ardanuy M.C., Sporleder C. 2017. Toponym Disambiguation in Historical Documents Using Semantic and Geographic Features. *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Access to Textual Cultural Heritage*, Göttingen, Germany: 175–180.
- Baek Y., Lee B., Han D., Yun S., Lee H. 2019. Character Region Awareness for Text Detection. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Long Beach: 9365–9374.
- Bluche T. 2015. Deep Neural Networks for Large Vocabulary Handwritten Text Recognition. *Computers and Society*, Université Paris Sud, Paris. 20 p.
- Chiang Y.Y., Leyk S., Knoblock C.A. 2014. A Survey of Digital Map Processing Techniques. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(1): 1–44. <https://doi.org/10.1145/2557423>
- De Cao N., Izacard G., Riedel S., Petroni F. 2021. Autoregressive Entity Retrieval. *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Representations*. Vienna, Austria, ICLR: 1–20.
- Deseilligny M.P., Le Men H., Stamon G. 1995. Character String Recognition on Maps, a Rotation-invariant Recognition Method. *Pattern Recognition Letters*, 16(12): 1297–1310. [https://doi.org/10.1016/0167-8655\(95\)00084-5](https://doi.org/10.1016/0167-8655(95)00084-5)
- Epshtain B., Ofek E., Wexler, Y. 2010. Detecting Text in Natural Scenes with Stroke Width Transform. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, 13–18 June 2010. USA, San Francisco, CA: 2963–2970.
- Fletcher L.A., Kasturi R. 1988. A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/graphics Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10(6): 910–918.
- Gelbukh A., Levachkine S. 2002. Error Detection and Correction in Toponym Recognition in Cartographic Maps. *IASTED International Conference Geopro-2002*: 1–7.
- Gelbukh A., Levachkine S., Han S.Y. 2003. Resolving Ambiguities in Toponym Recognition in Cartographic Maps. In: *Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 75–86.
- Gregory I., Donaldson C., Murrieta-Flores P., Rayson P. 2015. Geoparsing, GIS, and Textual Analysis: Current Developments in Spatial Humanities Research. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 9(1): 1–14. <https://doi.org/10.3366/ijhac.2015.0135>
- Gritta M., Pilehvar M., Collier N. 2018. Which Melbourne? Augmenting Geocoding with Maps. In: *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Australia, Melbourne: 1285–1296.
- Hu X., Al-Olimat H., Kersten J., Wiegmann M., Klan F., Sun Y., Fan H. 2021. GazPNE: Annotation-free Deep Learning for Place Name Extraction from Microblogs Leveraging Gazetteer and Synthetic Data by Rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 36(2): 310–337. <https://doi.org/10.1080/13658816.2021.1947507>
- Hu X., Sun Y., Kersten J., Zhou Z., Klan F., Fan H. 2023. How Can Voting Mechanisms Improve the Robustness and Generalizability of Toponym Disambiguation? *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 117: 103191. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103191>
- Hu X., Zhou Z., Li H., Hu Y., Gu F., Kersten J., Fan H., Klan F. 2022a. Location Reference Recognition from Texts: A Survey and Comparison. *ACM Computing Surveys*, 56(5): 1–37. <https://doi.org/10.1145/3625819>

- Hu X., Zhou Z., Sun Y., Kersten J., Klan, F., Fan H., Wiegmann M. 2022b. GazPNE2: A General Place Name Extractor for Microblogs Fusing Gazetteers and Pretrained Transformer Models. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(17): 16259–16271. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3150967>
- Kent A.J. 2008. Cartographic Blandscapes and the New Noise: Finding the Good View in a Topographical Mashup. *The Bulletin of the Society of Cartographers*, 42(1–2): 29–37.
- Kyramargiou E., Papakondylis Y., Scalora F., Dimitropoulos D. 2020. Changing the Map in Greece and Italy: Place-name Changes in the Nineteenth Century. *The Historical Review/La Revue Historique*, 17: 205–250. <https://doi.org/10.12681/hr.27072>
- Lenc L., Martínek J., Baloun J., Prantl M., Král P. 2022. Historical Map Toponym Extraction for Efficient Information Retrieval. In: *Document Analysis Systems*. Cham: Springer International Publishing: 171–183. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06555-2_12
- Milleville K., Verstockt S., Van de Weghe N. 2020. Improving Toponym Recognition Accuracy of Historical Topographic Maps. In: *Automatic Vectorisation of Historical Maps*. International workshop organized by the ICA Commission on Cartographic Heritage into the Digital, Budapest, 13 March 2020. Budapest, Department of Cartography and Geoinformatics: 63–72.
- Neumann L., Matas J. 2010. A Method for Text Localization and Recognition in Real-world Images. In: *Computer Vision – ACCV 2010*. Proceedings of the 10th Asian Conference on Computer Vision, New Zealand, 8–12 November 2010. Berlin, Heidelberg, Springer: 770–783.
- Neumann L., Matas J. 2012. Real-time Scene Text Localization and Recognition. In: *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 16–21 June 2012. RI, USA, Providence: 3538–3545.
- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2023. An Automatic Approach to Finding Geographic Name Changes on Historical Maps. In: *ACM SIGSPATIAL GIS 2023*. Proceedings of the 31st ACM International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Hamburg, 13–16 November 2023. Germany, Hamburg, Association for Computing Machinery: 1–2.
- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2024. Automatic Search of Multiword Place Names on Historical Maps. In: *GeoSearch 2024*. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data, Atlanta, 29 October 2024. Atlanta, Association for Computing Machinery: 9–12.
- Pezeshk A., Tutwiler R.L. 2011. Automatic Feature Extraction and Text Recognition from Scanned Topographic Maps. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12): 5047–5063. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2157697>
- Pierrot-Deseilligny M., Men H.L., Stamon G. 1995. Characters String Recognition on Maps, a Method for High Level Reconstruction. In: *ICDAR '95*. Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, 14–16 August 1995. QC, Canada, Montreal: 249–252.
- Pouderoux J., Gonzato J-Ch., Pereira A., Guitton P. 2007. Toponym Recognition in Scanned Color Topographic Maps. In: *ICDAR '07*. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Curitiba, 23–26 September 2007. Brazil, Curitiba: 531–535.
- Schlegel I. 2021. Automated Extraction of Labels from Large-scale Historical Maps. *AGILE GIScience Series*, 2(12): 1–14.
- Scott P., Bader M. K-F., Burgess T., Hardy G., Williams N. 2019. Global Biogeography and Invasion Risk of the Plant Pathogen Genus Phytophthora. *Environmental Science and Policy*, 101: 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.020>
- Sekido I. 2019. Historical GIS Materials for South Asia Studies in the University of Tokyo. *Journal of Urban and Regional Studies on Contemporary India*, 5(2): 23–27.
- Sevgili Ö., Shelmanov A., Arkhipov M., Panchenko A., Biemann C. 2022. Neural Entity Linking: A Survey of Models Based on Deep Learning. *Semantic Web*, 13(3): 527–570. <https://doi.org/10.3233/SW-222986>
- Smith D.A., Crane G.R. 2001. Disambiguating Geographic Names in a Historical Digital Library. In: *Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, Berlin, 30 August 2001. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 127–136.
- Weissenbacher D., Tahsin T., Beard R., Figaro M., Rivera R., Scotch M., Gonzalez G. 2015. Knowledge-driven Geospatial Location Resolution for Phylogeographic Models of Virus Migration. *Bioinformatics*, 31(12): 348–356. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv259>

- Woodruff A.G., Plaunt Chr. 1994. GIPSY: Automated Geographic Indexing of Text Documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 45(9): 645–655.
- Wu L., Petroni F., Josifoski M., Riedel S., Zettlemoyer L. 2020. Zero-shot Entity Linking with Dense Entity Retrieval. In: *Computation and Language. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Stroudsburg, 16–20 November 2020. Stroudsburg, Association for Computational Linguistics: 6397–6407.
- Zhang Y., Chen Z., Zheng X., Chen N., Wang Y. 2021. Extracting the Location of Flooding Events in Urban Systems and Analyzing the Semantic Risk Using Social Sensing Data. *Journal of Hydrology*, 603(4): 127053. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127053>
- Zhou X., Yao C., Wen H., Wang Y., Zhou S., He W., Liang J. 2017. EAST: an Efficient and Accurate Scene Text Detector. In: *Computer Science. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Honolulu, 21–26 July 2017. HI, USA, Honolulu: 5551–5560.

Поступила в редакцию 23.03.2025;
поступила после рецензирования 06.05.2025;
принята к публикации 12.06.2025

Received March 23, 2025;
Revised May 06, 2025;
Accepted June 12, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Крупнова Елена Сергеевна, специалист по учебно-методической работе 1 категории учебно-научной Лаборатории цифровой лингвистики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Дмитриев Александр Владиславович, кандидат филологических наук, доцент Высшей школы лингвистики и педагогики, заведующий учебно-научной Лабораторией цифровой лингвистики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena S. Krupnova, specialist in educational and methodological work of first category in the Educational and Scientific Laboratory of Digital Linguistics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Alexander V. Dmitriev, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor at the Higher School of Linguistics and Pedagogy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Head of the Educational and Scientific Laboratory of Digital Linguistics, Saint-Petersburg, Russia

УДК 504.75+504.732
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516
EDN MUGQLC

Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО)

Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К.

Тюменский научный центр СО РАН

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86

kabanin@yandex.ru, iw.miliaew@yandex.ru, r_fedorov@mail.ru, mskritskaya@bk.ru

Аннотация. Исследование направлено на оценку обеспеченности открытыми зелеными пространствами нефтегазового города Муравленко, расположенного на юге Ямало-Ненецкого автономного округа. Методология основана на определении количественных и качественных параметров озеленения с использованием мультиспектральных спутниковых снимков (*WorldView-2*, *Landsat-4/5/7/8*) и расчете вегетационного индекса *NDVI*. В качестве интегрального показателя использовался индекс «зелености» (*GM*), апробированный ранее на примере города Надыма. Результаты показали сокращение площади растительности в городе Муравленко на 61 % за период урбанизации, при этом с конца 1990-х гг. динамика *NDVI* демонстрирует тренд постепенного восстановления фитомассы. Расчет индекса «зелености» выявил значительный дефицит озеленения в пределах жилых микрорайонов (среднее значение – 3,54, медиана – 0,60). Данный недостаток компенсируется шаговой доступностью окружающих город лесных массивов. Рекомендуется проведение регулярного дистанционного мониторинга зеленой инфраструктуры в северных нефтегазовых городах, поскольку озеленение воспринимается местными жителями как важный фактор комфорта и качества городской среды.

Ключевые слова: урбанизация, *NDVI*, озеленение, нефтегазовый город, Западная Сибирь, дистанционное зондирование, индекс «зелености»

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00022, <https://rscf.ru/project/25-27-00022/>.

Для цитирования: Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К. 2025. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей северного нефтегазового города (г. Муравленко, ЯНАО). Региональные геосистемы, 49(3): 500–516. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516 EDN: MUGQLC

Assessment of the Green Infrastructure Availability for Residents of a Northern Oil-and-Gas Town (Muravlenko, YaNAO)

Ivan A. Milyaev, Oleg S. Sizov, Roman Yu. Fedorov, Margarita K. Skritskaya

Tyumen Scientific Centre SB RAS

86 Malygin St, Tyumen 625000, Russia

kabanin@yandex.ru, iw.miliaew@yandex.ru, r_fedorov@mail.ru, mskritskaya@bk.ru

Abstract. This study presents a comprehensive assessment of green infrastructure provision in the town of Muravlenko, focusing on its ecological and social dimensions. Using multispectral satellite imagery (*WorldView-2*, *Landsat-4/5/7/8*) and GIS-based analysis, we quantified vegetation dynamics from 1973 to 2024 through the Normalized Difference Vegetation Index. An integrated "greenness" index (*GM*) was used to evaluate spatial disparities in vegetation coverage across 12 residential microdistricts, incorporating *NDVI*

© Миляев И.А., Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Скрицкая М.К., 2025

values, vegetation height, and population density. Key findings reveal a 61 % reduction in vegetative cover during initial urbanization, with partial recovery observed post-1997, particularly in park areas (median NDVI 0.43–0.49). Urban greenery is dominated by shrubs and lawns (26.9 % of total area), while tree cover remains limited (12 %). The GM index highlighted critical deficits in 7 microdistricts (GM <1), though 54 % of residents benefit from proximate forest access (<400 m). The results underscore the need for targeted greening strategies in compact northern cities, emphasizing the "city-in-the-forest" concept to enhance climate resilience. Practical implications include recommendations for adapting national urban development programs to Arctic conditions through native species selection and LiDAR-assisted monitoring. This research provides a replicable framework for assessing green infrastructure in resource-extraction cities and towns, balancing quantitative remote sensing with socio-ecological priorities in extreme environments.

Keywords: urbanization, NDVI, greening, oil-and-gas city, Western Siberia, remote sensing, greenness index

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 25-27-00022, <https://rscf.ru/en/project/25-27-00022/>.

For citation: Milyaev I.A., Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Skritskaya M.K. 2025. Assessment of the Green Infrastructure Availability for Residents of a Northern Oil-and-Gas Town (Muravlenko, YaNAO). *Regional Geosystems*, 49(3): 500–516 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-500-516 EDN: MUGQLC

Введение

Растительность в пределах городской черты, оцениваемая через призму количественных и качественных характеристик, играет важную экосистемную роль в урбанизированном ландшафте и воспринимается местными жителями как один из наиболее важных факторов обеспечения комфортного проживания в искусственно формируемой городской среде [Kuklina et al., 2021]. Особое значение имеет успешное решение задачи озеленения в арктических нефтегазовых городах, где большая часть населения является приезжими из более южных регионов. Интродукция привычных видов древесно-кустарниковой растительности, помимо выполнения геоэкологических функций (стабилизация температурного режима воздуха, снижение шума, аккумуляция и нейтрализация загрязняющих веществ), способствует сокращению периода психологической адаптации к суровым арктическим или субарктическим природным условиям [Campbell et al., 2016].

Исследования городской зеленой инфраструктуры и экосистемных услуг, использующие ландшафтно-экологический подход, по большей части охватывают города, находящиеся в благоприятных природно-климатических условиях [Климанова и др., 2018; 2022]. Вместе с тем проводится изучение геохимических условий и деятельности почвенных микробных сообществ городских арктических почв на примере Мурманска и Апатитов [Korneyukova et al., 2022], что свидетельствует об интересе к функционированию городских экосистем арктических городов. Выявлено повышенное содержание органического вещества в почве озелененных урбанизированных территорий [Dvornikov et al., 2021]. В мировой научной литературе по проблематике городской зеленой инфраструктуры отмечается смещение тем исследований в сторону адаптации к изменению климата, наиболее сильно влияющему именно на арктический регион, и применению методов пространственного анализа в изучении закономерностей размещения объектов зеленой инфраструктуры [Jato-Espino et al., 2023]. Данные дистанционного зондирования и современные методы их обработки позволяют проводить точную количественную оценку экологических показателей городского растительного покрова и его доступности для горожан [Сергеева, Пирожков, 2021; Белоусов и др., 2023; Di Palma et al., 2024].

В процессе активного развития централизованной урбанизации на севере Западной Сибири, связанной с освоением нефтегазовых ресурсов, вопросы озеленения в обязательном порядке учитывались при разработке генеральных планов вновь создаваемых городов [Яковлев, 1987]. Как правило, предлагались типовые, нередко адаптированные к северным условиям решения по созданию открытых зеленых пространств, исходя из текущих на

момент проектирования нормативов обеспеченности. При этом под обеспеченностью зачастую понимался обобщенный показатель удельной площади зеленых насаждений применительно ко всему городу ($\text{м}^2/\text{чел.}$) [Оль и др., 1968].

В настоящее время существуют возможности более комплексной оценки обеспеченности растительностью для каждого района или микрорайона города (вплоть до каждого отдельного дома), учитывющей неоднородность ее пространственного распределения и ключевые геоботанические показатели (количество фитомассы, высота растительности) по отношению к неоднородности распределения населения, что было продемонстрировано в отношении г. Надыма [Сизов и др., 2022]. Результаты подобной оценки могут быть востребованы при определении основных направлений развития и улучшения городской среды, а также в рамках текущего мониторинга экологической обстановки [Соромотин и др., 2008; Об утверждении Программы ..., 2024]. Целью данного исследования является оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей г. Муравленко, расположенного на юге Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), в рамках предложенного ранее на примере г. Надыма подхода по определению интегрального индекса «зелености» городских микрорайонов.

Объекты и методы исследования

Город Муравленко расположен на локальной возвышенности (абсолютные высоты до 150 м) в пределах северо-таежной подзоны Пурской низменности (преобладающие породы – сосна, кедр, лиственница с примесью береск) [Физико-географическое районирование..., 1973]. Территория характеризуется резко континентальным климатом: среднегодовая температура января составляет $-23,4^{\circ}\text{C}$, июля $+15^{\circ}\text{C}$; зимой температура может опускаться до -56°C . Средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 12 октября; разрушения – 10 мая. По периферии города находятся несколько небольших озер ледниково-термокарстового происхождения; многолетняя мерзлота в верхней части грунтовой толщи отсутствует.

Муравленко представляет собой типичный пример централизованной урбанизации советского периода. Дело в том, что падение добычи нефти на основных крупных месторождениях Среднего Приобья в конце 1970-х гг. привело к необходимости разработки более северных запасов [Стась, 2013]. На этом этапе для сохранения темпов освоения Западно-Сибирской нефтегазовой провинции принимается решение о создании новых опорных городских поселений, рассчитанных не более чем на 80 тыс. чел. (чаще всего они образовывались на базе вахтовых поселков) [Куцев, 1982; Колева и др., 2013]. Муравленко, в частности, начал формироваться на месте рабочего поселка в рамках освоения вновь открытых крупных месторождений углеводородов (Муравленковского, Суторминского, Крайнего и др.) (первый строительный десант – конец 1982 года, статус города – с 1990 года). Позднее здесь были размещены нефтедобывающие управлении «Суторминскнефть» и «Муравленковскнефть», два управления буровых работ, трест «Ноябрьскнефтегазстрой», девять строительных управлений, семь транспортных управлений и баз, газоперерабатывающий и асфальтобетонный заводы, а также ряд других предприятий и организаций [Быковский, 1999]. Социальная сфера на момент получения городского статуса была представлена четырьмя средними школами, девятью дошкольными учреждениями, концертным залом, домом культуры, библиотекой, больницей, четырьмя поликлиниками и др.

Общая площадь муниципального образования Муравленко составляет 91520 га, однако в данном исследовании рассматривается только основная застроенная часть города площадью 891 га. Численность населения по состоянию на 1 января 2024 года составляет 29581 чел. [Численность постоянного населения ..., 2024]. Как и в большинстве других малых молодых городов Тюменского Севера, застройка Муравленко велась по принципу компактности. Ее основу составили 12 микрорайонов (общая площадь 227 га) с много квартирными и частными жилыми домами, высотой от 2 до 7 этажей (большинство в конце 1980-х гг.) (рис. 1).

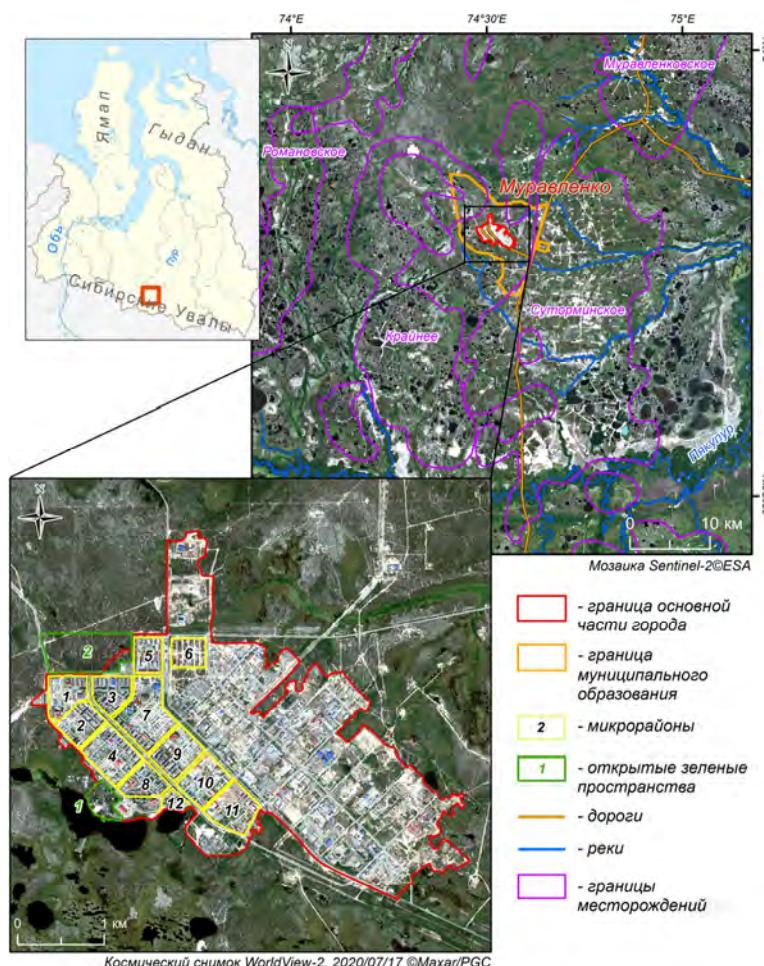


Рис. 1 Обзорная карта города Муравленко
Fig. 1. The town of Muravlenko, overview map

В черте городской застройки озеленение велось в основном вдоль улиц, а также в пределах небольших скверов и бульваров. При этом использовали преимущественно местные породы деревьев и кустарников, среди которых – сосна обыкновенная, береза повислая, рябина сибирская, ольха, ивы разных видов [Рекомендации по созданию..., 2024]. Работы по озеленению осложнялись тем, что местные почвы характеризовались небольшим содержанием органического вещества, поэтому применяли особые методы пересадки саженцев и различные виды органических и минеральных удобрений [Быковский, 1999].

В пределах городской застройки Муравленко общественные пространства преимущественно представлены небольшими скверами и бульварами. Наиболее крупным из общественных пространств города является Парк культуры и отдыха (ПКиО) «Место рождения», площадь которого составляет около 12 га. Парк рассчитан на проведение массовых культурных мероприятий (на его территории установлена сцена) и на семейный отдых (в парке оборудованы детские площадки). Близость озера с песчаным пляжем, а также большое количество зеленых насаждений привлекают большое количество жителей: в летнее время на озере организован прокат лодок и катамаранов; в зимнее – устраиваются катания на оленевых упряжках и снегоходах. Обустройство парка началось в 1995 году; в настоящее время рекреационная функциональность парка активно расширяется. В частности, после завершившегося в 2023 году первого этапа реконструкции здесь появились скамейки с подогревом и мощение пешеходных зон антискользящей плиткой. К парку ведет благоустроенная пешеходная зона, получившая название Парковый бульвар.

В центре города расположен сквер Молодежный, который выполняет функцию центральной площади для проведения официальных мероприятий и праздников. Здесь установлен скалодром, «сухой» фонтан, высажены новые деревья и кустарники (рябина, акация и др.).

В 2021 году возле Соборной мечети открыт Сквер дружбы народов, который символизирует культурное единение представителей разных национальностей, проживающих в городе. Для этого в сквере установлены тематические скульптуры и арт-объекты. Сквер дружбы народов образует единую рекреационную зону с открытым ранее в 2020 году сквером Лазурным. Функционально сквер ориентирован на семейный отдых – здесь установлена детская площадка и различные скульптурные композиции. В 2022 году был значительно обновлен Сквер Победы, который включает монумент Воину-Освободителю, барельеф «Вечный огонь», а также стенды, посвященные Брестской крепости и 12 городам-героям. В южной части города находится сквер Ямальский, где дорожной плиткой выложена стилизованная карта городов ЯНАО. Рядом на Аллее лицеистов создан ряд тематических арт-объектов, посвященных образованию и науке. Из открытых спортивных сооружений Муравленко следует выделить стадион, ориентированный на занятия спортом для широкого круга желающих.

Вдоль северо-западной границы города в прилегающем лесном массиве обустроены Лесная аллея и лыжная трасса. Лесная аллея создана в 2022 году при поддержке компании «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» – здесь был установлен сенсорный сад, а также экологические арт-объекты, представляющие собой малые архитектурные формы, украшенные природным материалом (шишками, мхом и растениями). Поблизости в 2023 году обустроена лыжно-роллерная трасса длиной в 3 км, которая рассчитана на использование в зимнее и летнее время.

В целом можно отметить, что за последние годы (2020–2024) в рамках реализации проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда» [2018] произошла заметная активизация работ по благоустройству открытых городских пространств Муравленко.

Другая отличительная особенность состоит в том, что наиболее востребованные у населения объекты зеленой инфраструктуры расположены в лесных массивах и у водоемов, которые непосредственно граничат с городской застройкой. Эта особенность определяет важное экологическое и рекреационное значение окружающих Муравленко естественных ландшафтов, формируя особую атмосферу «города в лесу».

Таким образом, развитие рекреационного потенциала города тесно связано с дальнейшим благоустройством как внутренних, так и внешних открытых зеленых пространств.

Исследование пространственного распределения растительности в пределах города Муравленко выполнено с использованием мультиспектрального спутникового снимка *WorldView-2*: дата съемки – 17 июля 2020 г., максимальное разрешение – 0,52 м, сцена – 10300100AA0FC700, источник – *Maxar/Polar Geospatial Center (PGC)*, США. Снимок представлен в значениях отраженной радиации (*reflectance*), что позволяет сразу рассчитать вегетационный индекс *NDVI* (*normalized difference vegetation index*), характеризующий состояние растительного покрова.

Формирование маски и классификация растительности производили на основе подходов объектно-ориентированного дешифрирования [Karan et al., 2025]. Методика работ включала выполнение следующей последовательности операций:

- 1) сегментация снимка *WorldView-2* в *Orfeo Toolbox* с расчетом средних значений каналов (синий, зеленый, красный, ближний инфракрасный) для каждого сегмента;
- 2) расчет *NDVI* по снимку *WorldView-2* в *ArcGIS 10.8* и выделение маски растительности (диапазон значений *NDVI* 0,2–0,98);
- 3) вычисление зональной статистики средних и максимальных значений *NDVI*, а также относительной высоты растительности в пределах каждого сегмента в *ArcGIS 10.8*;

4) классификация типов поверхности в среде *R* (пакеты *sf*, *terra*, *randomForest*, *caret*) с применением алгоритма *Random Forest* [Breiman, 2001] к предварительно созданной в *ArcGIS* обучающей выборке (средние значения *NDVI* выборки сегментов растительности $> 0,2$, относительная высота – 0,01–25 м) [Сизов и др., 2022].

В процессе классификации выделяли следующие классы: хвойные породы, лиственные породы, кустарники и газоны, оголенные пески, водоемы, здания и сооружения, дороги, тени. Точность классификации оценивалась с помощью 1000 случайно распределенных тестовых точек с построением матрицы ошибок. Итоговая общая точность составила 0,758, коэффициент Кappa – 0,704. Для независимого наземного определения классов использовались общедоступные фотопанорамы сервисов Яндекс.Карты и *Google Maps*.

Оценка динамики параметра *NDVI* с 1985 по 2024 год проводилась в пределах территории всего города, ПКиО «Место рождения» и Лесной аллеи. Для расчета использовали архив данных *Landsat-4/5/7/8* (уровень обработки L2), представленных на платформе *Google Earth Engine* [Gorelick et al., 2017]. В ходе анализа был выбран период максимальной вегетации с 15 июля по 15 августа каждого года, что позволило минимизировать сезонные колебания. Получение снимков *Landsat 1-3 MSS* и их последующая атмосферная коррекция методом *Dark Object Subtraction (DOS-1)* [Mather, Koch, 2022] позволили расширить период наблюдений до 1973 года.

Высота растительности получена из набора данных *Global Canopy Height Maps* также с помощью *Google Earth Engine*. Набор содержит информацию о высоте кроны деревьев в глобальном масштабе с пространственным разрешением в 1 м [Tolan et al., 2024].

В качестве геоинформационной основы для оценки обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей города Муравленко использовались скорректированные авторами векторные данные *OpenStreetMap*, включающие жилые здания, общественные пространства и улицы. Фактическая информация о жилых зданиях (жилая площадь, этажность, год постройки, адрес) получена из справочной системы ГИС ЖКХ [Информационный ресурс..., 2016], а данные по снесенным строениям уточнены на основе муниципальных документов [Об утверждении схемы ..., 2024]. Общественные пространства классифицированы по типам (парки, скверы, спортивные площадки) и дополнены названиями.

Для пространственного анализа также созданы слои функциональных зон и микрорайонов города, основанные на картах генерального плана муниципального образования [Генеральный план ..., 2017].

С целью составления детальной карты плотности населения получено расчетное значение жителей для каждого дома исходя из доступных значений жилой площади и следующих нормативных требований [СП 42.13330.2016, 2016]: 1) 20 м² на 1 чел. в много квартирных домах; 2) 60 м² на 1 чел. в частных домах.

Расчетная численность жителей Муравленко составила 29929 чел., что хорошо согласуется с фактической официальной оценкой в 29581 чел. по состоянию на 1 января 2024 г. [Численность постоянного населения..., 2024]. Таким образом, расчетный метод анализа пространственного распределения населения может быть признан валидным в рамках данной работы.

Пространственный анализ результатов классификации, обработку разнородных пространственных данных, создание и оформление тематических карт осуществляли с помощью ПО *ArcGIS 10.8*.

Результаты и их обсуждение

Архивный космический снимок *Corona KH-2* 1961 года наглядно демонстрирует, что до начала строительства вся территория города (891 га) представляла собой достаточно однородный участок северной тайги без включения речных долин, болот или озер (рис. 2). Результаты дешифрирования актуального (2020 год) снимка *WorldView-2* показали, что за период освоения городского пространства площадь растительного покрова сократилась на 61 % (до 346 га).

Наиболее активно сокращение растительности отмечается с 1986 по 1991 год во время основной фазы строительства жилых зданий и сооружений (рис. 3). Расчеты показывают практически трехкратное снижение индекса *NDVI* для всей территории города (с 0,36 до 0,12, медианное значение) и существенное снижение для территории ПКиО (с 0,31 до 0,21, медианное значение).

Однако уже приблизительно с 1997 года начинается постепенный прирост фитомассы – на текущий момент медианное значение *NDVI* в пределах всей основной территории города вплотную приблизилось к исходному (0,29–0,30 в 2023–2024 гг.). В то же время медианное значение *NDVI* в пределах ПКиО с 2009 года стабильно превышает исходный уровень и в настоящее время достигает 0,43–0,49 (2020–2024 г.). Примечательно, что в пределах участка Лесной аллеи, который не испытал негативного антропогенного воздействия за время строительства и обустройства города, с 2012 года также наблюдается рост значений *NDVI* вплоть до 0,50 в 2024 году.

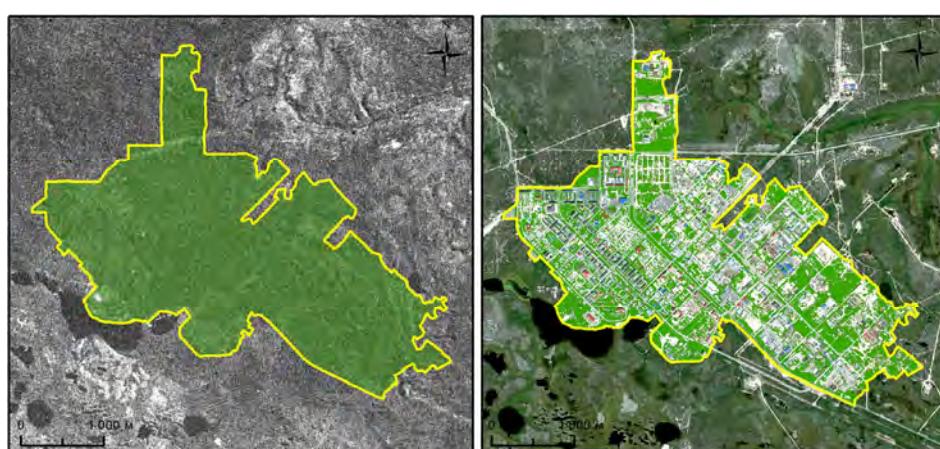


Рис. 2. Участок расположения города Муравленко, желтой линией показаны современные границы основной части города, зеленым показана маска растительности (слева – космический снимок Corona KH-2 от 16 июня 1961 г., © USGS; справа – космический снимок WorldView-2 от 17 июля 2020 г., © Maxar/PGC)

Fig. 2. Location of Muravlenko, the yellow line shows the modern boundaries of the main part of the city, the vegetation mask is shown in green (left – Corona KH-2 satellite image from June 16, 1961, © USGS; right – WorldView-2 satellite image from July 17, 2020, © Maxar/PGC)



Рис. 3. Динамика жилищного строительства относительно динамики *NDVI* в пределах территории города Муравленко и основных зеленых пространств

Fig. 3. Dynamics of residential construction in comparison to the *NDVI* dynamics within the town and main green spaces

Анализ данных дистанционного зондирования Земли показал, что по состоянию на 2020 год общая площадь зеленой инфраструктуры внутри городской черты Муравленко (скверы, парки, аллеи, бульвары) составляла 19,29 га (6,6 м²/чел.). При этом если учитывать всю маску растительного покрова, то значение будет существенно выше (118 м²/чел.).

Важно отметить, что большую часть растительности составляют кустарники и газоны (26,9 % от основной площади города), тогда как насаждения хвойных и лиственных пород составляет всего 7,6 и 4,4 % от площади города соответственно (рис. 4а). Наиболее ценные хвойные деревья сохранились в основном по периферии в западной, восточной и северной частях города, в то время как в пределах жилых микрорайонов они встречаются единично. По всей видимости, на стадии строительства не стояла задача сохранения исходного древостоя, что привело в итоге к необходимости проводить озеленение на нарушенных территориях. Слабую эффективность проведенных мероприятий косвенно подтверждает сохранение высокой доли оголенных песков (17,6 % по состоянию на 2020 год). Ситуацию также усугубляют работы по сносу временных жилых зданий, которые приводят к вторичному уничтожению частично сформировавшейся растительности.

Общее распределение фитомассы в пределах города отличается неравномерностью (рис. 4б). Наименьшие значения NDVI в промышленной зоне свидетельствуют о том, что озеленение здесь практически отсутствует. С другой стороны, вдоль границ города отмечаются максимальные объемы фитомассы, что напрямую можно связать с уменьшением степени антропогенного воздействия.



Рис. 4. Классификация типов поверхности (а) и распределение NDVI (б)
в городе Муравленко на 17.07.2020

Fig. 4. Land cover classification (a) and distribution of NDVI (b)
in the town of Muravlenko as of 17.07.2020

Анализ состояния зеленых насаждений в пределах жилых микрорайонов показывает в целом высокое среднее значение NDVI (0,46; расчет в пределах маски растительности) при относительно низком проективном покрытии (диапазон 22–54 %, среднее значение 34 %) (рис. 5). Разница между микрорайонами при этом несущественная – стандартное отклонение значений NDVI в среднем составляет 0,18. Для сравнения в пределах ПКиО среднее значение NDVI достигает 0,49 (растительность занимает 77 % парка). Однако если проводить расчет с учетом всей площади микрорайонов, то среднее значение NDVI снижается до 0,21, что показывает явный дефицит удельной площади озеленения.

По проективному покрытию заметна значительная разница между старыми (дома постройки 1991 года и раньше) и новыми микрорайонами: в первом случае среднее значение составляет 26,6 %, во втором – 41,4 %. Аномальное соотношение полученных значений может являться признаком вторичной нарушенности почвенно-растительного покрова в процессе демонтажа деревянных временных бараков, поскольку после этого мероприятия по озеленению не проводятся.

Комплексную обеспеченность зелеными пространствами внутри микрорайонов города («зеленость» микрорайонов), согласно [Сизов и др., 2022], можно представить следующим образом:

$$GM = ((NDVI_{mean} \times H_{Veg_{mean}} \times PG) / PM) \times 100,$$

где GM – показатель «зелености», $NDVI_{mean}$ – среднее значение $NDVI$ в пределах микрорайона, $H_{Veg_{mean}}$ – среднее значение высоты растительности в пределах микрорайона, PG – доля зеленой растительности в общей площади микрорайона, PM – общая потенциальная численность жителей микрорайона.

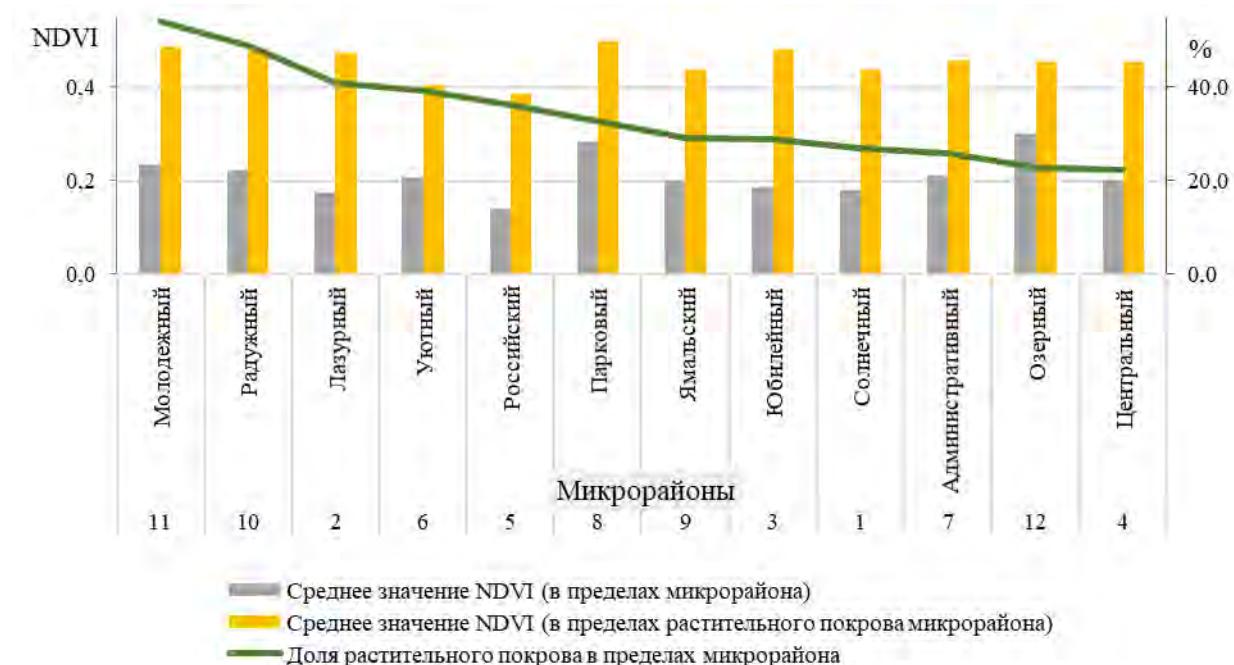


Рис. 5. Состояние зеленых насаждений в жилых микрорайонах Муравленко на 17.07.2020

Fig. 5. Condition of vegetation cover in residential microdistricts of Muravlenko as of 17.07.2020

Проведенные расчеты (рис. 6а, табл.) показали, что средняя обеспеченность зелеными пространствами в пределах микрорайонов составила 3,54 (медиана – 0,60). Максимальные значения в микрорайонах Уютный (19,01) и Озерный (14,29) связаны с низкой плотностью населения (преобладание малоэтажной застройки и частных домов) и периферийным положением относительно основной городской застройки. Для трех микрорайонов (Молодежный, Парковый и Радужный) получены значения GM около 2, что соответствует нижней границе необходимой обеспеченности зелеными пространствами [Сизов и др., 2022]. Для остальных семи микрорайонов значения GM существенно меньше 1 (диапазон 0,35–0,65), что свидетельствует о явном дефиците озеленения. При этом статистическая связь обеспеченности со средним возрастом домов микрорайона не прослеживается.

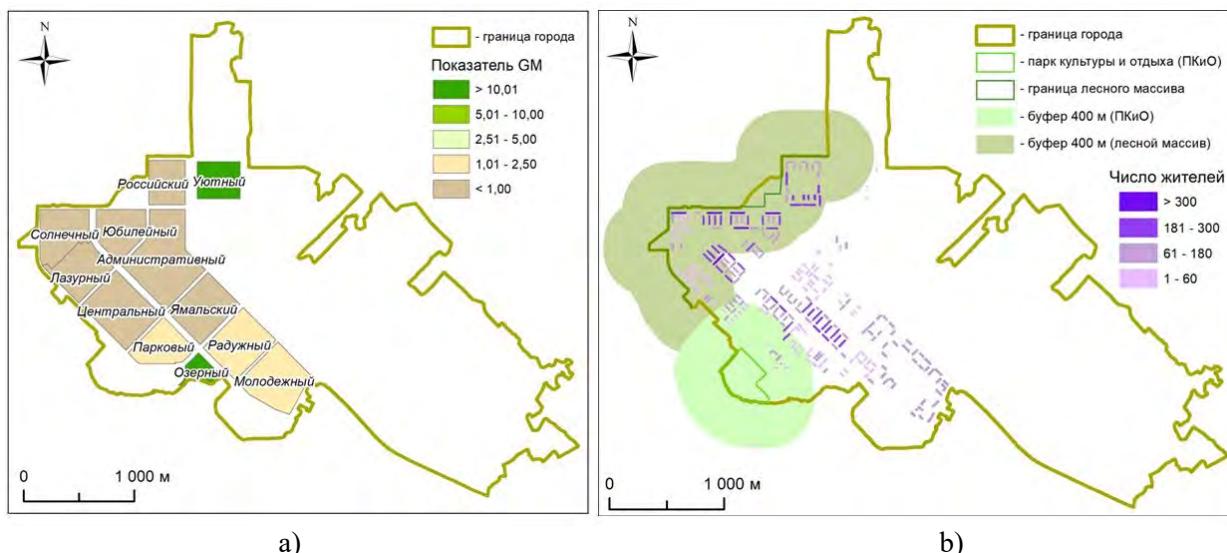


Рис. 6. Обеспеченность микрорайонов Муравленко зелеными пространствами (а) и их доступность (б)
 Fig. 6. Provision of microdistricts in the town of Muravlenko with green spaces (a) and their availability (b)

Основные демографические и геоботанические показатели жилых микрорайонов Муравленко
 Main demographic and geobotanical indicators of microdistricts in the town of Muravlenko

№	Название микрорайона	Площадь, га	Средний год постройки домов ¹	Потенциальная численность жителей, чел.	NDVI, среднее значение	
1	Административный	36,74	1988	2360	0,21	
2	Лазурный	17,55	1992	4237	0,18	
3	Молодежный	23,24	2012	2112	0,24	
4	Озерный	5,90	1991	157	0,30	
5	Парковый	14,76	1989	1381	0,29	
6	Радужный	21,43	2006	2185	0,22	
7	Российский	13,02	2003	3593	0,14	
8	Солнечный	18,53	1991	2845	0,18	
9	Уютный	13,02	2021	180	0,21	
10	Центральный	25,75	1988	3166	0,20	
11	Юбилейный	16,49	1994	4336	0,19	
12	Ямальский	20,96	1986	3378	0,20	
№	NDVI (в пределах участков растительности)			Ср. высота растительности, м	Доля растительности, %	
	Среднее	Медиана	Ст. отклонение		Индекс «зелености» (GM)	
1	0,46	0,44	0,20	2,84	25,78	0,65
2	0,48	0,43	0,19	2,19	40,90	0,37
3	0,49	0,45	0,19	3,44	54,06	2,07
4	0,46	0,48	0,19	3,25	22,92	14,29
5	0,50	0,52	0,19	3,41	32,65	2,30
6	0,48	0,42	0,19	3,50	48,99	1,73
7	0,38	0,39	0,17	2,87	36,35	0,41
8	0,44	0,40	0,18	2,44	26,83	0,41
9	0,40	0,33	0,12	4,17	39,41	19,01
10	0,45	0,45	0,18	2,44	22,38	0,35
11	0,48	0,45	0,17	2,80	28,75	0,35
12	0,44	0,44	0,19	3,14	29,08	0,54

Примечание: 1 – без учета снесенных.

Выявленный недостаток озеленения в пределах жилых микрорайонов повышает экосистемную роль и привлекательность окружающих город лесных массивов. Анализ их доступности показал (рис. 6б), что благодаря компактной застройке Муравленко в пределах шаговой доступности (буферная зона 400 м) от фонового леса и благоустроенного ПКиО проживает больше половины (54 %) населения города. В определенной мере это способствует удовлетворению рекреационных потребностей жителей, однако создает значительный ландшафтный контраст между зонами отдыха и основной жизнедеятельности. Наиболее удалена от лесных массивов центральная часть города, где в настоящее время проводится активное развитие объектов зеленой инфраструктуры (преимущественно скверов).

Современные оценки показывают, что требования к условиям комфортного проживания и экосистемным ресурсам в северных нефтегазовых городах неуклонно растут вслед за ростом благосостояния местных жителей [Гончаров и др., 2020]. В частности, в Стратегии развития Муравленко отмечается высокое психологическое и имиджевое значение озеленения улиц и открытых общественных пространств города для его жителей, выявленное в ходе специально проведенных социологических опросов [Стратегия социально-экономического развития ..., 2011]. Кроме того, наличие лесопарковой зоны в окрестностях города рассматривается как уникальный рекреационный ресурс, увеличивающий привлекательность городской среды по сравнению с другими населенными пунктами ЯНАО.

В условиях сурового субарктического климата, значительной удаленности от Большой земли и монопрофильного уклада экономики благоустройство города сопряжено с решением целого ряда технических и социально-экологических проблем, не имеющих аналогов в других регионах. Тем не менее, результаты данного исследования фиксируют значительные позитивные изменения в части обновления и расширения объектов зеленой инфраструктуры Муравленко благодаря последовательной реализации проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда» (2020–2024 гг.) [2018].

Ключевой особенностью территориальной организации Муравленко является его компактная планировка, которая значительно ограничивает возможности создания новых общественных пространств в черте города. Поэтому в качестве одного из наиболее рациональных землестроительных подходов активно применяется повышение интенсивности использования сложившейся городской среды путем преобразования неиспользуемых пространств в парковки, скверы, детские и спортивные площадки, а также благоустройства и озеленения тротуаров и пешеходных бульваров. Важную роль при этом играет целенаправленная деятельность по сносу аварийных деревянных зданий, что позволяет проводить реновацию сразу всей освобождаемой территории микрорайона.

На примере Муравленко подтвердилось выявленное ранее положительное воздействие условий арктического города на состояние и динамику прироста растительного покрова [Бочкарев и др., 2023]. Этому, с одной стороны, способствует непосредственное проведение мероприятий по развитию зеленых пространств на регулярной основе. Высаживаются растения, обладающие более высокой вегетирующей способностью по отношению к местным видам. С другой стороны, положительное влияние оказывает сглаживание температурных аномалий в зимний («острова тепла») и летний сезоны, повышенное содержание углекислого газа и стихийное уничтожение подлеска [Варенцов и др., 2022].

Вместе с тем, результаты расчетов показали, что жилые микрорайоны Муравленко характеризуются в целом сниженными значениями «зелености» (среднее – 3,54, медиана – 0,60) по сравнению с более северным Надымом (среднее – 4,78, медиана – 1,67) [Сизов и др., 2022]. В частности, это проявляется в том, что внутри микрорайонов Муравленко практически отсутствует древесная растительность, а газоны и кустарники находятся в угнетенном состоянии. Кроме того, в процессе сноса жилых домов образуются обширные

песчаные пустоши, на которых не предполагается проведение озеленения, а естественное возобновление растительности затруднено в силу бедного состава дерново-подзолистых почв. Участки оголенных песков создают дополнительные риски пылевого загрязнения воздуха и снижают экосистемный потенциал города.

В этом отношении существенно возрастает ценность естественных лесных массивов, непосредственно окружающих Муравленко с севера и северо-запада. Именно здесь в настоящее время происходит активное создание дополнительных элементов рекреационной инфраструктуры (тюбинговая, лыжная и лыжероллерная трассы, места для отдыха, смотровая площадка, стихийные пляжи и др.). В процессе их формирования важно максимально сохранить имеющиеся естественные участки древесной растительности, органично вписав в них новые объекты. Для этого может быть предложен комплекс мер в рамках концептуального подхода «города в лесу», когда высокая (шаговая) доступность естественных ландшафтов фактически стирает устойчивую границу городской территории. Среди таких мер можно отметить оборудование экологических троп, мест для разведения костра, мест для складирования мусора, организацию освещения, проведение фитосанитарных процедур и др.

Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой арктических нефтегазовых городов играет важную роль при градостроительном планировании, позволяя в полной мере учесть региональные экологические потребности местных жителей с учетом неоднородности их распределения. Используемая в данном исследовании методика оценки на основе показателя *GM* [Сизов и др., 2022] доказала свою эффективность и, соответственно, может на регулярной основе применяться для других нефтегазовых городов. Расширение практики применения показателя *GM* позволит проводить региональные обобщения, а также своевременно выявлять наиболее проблемные участки. Повышение детальности и достоверности результатов оценки обеспеченности возможно с привлечением данных лидарной и мультиспектральной съемки с беспилотных летательных аппаратов [Tolan et al., 2024].

В целом устойчивое развитие открытых зеленых пространств в пределах городской черты следует воспринимать как один из ключевых факторов повышения жизнестойкости северных нефтегазовых городов [Замятин и др., 2022].

Заключение

Проведенное исследование позволило выявить следующие особенности обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей Муравленко:

1) активная застройка города в 1980–1990-х гг. привела к сокращению площади растительного покрова на 61 %, однако с конца 1990-х гг. динамика *NDVI* демонстрирует тренд постепенного восстановления общего количества фитомассы;

2) на основе расчета индекса «зелености» выявлен значительный дефицит озеленения в пределах жилых микрорайонов (среднее значение – 3,54, медиана – 0,60) – древесная растительность здесь практически отсутствует, а газоны и кустарники находятся в угнетенном состоянии;

3) недостаток открытых зеленых пространств в значительной мере компенсируется для большей части (54 %) жителей шаговой (до 400 м) доступностью естественных лесных массивов, окружающих город с севера и северо-запада.

В связи с продолжением в городе работ по обновлению жилого фонда, сопровождаемых неизбежным вторичным нарушением почвенно-растительного покрова, обоснованным выглядит развитие концепции «города в лесу», предполагающей тесную интеграцию близлежащих природных ландшафтов в урбанизированную среду (развитие экотроп, создание новых объектов для активного отдыха и т. д.).

В дальнейшем рекомендуется проведение регулярных оценок динамики обеспеченности зеленой инфраструктурой как важного фактора повышения устойчивости

городской среды, с привлечением более детальных материалов дистанционной съемки (лидарной, мультиспектральной). Подобные исследования позволят своевременно выявлять проблемы реализуемых мероприятий по озеленению, а также определять перспективные сценарии реализации потенциальных экосистемных и рекреационных потребностей городских жителей.

Список источников

- Генеральный план муниципального образования город Муравленко Ямало-Ненецкого автономного округа. ООО НИИ «Земля и город». 2017. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/activity/34344/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Информационный ресурс «ГИС ЖКХ». 2016. Электронный ресурс. URL: <http://dom.gosuslugi.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
- Проект: «Формирование комфортной городской среды» от 01.10.2018. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/b6f/x7e2vfjuizi5w4kjn1pg3muc3lnkegx2/F3-FP_Formirovanie_komfortnoj_gorodskoj_sredy-22.10.2024.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
- Об утверждении Программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры города Муравленко на период с 2024 года до 2035 года: Решение Думы города Муравленко от 19.12.2024 № 357. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/402678/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Об утверждении схемы теплоснабжения муниципального образования город Муравленко на период до 2035 года (корректировка): Постановление от 27 июня 2024 года № 472. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/358367/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений в населенных пунктах Ямало-Ненецкого автономного округа, а также осуществлению ухода за ними: инструктивно-методическое издание. 2024. Электронный ресурс. URL: <https://dprr.yanao.ru/documents/active/431319/> (дата обращения: 18.05.2025)
- СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 28.02.2025).
- Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Муравленко на период до 2030 года. Москва-Муравленко, 2011. Электронный ресурс. URL: <https://muravlenko.yanao.ru/documents/active/183311/> (дата обращения: 18.05.2025)
- Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года. Росстат. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 10.04.2025).

Список литературы

- Белоусов С.К., Евсеев А.В., Красовская Т.М. 2023. Картографирование экосистемных услуг парковых зон Воркуты в целях совершенствования планировочных решений. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 29(2): 371–381. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-371-381>
- Бочкарев Ю.Н., Дьяконов К.Н., Соромотин А.В., Сизов О.С. 2023. Дендрохроноиндикация изменения местного климата городской территории Надыма за последние 50 лет. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 78(5): 125–132. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.12>
- Быковский В.А. 1999. Есть город на Ямале – Муравленко. Екатеринбург, Издательство Екатеринбург, 176 с.
- Варенцов М.И., Репина И.А., Глазунов А.В., Самсонов Т.Е., Константинов П.И., Степаненко В.М., Лыкосов В.Н., Артамонов А.Ю., Дебольский А.В., Печкин А.С., Соромотин А.В. 2022. Особенности пограничного слоя атмосферы г. Надым по данным экспериментальных измерений и вихреразрешающего моделирования. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 64–78. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-64-78>

- Гончаров Р.В., Данькин М.А., Замятин Н.Ю., Молодцова В.А. 2020. Соборы в пустыне или опорные базы? Типология населенных пунктов российской Арктики по характеру взаимосвязи с окружающей территорией. Городские исследования и практики, 5(1): 33–56. <https://doi.org/10.17323/usp5120209-32>
- Замятин Н.Ю., Котов Е.А., Гончаров Р.В., Бурцева А.В., Гребенец В.И., Медведков А.А., Молодцова В.А., Клюева В.П., Кульчицкий Ю.В., Миронова Б.А., Никитин Б.В., Пилисов А.Н., Поляченко А.Е., Потураева А.В., Стрелецкий Д.А., Шамало И.А. 2022. Оценка потенциала жизнестойкости городов Российской Арктики. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 5: 52–65.
- Климанова О.А., Букварёва Е.Н., Илларионова О.А., Колбовский Е.Ю. 2022. Оценка экосистемных услуг на муниципальном уровне и ее возможная интеграция в территориальное планирование. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 86(4): 605–620. <https://doi.org/10.31857/S2587556622040069>
- Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. 2018. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития. Вестник Санкт-Петербургского Университета. Науки о Земле, 63(2): 127–146. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
- Колева Г.Ю., Стась И.Н., Шорохова И.И. 2013. Становление индустриально-урбанистического общества на территории Тюменской области. Тюменский индустриальный университет, 284 с.
- Куцев Г.Ф. 1982. Новые города: Социологический очерк на материалах Сибири. Москва, Мысль, 269 с.
- Оль Г. А., Римская-Корсакова Т. В., Танкян В. Г. 1968. Планировка и застройка жилых комплексов Крайнего Севера. Ленинград, Стройиздат, 120 с.
- Сергеева О.С., Пирожков С.П. 2021. Разработка методики расчета площади озеленения города с применением данных дистанционного зондирования Земли. Географический вестник, 2(57): 170–181. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-170-181>
- Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Печкина Ю.А., Мичугин М. С., Куклина В.В., Соромотин А.В., Федаш А.В. 2022. Оценка обеспеченности зеленой инфраструктурой жителей арктического города (на примере Надыма). Арктика: экология и экономика, 12(4): 475–490. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-475-490>
- Соромотин А.В., Хотеев В.В., Сизов О.С., Питерских А.С. 2008. Комплексное геоэкологическое исследование городской среды г. Муравленко. Экология урбанизированных территорий, 2: 34–40.
- Стась И.Н. 2013. Индустриализация Ханты-Мансийского округа как основной фактор развития городов нефтяников во второй половине XX в. Регионоведческие исследования, 2(25): 95–104.
- Физико-географическое районирование Тюменской области. 1973. Под ред. Н.А. Гвоздецкого. Москва, Издательство МГУ, 246 с.
- Яковлев А.В. 1987. Градостроительство на Крайнем Севере. Ленинград, Стройиздат, 182 с.
- Breiman L. 2001. Random Forests. Machine Learning, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Campbell L.K., Svendsen E.S., Sonti N.F., Johnson M.L. 2016. A Social Assessment of Urban Parkland: Analyzing Park Use and Meaning to Inform Management and Resilience Planning. Environmental Science & Policy, 62: 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.014>
- Di Palma M., Rigillo M., Leone M.F. 2024. Remote Sensing Technologies for Mapping Ecosystem Services: an Analytical Approach for Urban Green Infrastructure. Sustainability, 16(14): 6220. <https://doi.org/10.3390/su16146220>
- Dvornikov Y.A., Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Gosse D.D. 2021. Projecting the Urbanization Effect on Soil Organic Carbon Stocks in Polar and Steppe Areas of European Russia by Remote Sensing. Geoderma, 399: 115039. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115039>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. Remote Sensing of Environment, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Jato-Espino D., Capra-Ribeiro F., Moscardo V., Bartolome del Pino L.E., Mayor-Vitoria F., Gallardo L.O., Carracedo P., Dietrich K. 2023. A Systematic Review on the Ecosystem Services Provided

- by Green Infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86: 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>
- Karan S.K., Borchsenius B.T., Debella-Gilo M., Rizzi J. 2025. Mapping Urban Green Structures Using Object-Based Analysis of Satellite Imagery: A Review. *Ecological Indicators*, 170: 113027. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113027>
- Korneykova M.V., Vasenev V.I., Nikitin D.A., Dolgikh A.V., Soshina A.S., Myazin V.A., Nakhaev M.R. 2022. Soil Microbial Community of Urban Green Infrastructures in a Polar City. *Urban Ecosystems*, 25(5): 1399–1415. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01233-8>
- Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. 2021. Green Spaces as an Indicator of Urban Sustainability in the Arctic Cities: Case of Nadym. *Polar Science*, 29: 100672. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100672>
- Mather P.M., Koch M. 2022. Computer Processing of Remotely-Sensed Images. John Wiley & Sons, 388 p.
- Tolan J., Yang H.-I., Nosarzewski B., Couairon G., Vo H.V., Brandt J., Spore J., Majumdar S., Haziza D., Vamaraju J., Moutakanni T., Bojanowski P., Johns T., White B., Tiecke T., Couprie C. 2024. Very High Resolution Canopy Height Maps from RGB Imagery Using Self-Supervised Vision Transformer and Convolutional Decoder Trained on Aerial Lidar. *Remote Sensing of Environment*, 300: 113888. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113888>

References

- Belousov S.K., Evseev A.V., Krasovskaya T.M. 2023. Mapping of Ecosystem Services of Vorkuta Park Zones for Improvement of Planning Solutions. *InterCarto. InterGIS*, 29(2): 371–381 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-371-381>
- Bochkarev Yu.N., Dyakonov K.N., Soromotin A.V., Sizov O.S. 2023. Dendrochronoindication of Local Climate Change in Nadym City Over the Last 50 Years. *Lomonosov Geography Journal*, 78(5): 125–132 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.12>
- Bykovskiy V.A. 1999. *Est' gorod na Yamale – Muravlenko* [There is a City in Yamal – Muravlenko]. Ekaterinburg, Pabl. Ekaterinburg, 176 p.
- Varentsov M.I., Repina I.A., Glazunov A.V., Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Stepanenko V.M., Lykosov V.N., Artamonov A.Yu., Debolskiy A.V., Pechkin A.S., Soromotin A.V. 2022. Special Characteristics of the Boundary Atmosphere in the City of Nadym According to Experimental Measurements and Eddy-Resolving Modeling. *Lomonosov Geography Journal*, 6: 64–78 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-64-78>
- Goncharov R.V., Dankin M.A., Zamiatina N.Yu., Molodtsova V.A. 2020. Cathedrals the Desert or Strongholds? the Typology of the Settlements in the Russian Arctic by Their Interconnections with the Surrounding Territory. *Urban Studies and Practices*, 5(1): 33–56 (in Russian). <https://doi.org/10.17323/usp5120209-32>
- Zamyatina N.Yu., Kotov E.A., Goncharov R.V., Burtseva A.V., Grebenets V.I., Medvedkov A.A., Molodtsova V.A., Klyueva V.P., Kul'chitskii Yu.V., Mironova B.A., Nikitin B.V., Pilyasov A.N., Polyachenko A.E., Poturaeva A.V., Streletskaia D.A., Shamalo I.A. 2022. Resilience potential of the Russian Arctic cities. *Lomonosov Geography Journal*, 5: 52–65 (in Russian).
- Klimanova O.A., Bukvareva E.N., Illarionova O.A., Kolbowsky E.Yu. 2022. Assessment of Ecosystem Services at the Municipal Level and Its Possible Integration into Spatial Planning. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 86(4): 605–620 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622040069>
- Klimanova O.A., Kolbowsky E.Yu., Illarionova O.A. 2018. The Ecological Framework of Russian Major Cities: spatial structure, territorial planning and main problems of development. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Nauki o Zemle*, 63(2): 127–146 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
- Koleva G.Yu., Stas I.N., Shorokhova I.I. 2013. *Stanovlenie industrial'no-urbanisticheskogo obshchestva na territorii Tyumenskoy oblasti* [Formation of Industrial-Urban Society in the Tyumen Region]. Tyumen, Pabl. Tyumenskiy industrialnyy universitet, 284 p.
- Kutsev G.F. 1982. *Novye goroda: Sotsiologicheskiy ocherk na materialakh Sibiri* [New Cities: Sociological Essay on the Materials of Siberia]. Moscow, Pabl. Mysl, 269 p.
- Ol G.A., Rimskaya-Korsakova T.V., Tankyan V.G. 1968. *Planirovka i zastroyka zhilykh kompleksov Kraynego Severa* [Planning and Development of Residential Complexes in the Far North]. Leningrad, Pabl. Stroyizdat, 120 p.

- Sergeeva O.S., Pirozhkov S.P. 2021. Methodology Development for Calculating the Area of Greenery in a City, Using Remote Sensing Data. *Geographical bulletin*, 2(57): 170–181 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-170-181>
- Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Pechkina Yu.A., Michugin M.S., Kuklina V.V., Soromotin A.V., Fedash A.V. 2022. Assessing the availability of green infrastructure to residents of an Arctic city (on the example of Nadym). *Arctic: Ecology and Economy*, 12(4): 475–490 (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-475-490>
- Soromotin A.V., Khoteev V.V., Sizov O.S., Piterskikh A.S. 2008. The Complex Geo-Ecological Studies of the Town Environment in the Town of Muravlenko. *Ecology of urban areas*, 2: 34–40 (in Russian).
- Stas' I.N. 2013. Industrialization of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug as a Major Factor in the Development of the Oil Workers' Towns in the Second Half of the XX Century. *Regional researches*, 2(25): 95–104 (in Russian).
- Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Tyumenskoy oblasti [Physical Geographical Zoning of Tyumen Region]. 1973. Ed. by N.A. Gvozdetskiy. Moscow, Pabl. MGU, 246 p.
- Yakovlev A.V. 1987. *Gradostroitel'stvo na Kraynem Severe* [Urban Planning in the Far North]. Leningrad, Pabl. Stroyizdat, 182 p.
- Breiman L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Campbell L.K., Svendsen E.S., Sonti N.F., Johnson M.L. 2016. A Social Assessment of Urban Parkland: Analyzing Park Use and Meaning to Inform Management and Resilience Planning. *Environmental Science & Policy*, 62: 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.014>
- Di Palma M., Rigillo M., Leone M.F. 2024. Remote Sensing Technologies for Mapping Ecosystem Services: an Analytical Approach for Urban Green Infrastructure. *Sustainability*, 16(14): 6220. <https://doi.org/10.3390/su16146220>
- Dvornikov Y.A., Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Gosse D.D. 2021. Projecting the Urbanization Effect on Soil Organic Carbon Stocks in Polar and Steppe Areas of European Russia by Remote Sensing. *Geoderma*, 399: 115039. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115039>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Jato-Espino D., Capra-Ribeiro F., Moscardo V., Bartolome del Pino L.E., Mayor-Vitoria F., Gallardo L.O., Carracedo P., Dietrich K. 2023. A Systematic Review on the Ecosystem Services Provided by Green Infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86: 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>
- Karan S.K., Borchsenius B.T., Debella-Gilo M., Rizzi J. 2025. Mapping Urban Green Structures Using Object-Based Analysis of Satellite Imagery: A Review. *Ecological Indicators*, 170: 113027. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113027>
- Korneykova M.V., Vasenev V.I., Nikitin D.A., Dolgikh A.V., Soshina A.S., Myazin V.A., Nakhaev M.R. 2022. Soil Microbial Community of Urban Green Infrastructures in a Polar City. *Urban Ecosystems*, 25(5): 1399–1415. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01233-8>
- Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. 2021. Green Spaces as an Indicator of Urban Sustainability in the Arctic Cities: Case of Nadym. *Polar Science*, 29: 100672. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100672>
- Mather P.M., Koch M. 2022. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. John Wiley & Sons, 388 p.
- Tolan J., Yang H.-I., Nosarzewski B., Couairon G., Vo H.V., Brandt J., Spore J., Majumdar S., Haziza D., Vamaraju J., Moutakanni T., Bojanowski P., Johns T., White B., Tiecke T., Couprie C. 2024. Very High Resolution Canopy Height Maps from RGB Imagery Using Self-Supervised Vision Transformer and Convolutional Decoder Trained on Aerial Lidar. *Remote Sensing of Environment*, 300: 113888. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113888>

Поступила в редакцию 18.04.2025;
поступила после рецензирования 23.05.2025;
принята к публикации 22.06.2025

Received April 18, 2025;
Revised May 23, 2025;
Accepted June 22, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Миляев Иван Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Сизов Олег Сергеевич, кандидат географических наук, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Федоров Роман Юрьевич, доктор исторических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

Скрицкая Маргарита Константиновна, инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории палеокриологии и исторической геоэкологии Института криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. Milyaev, Junior Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Oleg S. Sizov, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Roman Yu. Fedorov, Doctor of Historical Sciences, Chief Researcher, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Margarita K. Skritskaya, Research Engineer, Research Laboratory of Paleocryology and Historical Geoecology, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

УДК 631.459:528.88
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-517-532
EDN ОМЕКВН

Оценка спектрально-отражательных свойств эродированных агропочв Республики Татарстан

Буряк Ж.А., Гафуров А.М.

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18
buryakzh@gmail.com, gafurov.kfu@gmail.com

Аннотация. Водная эрозия почв – наиболее масштабная форма деградации пахотных земель в России, однако оперативная информация о ее распространении фрагментарна, устарела и труднодоступна. Настоящее исследование восполняет этот пробел, интегрируя многовременные снимки *Landsat 4/5* (30 м; 1985–1995 гг.) в среде *Google Earth Engine* для получения бесшовного медианного композита поверхности открытой почвы Республики Татарстан – одного из наиболее интенсивно возделываемых и эрозионно-опасных регионов страны. После маскирования облаков, теней и растительности ($NDVI \leq 0,2$) и применения маски пашни композит был дополнен набором почвенно-ориентированных спектральных индексов (SAVI, BITM, BIXS, BaI, NDSoII, DBSI, NSDS). Зональная статистика рассчитывалась для 63,5 тыс. га почв, очерченных по картам крупномасштабного почвенно-эроздионного обследования и для 416 точно геолокализованных участков с эродированными почвами, выявленных на снимках *Maxar*. Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) на выборке 694 000 наблюдений показал статистически значимые различия ($p \ll 0,0001$) между черноземами, темно-серыми, серыми, светло-серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами; наибольшее межгрупповое разделение обеспечили красный и ближний инфракрасный каналы и производные от них индексы SAVI и BIXS. По сравнению со средневзвешенными отражательными способностями родительских почв (включающих как ненарушенные, так и эродированные области) эродированные пятна демонстрируют систематическое увеличение отражательной способности на 11–19 %, с пиком в БИК и сохраняя при этом специфическую для почвы спектральную упорядоченность. Полученные результаты свидетельствуют о том, что надежное выделение эрозионно нарушенных пикселей возможно лишь при предваренной стратификации по генетическому типу почв; игнорирование врожденных цветовых контрастов может привести к ошибочной классификации естественно освещенных полнопрофильных почв как эродированных аналогов более гумусированных черноземов. Десятилетний композит открытой почвы является устойчивой, независимой от растительности базой, фиксирующей как пространственную, так и статистическую вариабельность пахотных почв и предоставляющей переносимые пороговые значения для автоматизированного картографирования эрозии в региональном масштабе. Интеграция данной методики в национальную систему мониторинга земель значительно повысит оперативность, детализацию и научную обоснованность планирования мероприятий по охране почв в ключевых сельскохозяйственных зонах России.

Ключевые слова: эрозия почв, пашня, дистанционное зондирование Земли, Landsat, GEE, открытая почва, спектральные индексы

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Республики Татарстан для поддержки научных исследований, проводимых молодыми учеными и молодежными научными коллективами в Республике Татарстан (контракт № 08-24/МГ от 25.12.2024 г.).

Для цитирования: Буряк Ж.А., Гафуров А.М. 2025. Оценка спектрально-отражательных свойств эродированных агропочв Республики Татарстан. Региональные геосистемы, 49(3): 517–532. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-517-532 EDN: ОМЕКВН

Spectral Properties of Eroded Arable Soils in the Republic of Tatarstan

Zhanna A. Buryak, Artur M. Gafurov

Kazan (Volga Region) Federal University

18 Kremlevskaya St, Kazan 420008, Russia

buryakzh@gmail.com, gafurov.kfu@gmail.com

Abstract. Soil water erosion is the most widespread form of cultivated land degradation in Russia, yet operational information on its extent is fragmented, outdated, and difficult to access. This study addresses that gap by integrating multitemporal Landsat 4/5 imagery (30 m; 1985–1995) within Google Earth Engine to generate a seamless median composite of bare fields for the Republic of Tatarstan, one of the country's most heavily farmed and erosion-prone regions. After cloud, shadow and vegetation masking (NDVI ≤ 0.2) and restriction to cropland masks, the composite was enriched with a suite of soil-oriented spectral indices (SAVI, BITM, BIXS, BaI, NDSoill, DBSI, NSDS) calculated via the open-source “spectral” library. Zonal statistics were extracted for 63.5 thousand ha of soils delineated from 1:10 000 erosion-survey maps and for 416 precisely geolocated sites with eroded soils identified on very-high-resolution Maxar imagery. One-factor ANOVA applied to 694 000 raster observations revealed statistically significant differences ($p \ll 0.0001$) among chernozems, dark-grey forest soils, grey forest, light-grey forest and sod-podzolic soils; the greatest intergroup separation was delivered by the red and near-infrared bands and their derivative indices SAVI and BIXS. Compared with the composite signature of their parent soils, eroded patches exhibited a systematic 11–19 % increase in reflectance, peaking in the NIR and in brightness indices, while maintaining soil-specific spectral ordering. The findings demonstrate that reliable discrimination of erosion-affected pixels is conditional on prior stratification by genetic soil type; failure to account for inherent colour contrast can misclassify naturally light-toned full-profile soils as eroded counterparts of darker chernozems. The decade-scale bare-soil composite proves a robust, vegetation-independent baseline that captures both spatial and statistical variability of arable soils and provides transferable thresholds for automated, region-wide erosion mapping. Integrating this workflow into the national land-monitoring system would greatly enhance the temporal currency, spatial detail and scientific underpinning of soil-conservation planning across Russia's key agricultural zones.

Keywords: soil erosion, arable land, remote sensing of the Earth, Landsat, GEE, bare soil, spectral indices

Acknowledgements: The study was funded from the grant of the Republic of Tatarstan to support scientific research conducted by young scientists and youth research teams in the Republic of Tatarstan (contract No. 08-24/МГ dated 12/25/2024).

For citation: Buryak Zh.A., Gafurov A.M. 2025. Spectral Properties of Eroded Arable Soils in the Republic of Tatarstan. Regional Geosystems, 49(3): 517–532 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-517-532 EDN: OMEKBN

Введение

Эрозия почв (прежде всего водная) – наиболее масштабная форма деградации почвенного покрова возделываемых угодий России, в результате которой под действием тальных и дождевых вод разрушается и истощается плодородный слой почв. Проблема эрозионной деградации охватывает все регионы страны [Государственный доклад..., 2024a]. Общая площадь агрогенно эродированных почв в России от водной эрозии составляет 281 тыс. км² и за последние 30 лет увеличилась на 3–5 % [Ivanov et al., 2020]. Их основная доля сосредоточена в европейской части России, а в земледельческих регионах (Черноземье, Поволжье и др.) эродированные почвы занимают 20–40 % площади пашни.

Определение актуальных площадей эродированных почв – важный компонент государственного экологического мониторинга земель. Выявление территорий с эродирован-

ным почвенным покровом в средних и крупных масштабах (муниципальный район, поселение, хозяйство) имеет особое значение для территориального планирования и реализации программ по долгосрочному и устойчивому сельскому хозяйству, направленных на восстановление и поддержание плодородия почв.

Информация об эродированности почв в России обобщена на карте масштаба 1:2 500 000 на основе данных Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [Единый государственный реестр ..., 2019]. Среднемасштабные картографические данные о распространении эродированных почв на региональном уровне (масштаб 1:100 000–200 000) хранятся в фондовых материалах почвенных съемок субъектов РФ (как правило, переданных от бывших Гипроземов). Однако отсутствует единая электронная система доступа к ним, а сведения (при их наличии) предоставляются ведомствами по личному запросу. Кроме того, обновление таких карт проводится редко и их актуальность утрачена 20–30 лет назад. На среднемасштабных картах за счет особенностей генерализации могут не отображаться мелкие и разрозненные контуры сильноэродированных почв. Более точные крупномасштабные почвенные карты локального уровня (обычно масштаба 1:50 000–25 000 для муниципалитета или 1:10 000 для отдельного землепользования) создаются и обновляются в рамках обязательного почвенно-эрозионного обследования агрозяйств, данные централизованно передаются в Министерство сельского хозяйства и составляют коммерческую тайну.

Проблему актуализации и открытости сведений об эродированных почвах можно решить геоинформационными методами цифрового почвенного картографирования. Большинство исследований по оценке водной эрозии в глобальном или национальном масштабах при картографировании оперируют величиной среднегодовых потенциальных почвенных потерь [Maltsev, Yermolaev, 2020; Borrelli et al., 2022; Tan et al., 2022; et al.], рассчитанных по различным эрозионным моделям [Batista et al., 2019]. В последние годы этот подход активно дополняется методами машинного обучения и использования искусственного интеллекта [Bag et al., 2022; Senanayake et al., 2022; et al.], которые помогают эффективно распознавать скрытые закономерности в данных. В региональных и локальных исследованиях оценка эродированности и составление соответствующих карт может строиться на регрессионных моделях или классификациях [Nascimento, et al., 2021; Брыжко и др., 2025], которые статистически анализируют сочетание факторов эрозии, при возможности сопоставляя предикторы с данными наземных обследований [Prudnikova, Savin, 2015; Sahour et al., 2021; Buryak et al., 2023]. Такой подход позволяет достичь достаточно высокой точности автоматизированного картографирования, но ограничен в экстраполяции методов на территории с другими почвенно-климатическими условиями.

Спутниковые снимки являются востребованным источником данных для картографирования свойств почвенного покрова. В отличие от эрозионного моделирования, данные дистанционного зондирования при корректной интерпретации отражают объективное состояние почв, а не потенциальные осредненные темпы смыва. Сплошное покрытие снимками и их регулярное обновление позволяют выполнять анализ в широком территориальном охвате, а также оценивать временную динамику состояния земель, в т. ч. их нарушенность водной эрозией. Активное использование данных дистанционного зондирования Земли для картографирования почв началось со второй половины XX в. Оно трансформировалось от визуального дешифрирования отдельных признаков по аэрофотоснимкам до комбинирования спектрально-отражательных свойств поверхностного горизонта почв, позволяющего оценить и картографировать содержание гумуса, влажность, засоленность почв, их гранулометрический и минералогический состав [Wang et al., 2023]. Следовательно, и для эродированных почв можно подобрать ряд типичных спектральных характеристик. Такие почвы хорошо поддаются первичному визуальному дешифрированию на пашне в видимом диапазоне спектра. Уменьшение мощности гумусового горизонта с вовлечением в обработку нижних, менее гумусированных слоев дает эф-

фект осветления и увеличивает альбето эродированных ареалов по сравнению с соседними ненарушенными почвами [Караванова, 2003], что позволяет вручную дешифрировать эродированные почвы по тону и цвету [Лисецкий, Марциневская, 2009; Шаповалов и др., 2023], либо подбирать диапазоны спектра для разной степени эродированности [Горбачева, 2011]. Одним из критериев определения степени эродированности почв является содержание органического вещества, которое может быть выявлено через отражательную способность для разных спектральных каналов [Castaldi et al., 2019; Родионова и др., 2022]. Также широко исследуется применимость различных диапазонов спектральных индексов для оценки эродированности [Гусев и др., 2020; Fernández et al., 2021]. Это могут быть как вегетационные индексы (*NDVI*, *WDVI*, *SWVI* и др.), которые косвенно детектируют эродированные почвы через угнетение растительного покрова, так и непосредственно почвенные индексы (*SAVI*, *BaI*, *NDSoilI* и др.).

В настоящей работе представлены результаты исследования спектрально-отражательных свойств пахотных почв Республики Татарстан, а также выполнен анализ изменчивости отражательной способности и спектральных индексов на эродированных участках для основных почв региона.

Объекты и методы исследования

Республика Татарстан (РТ) является одним из лидеров агропромышленного сектора России и стабильно входит в Топ-5 регионов страны по производству сельскохозяйственной продукции. В структуре землепользования РТ 3,25 млн га приходится на пашню, что составляет 48 % общей площади. В почвенном покрове сельскохозяйственных угодий РТ доминируют черноземы выщелоченные, типичные и оподзоленные (37,5 %) и серые лесные почвы (35,0 %) (рис. 1).



Рис. 1. Почвенный покров Республики Татарстан (составлено по: [Атлас..., 2017])
 Fig. 1. Soil cover of the Republic of Tatarstan (compiled from [Atlas..., 2017])

Почвы РТ имеют преимущественно тяжелый механический состав: глинистые и тяжелосуглинистые разновидности составляют 85,3 %. Особенностью почв РТ является естественный укороченный профиль при высоком содержании гумуса. Мощность плодородного слоя несмытых серых лесных почв составляет 28–31 см, черноземов – 40–65 см. Поверхностный смыв с короткопрофильных почв, усугубленный агрогенной нагрузкой, представляет серьезную угрозу для земледелия. РТ входит в число самых эродированных регионов страны: 42 % распахиваемых земель подвержено водной эрозии, в т. ч. сильной степени – 6,7, средней – 254, слабой – 1129 тыс. га [Государственный доклад..., 2024].

Для территории РТ по результатам первых туроров почвенного обследования СССР была составлена среднемасштабная тематическая карта эродированности (1:200 000), которая позже была интерпретирована через бассейновую структуру территории [Yermolaev, 2017]. Оценка эродированности в каждом бассейне была проведена по расчетному показателю эрозии, учитывающему долю почв разной степени эродированности (рис. 2).

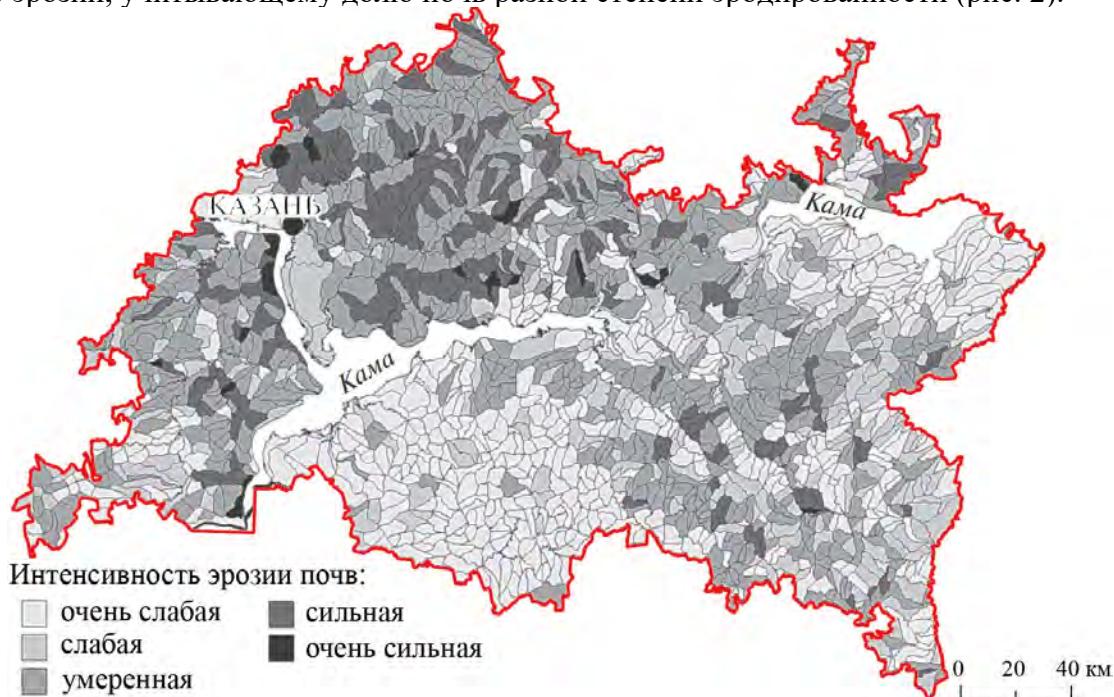


Рис. 2. Интенсивность эрозии почв Республики Татарстан в границах речных бассейнов (по [Yermolaev, 2017])

Fig. 2. Soil erosion intensity within boundaries of river basins in the Republic of Tatarstan (according to [Yermolaev, 2017])

Наименее эродированы почвы низменных аккумулятивных равнин Закамья: территория Заволжской низменности и Камско-Бельской низины. Почти все бассейны Предволжья и кластера Бугульминско-Белебеевской возвышенности Закамья характеризуются умеренной эродированностью, которая проявляется в условиях возвышенного рельефа. Самая сильная эродированность характерна для бассейнов Западного Предкамья со светло-серыми, серыми и дерново-подзолистыми почвами в условиях сильно расчлененного рельефа.

Для успешного дешифрирования эродированности почв необходимо использовать изображение открытой почвы без растительности, которая перекрывает эродированные участки. Чтобы выявить территории с открытой почвой в исследованиях часто прибегают к ограничению выборки снимков весенними месяцами, создавая маски анализа для фильтрации пикселей [Koroleva et al., 2017; Savin et al., 2021]. Но с учетом занятости части угодий всходами озимых культур, такой подход неизбежно исключает часть территорий из выборки, что не позволяет провести сплошную территориальную оценку. Для получения «непрерывной» поверхности открытой почвы применяют метод единого синтетического изображения почв [Gallo et al., 2018], где на основе мультивременных спутниковых данных получают непре-

рывный композит, в котором каждый пиксель представлен «средней» открытой почвой за период наблюдений. Данный метод был положен в основу настоящего исследования.

Подготовку растровых данных *Landsat 4/5* разрешением 30 м выполняли в среде *Google Earth Engine* с подключением специализированной библиотеки «*spectral*» для вычисления различных спектральных индексов [Montero et al., 2023]. При этом использовали почвенные спектральные индексы, которые, в отличие от вегетационных, более адаптированы для описания яркостных свойств открытой почвы [Mathieu et al., 1998].

Пространственная область интереса (ROI) задавалась геометрией прямоугольника с координатами угловых точек в проекции WGS-84: от 47,2136° до 54,4097° по долготе и от 53,9223° до 56,7092° по широте, соответствующей границам Республики Татарстан. Временной диапазон охватывал период с 1 января 1985 г. по 31 декабря 1995 г. Коллекции снимков *Landsat 4* (*LT04/C02/T1_L2*) и *Landsat 5* (*LT05/C02/T1_L2*) отфильтровывались по области интереса и по датам и объединялись в единую коллекцию для получения максимального временного покрытия. Для создания маски распахиваемых угодий была использована полученная ранее [Иванов, Гафуров, 2025] модель основных типов землепользования (водные объекты, леса и кустарники, пастбища (луга), пашни, населенные пункты и антропогенные объекты, малоэтажная застройка) на соответствующий десятилетний период.

Предварительную обработку каждой сцены осуществляли в несколько этапов. На первом этапе корректировали цифровые значения отражательной способности оптических каналов (*SR_B1*...*SR_B5*, *SR_B7*). Далее на основе полосы *QA_PIXEL* маскировались облака и тени: сохранялись только пиксели, где установлены биты 6 (*Clear*, чистые) или 7 (*Water*, вода). Далее к данным применялась функция, которая отфильтровывала участки с высоким вегетационным покровом по значению индекса *NDVI*, допуская только пиксели с $NDVI \leq 0,2$, соответствующие чистой почве без растительности [Montandon, Small, 2008]. После этого из растра землепользования оставляли пиксели класса «пашня» путем наложения маски на классификационный слой.

На следующем этапе проводился расчет и добавление почвенных индексов в набор данных спектральных отражений, где на вход подавались спектральные каналы, а с помощью модуля «*spectral*» вычислялся набор почвенных индексов (табл. 1).

Таблица 1
 Table 1

Состав спектральных каналов и оптических индексов
 многоканального композита открытой почвы
 Composition of spectral bands and indices of a multiband open soil composite

Канал / Индекс	Расшифровка	Длина волны, нм / Формула расчета
<i>B</i>	синий	0,45–0,52
<i>G</i>	зеленый	0,52–0,60
<i>R</i>	красный	0,63–0,69
<i>N</i>	ближний инфракрасный	0,77–0,90
<i>S1</i>	коротковолновый инфракрасный 1	1,55–1,75
<i>S2</i>	коротковолновый инфракрасный 2	2,08–2,35
MBI	<i>Modified Bare Soil Index</i>	$((S1 - S2 - N) / (S1 + S2 + N)) + 0,5$
SAVI	<i>Landsat Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$(N - R) / (N + R + L) \times (1 + L)^*$
BITM	<i>Landsat TM-based Brightness Index</i>	$((B^2 + G^2 + R^2) / 3)^{0,5}$
BIXS	<i>SPOT HRV XS-based Brightness Index</i>	$((G^2 + R^2) / 2)^{0,5}$
BaI	<i>Barenness Index</i>	$R + S1 + N$
DBSI	<i>Dry Barenness Index</i>	$((S1 - G) / (S1 + G)) - ((N - R) / (N + R))$
NDSoilII	<i>Normalized Difference Soil Index</i>	$(S2 - G) / (S2 + G)$
NSDS	<i>Normalized Shortwave Infrared Difference Soil-Moisture</i>	$(S1 - S2) / (S1 + S2)$
RI4XS	<i>SPOT HRV XS-based Redness Index 4</i>	R^2 / G^4

Примечание: При отсутствии зеленой растительности $L = 1$

После поэтапного масштабирования, маскирования и расчета индексов коллекции для *Landsat 4* и *Landsat 5* объединяли в один набор, а итоговый набор полос (все оптические полосы, а также рассчитанные почвенные индексы) агрегировали по медиане в пределах области интереса. Таким образом, удалось сгенерировать непрерывное многоканальное изображение открытой почвы для всей территории РТ, отражающее состояние почвенного покрова за 10 лет.

Анализ спектральных характеристик почв проводили с учетом их разделения по типам и в некоторых случаях подтипа почв, доминирующих на распахиваемых угодьях РТ. В качестве основы использовали векторные почвенные карты из материалов корректировок почвенно-эрзационного обследования 2000-х гг. масштаба 1:10 000. Всего в выборку входило 63,5 тыс. га почв из 18 репрезентативных агрохозяйств, находящихся в различных почвенно-климатических районах РТ [Аввакумова, 2020]. Контуры представлены черноземами (с объединением всех подтипов выщелоченных, типичных и оподзоленных) – 21,1 тыс. га, серыми лесными почвами (с разделением на подтипы) – 35,5 тыс. га и дерново-подзолистыми почвами – 6,9 тыс. га. Из исходных контуров были сформированы общие почвенные группы, объединяя все степени смытости, таким образом создавая некий средний «образ» каждой почвы, отражающий средневзвешенную эродированность. Для полученных контуров в *QGIS* 3.40.6 была рассчитана зональная статистика для каждого канала и почвенного индекса.

По каждому спектральному параметру был проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) на предмет способности разделения почв по типам/подтипа. Для этого был разработан специальный расчетный модуль для *QGIS*. Для оценки степени разделимости групп использовали *F*-критерий Фишера. Суммарное число наблюдений (соответствует пикселям раstra) по всем группам составило 694 тыс.

Отдельной задачей стояло формирование выборки эродированных почв, поскольку вышеописанных материалов почвенного обследования было недостаточно – эродированные контуры встречаются реже, чем неэродированные. Ориентируясь на снимки сверхвысокого разрешения (*Maxar*, *DigitalGlobe*), на контурах с визуальными признаками эродированности вручную расставляли точки. При этом для поиска изображения открытой почвы без растительности зачастую требовалось перебирать разные источники, в то время как на полученном нами композите такие ареалы отображались всегда (рис. 3).



Рис. 3. Отображение серых лесных эродированных почв на различных продуктах дистанционного зондирования Земли (55,303092° с.ш., 52,454856° в.д.)

Fig. 3. Representation of grey forest eroded soils on different remote sensing products (55.303092°N, 52.454856°E)

Точки расставляли по регулярной сетке шагом 10 км, ориентируясь на маску полей 1985–1995 гг. (чтобы исключить почвы на кормовых угодьях того времени) и на контуры почв на почвенной карте 1:200 000 (чтобы внести в базу данных признак типа или подтипа почвы). Для каждой почвы в зоне ее распространения ставили минимум одну точку на

ячейку сетки, в местах наличия крупномасштабных почвенных карт плотность увеличивали. Стоит отдельно отметить, что точки детектируют признак наличия эродированности, но без характеристики ее степени, как на почвенных картах (слабо-, средне- и сильносмытые). Разделение степеней эродированности требует отдельного исследования с обязательной верификацией по результатам полевой диагностики. Всего была создана равномерно распределенная по территории РТ выборка из 416 точек: черноземы – 101 точка, светло-серые лесные – 94, серые лесные – 93 точки, темно-серые лесные – 84 точки, дерново-подзолистые – 44 точки. Для каждой точки была построена полигональная буферная зона 30 метров, чтобы при зональной статистике захватить соседние пиксели и исключить возможные «выбросы».

Результаты и их обсуждение

Спектрально-отражательные свойства типов и подтипов почв

Полученный среднемноголетний композит открытой почвы раскрывает особенности и разнообразие спектральных свойств почвенного покрова Татарстана (рис. 4).

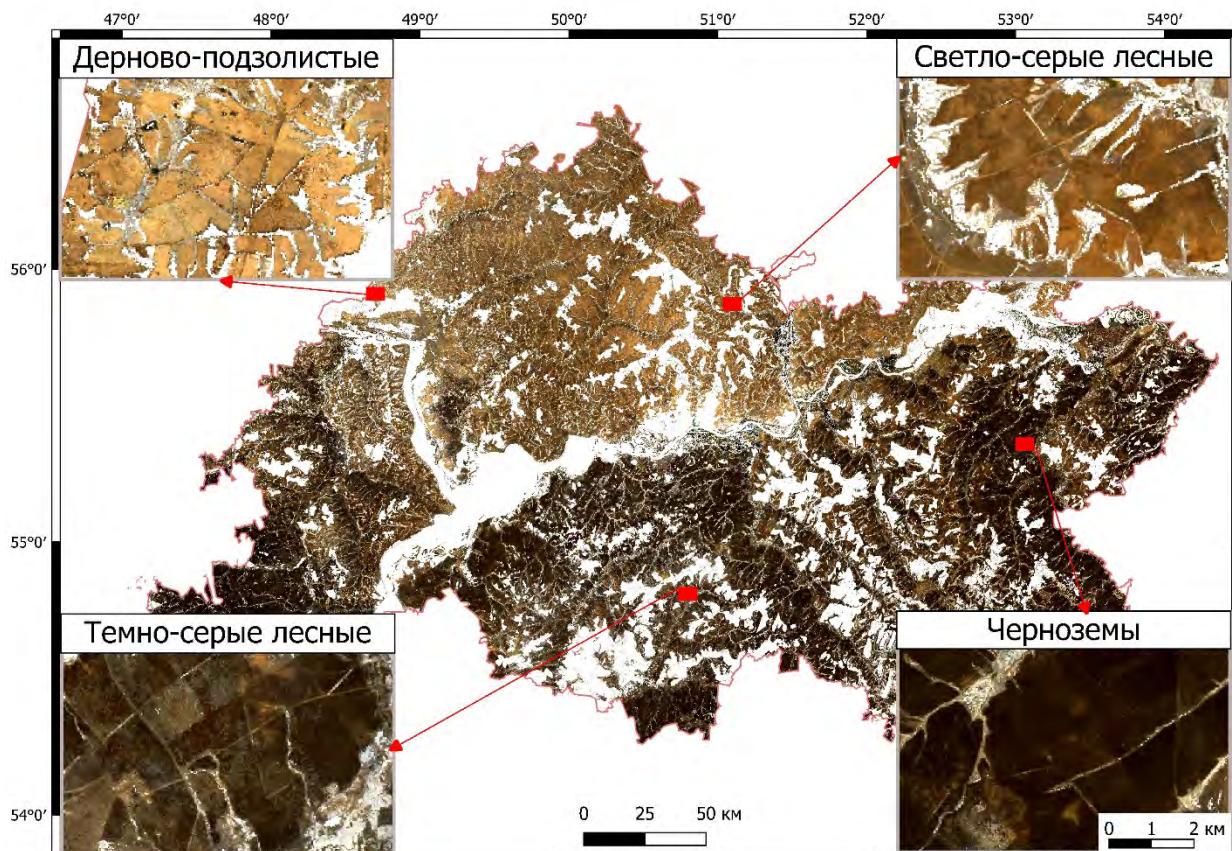


Рис. 4. Композит открытой почвы Республики Татарстан (1985–1995 гг.)
 в комбинации естественных цветов

Fig. 4. Satellite imagery composite of the open soil in the Republic of Tatarstan (1985–1995)
 in combination of natural colours

В комбинации естественных цветов читается разница в спектрально-отражательных особенностях различных почв. Разницу в тоне обеспечивает прежде всего гумусированность почв: чем больше содержание в почве органического вещества – тем она темнее. Также на оптические свойства оказывают влияние влажность, карбонатность, минеральный состав, а также наличие пожнивных остатков и др. Статистика спектрально-отражательных свойств пахотных почв приведена в табл. 2.

Таблица 2
 Table 2

Спектрально-отражательные характеристики типов и подтипов
 пахотных почв Республики Татарстан
 Spectral-reflectance properties of arable soil types and subtypes in the Republic of Tatarstan

Статистика	Оптические каналы и спектральные индексы														
	B	G	R	N	S1	S2	MBI	SAV _I	BITM	BIXS	BaI	DBSI	NDSoil _I	NSD _S	RI4XS
Черноземы лесостепи															
Среднее	0,06	0,07	0,08	0,10	0,19	0,17	0,19	0,06	0,07	0,07	0,16	0,29	0,37	0,07	263,9
Станд. откл.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,03	96,0
Медиана	0,06	0,07	0,07	0,10	0,18	0,17	0,20	0,06	0,07	0,07	0,16	0,30	0,39	0,09	262,5
Темно-серые лесные															
Среднее	0,08	0,09	0,09	0,13	0,21	0,18	0,17	0,09	0,09	0,09	0,18	0,26	0,33	0,10	178,9
Станд. откл.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,10	0,03	68,9
Медиана	0,07	0,08	0,09	0,12	0,21	0,18	0,19	0,09	0,08	0,09	0,18	0,27	0,34	0,12	169,6
Серые лесные															
Среднее	0,08	0,09	0,11	0,15	0,21	0,18	0,15	0,08	0,09	0,10	0,17	0,23	0,30	0,10	163,2
Станд. откл.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,09	0,03	52,8
Медиана	0,07	0,09	0,10	0,15	0,21	0,17	0,16	0,08	0,09	0,10	0,17	0,24	0,32	0,13	158,5
Светло-серые лесные															
Среднее	0,08	0,10	0,12	0,17	0,23	0,20	0,14	0,07	0,10	0,11	0,19	0,23	0,31	0,10	145,8
Станд. откл.	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,03	42,2
Медиана	0,08	0,10	0,12	0,16	0,23	0,19	0,14	0,07	0,10	0,11	0,18	0,23	0,32	0,12	140,1
Дерново-подзолистые															
Среднее	0,08	0,11	0,14	0,19	0,26	0,23	0,12	0,10	0,11	0,13	0,18	0,22	0,32	0,08	122,2
Станд. откл.	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,03	35,3
Медиана	0,08	0,11	0,13	0,19	0,27	0,24	0,13	0,10	0,11	0,12	0,18	0,23	0,34	0,11	117,8
ANOVA															
F-критерий $\times 10^{-3}$	22,5	81,5	128,1	165,0	57,2	27,3	21,6	119,0	78,4	108,6	28,3	30,0	11,9	22,7	82,3
p-статистика	<<0,0001														

Примечание: Зеленым цветом выделены наибольшие значения F-критерия.

Практически по всем индексам почвы формируют ранжированный ряд: черноземы > темно-серые лесные > серые лесные > светло-серые лесные > дерново-подзолистые. Лучше всего показывают различия между почвами в приведенной выше

последовательности зеленый (*G*), красный (*R*) и ближний инфракрасный (*N*) каналы и основанные на них индексы (SAVI, BITM, BIXS, DBSI, RI4XS). Коротковолновые инфракрасные (*S1*, *S2*) каналы не показательны, их использование дает некорректное разделение почв, где дерново-подзолистые почвы ближе к черноземам, чем к серым лесным (NSDS, NDSoil). Также некоторые индексы выстраивают корректную общую последовательность по средним значениям, но из-за высокой внутригрупповой дисперсии слабо разделяют группы (MBI, DBSI, BaI, RI4XS), особенно группы «дерново-подзолистые – светло-серые – серые лесные почвы».

Дисперсионный анализ показал статистически значимое ($p << 0,0001$) разделение на группы для всех каналов и индексов. Косвенно судить о качестве разбиения можно по *F*-критерию: чем оно больше, тем меньше внутригрупповая дисперсия и выше обособленность групп. Так наилучшее разделение почв обеспечивает ближний инфракрасный (*N*) и красный (*R*) каналы и основанный на них индекс яркости SAVI, а также BIXS, рассчитанный по комбинации каналов видимого спектра *RG*.

Спектрально-отражательные свойства эродированных почв

Для точек эродированных почв также выполнили анализ изменчивости значений спектральных индексов, которые лучше всего разделяют группы почв (рис. 5). Результаты дисперсионного анализа показывают статистически значимые отличия по группам эродированных почв для каждого спектрального параметра. Мы можем заключить, что спектрально-отражательные свойства эродированных участков на разных типах и подтипах почв достоверно отличаются. Причем для типа серых лесных почв разделение внутри подтипов лучше выражается именно для эродированных почв, чем для осредненного почвенного образа.

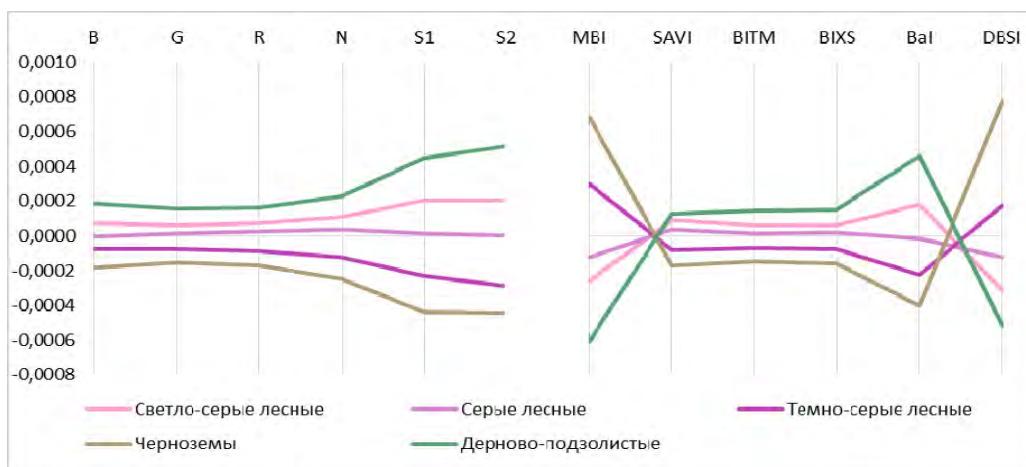


Рис. 5. Кривые отражательной способности и спектральных индексов эродированных почв (по оси Y даны нормированные значения)

Fig. 5. Reflectance curves and spectral indices of eroded soils (the Y axis shows normalised values)

Форма спектральных кривых для эродированных почв разных типов отличается. Для светлоокрашенных дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв с ростом длины волны их отражательная способность увеличивается, а для темно-серых лесных и черноземов, наоборот, снижается. Наиболее достоверно (по наибольшему значению *F*-критерия) группы эродированных почв разделяются в зеленом (*G*), красном (*R*) и ближнем инфракрасном (*N*) каналах и с использованием спектральных индексов BITM и BIXS.

Далее исследовали, насколько спектральные свойства эродированных почв каждой группы отличаются от осредненных для каждого типа или подтипа почв. В качестве критериев выбирали определенные выше наиболее информативные каналы и индексы – *G*, *R*, *N*, SAVI, BITM, BIXS, BaI (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Изменчивость спектральных характеристик почв относительно их эродированных участков
(в % от исходного значения для обобщенного образа почвы)

Variability of spectral characteristics of soils in relation to their eroded areas
(% of the initial value for the generalised soil sample)

Почва	<i>G</i>	<i>R</i>	<i>N</i>	SAVI	BITM	BIXS	BaI	Среднее по почвам
Черноземы лесостепи	-14,3	-19,3	-22,3	-16,5	-14,9	-17,1	-11,2	-16,5
Темно-серые лесные	-6,0	-14,4	-17,5	-15,0	-6,9	-10,9	-6,5	-11,0
Серые лесные	-13,4	-22,3	-23,9	-16,9	-15,0	-18,5	-18,3	-18,3
Светло-серые лесные	-11,9	-16,8	-17,6	-12,3	-12,9	-14,8	-17,3	-14,8
Дерново-подзолистые	-12,4	-14,9	-14,4	-9,5	-12,7	-13,9	-31,7	-15,6
<i>Среднее по показателям</i>	-11,6	-17,5	-19,1	-14,0	-12,5	-15,0	-17,0	

Внутри каждой почвенной группы достоверно выделяются эродированные почвы, что обусловлено их более высокой отражательной способностью. Ее превышение относительно средних значений показателей по всем почвам колеблется от 11,0 до 18,3 %. Среди всех почв по большинству показателей хуже всего выделяются эродированные темно-серые лесные почвы (пример на рис. 6). Использование ближнего инфракрасного канала (*N*) дает лучшую дифференциацию между эродированной почвой и осредненным образом – в среднем отражательная способность эродированных почв на 19,1 % выше и дает лучшие результаты почти для всех почв, за исключением дерново-подзолистых. Для последних при выделении эродированных участков оптимально использовать индекс BaI.

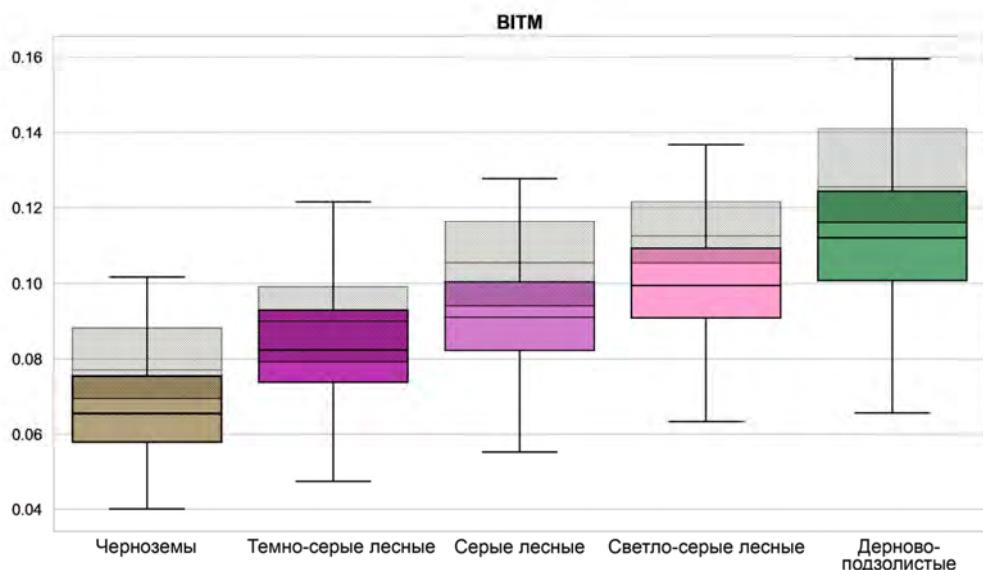


Рис. 6. Размах варьирования значений почвенного индекса BITM по группам почв: цветом – в целом по почвенному образу; штриховкой – 25–75 %-й процентиль для эродированных почв
Fig. 6. Variation range of BITM soil index values by soil groups: colour – in general for the soil sample; shading – 25-75 % percentile for eroded soils

На рис. 6 приведен пример сопоставления значений спектрального индекса BITM для почвенного образа и для эродированных участков. Массивы наблюдений эродированных почв смещены вверх по оси значений, что для данного индекса говорит о более высо-

кой отражательной способности. Ожидаемо, что межквартильные размахи (коробки) эродированных почв накладываются на средневзвешенные значения, поскольку они изначально включали обобщенные данные, в т. ч. об эродированных почвах. При этом не менее 75 % наблюдений эродированных почв попадают в доверительный интервал средневзвешенного по группам почв индекса B1TM. Разграниченный анализ по группам почв является обязательным при оценке эродированности по спутниковым данным, поскольку позволяет устраниć межгрупповые пересечения. Так, например, полнопрофильные серые лесные почвы по спектральным признакам могут соответствовать эродированным черноземам.

Заключение

Использование современных методов обработки больших данных многоканальных спутниковых снимков открывает широкие возможности для сплошного почвенного картографирования, в том числе в средне- и крупномасштабном уровнях. Для территории Республики Татарстан впервые были исследованы спектрально-отражательные свойства основных обрабатываемых почв, в том числе эродированных участков. Впервые был синтезирован среднемноголетний многоканальный композит открытой почвы, что позволило исключить влияние растительности и оценить отражательную способность пахотных почв, а также рассчитать почвенные спектральные индексы в непрерывном территориальном охвате.

Установлено, что почвы различных типов и подтипов обладают статистически значимыми различиями по своим спектральным свойствам, а использование наиболее информативных критериев позволяет с высокой степенью достоверности их разделить на уровне генетических типов (черноземы, серые лесные, дерново-подзолистые). При выделении эродированных участков лучшие результаты показывает индекс *BaI* для дерново-подзолистых почв и ближний инфракрасный канал для остальных типов почв.

При региональном картографировании эродированности почв по спутниковым данным обязательным условием является предварительное разбиение территории на типы и подтипы почв для установки спектральных порогов эродированности. Если проигнорировать это правило при автоматизированном картографировании, то неизбежно возникнут ошибки, когда полнопрофильные почвы светлого тона будут идентифицированы как эродированные.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об обнадеживающей перспективе использования материалов актуальной спутниковой съемки для автоматизированного картографирования эродированных пахотных почв, что расширит научную и технологическую составляющую государственного экологического мониторинга земель.

Список источников

- Атлас Республики Татарстан. 2017. Отв. ред. И.Ю. Каменская. М., ПКО «Картография», 215 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». 2024а. М. Электронный ресурс. URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 04.05.2025).
- Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году». 2024б. Казань. Электронный ресурс. URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm> (дата обращения: 04.05.2025).
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. 2019. Москва. Электронный ресурс. URL: <https://egrpr.esoil.ru/index.htm> (дата обращения: 04.05.2025).
- Караванова Е.И. 2003. Оптические свойства почв и их природа. М., Изд-во МГУ, 151 с.

Список литературы

- Аввакумова А.О. 2020. Математическое моделирование факторов эрозии почв на пахотных землях (на примере территории Республики Татарстан). Региональные геосистемы, 44(1): 5–15. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-5-15>

- Брыжко И.В., Столбов И.А., Брыжко В.Г. 2025. Картографирование эрозионно опасных земель Пермского края. Региональные геосистемы, 49(1): 40–52. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-40-52>
- Горбачева Е.Н. 2011. Автоматизированное дешифрирование почв, подверженных водно-эрзационным процессам. Почвоведение и агрохимия, 1(46): 46–54.
- Гусев А.П., Козюлев И.И., Шаврин И.А. 2020. Использование спектральных индексов для оценки эродированности почв в природно-антропогенных ландшафтах Беларуси. Российский журнал прикладной экологии, 2(22): 48–52.
- Иванов М.А., Гафуров А.М. 2025. Анализ изменений землепользования в Среднем Поволжье по данным Landsat для оценки потенциала возврата заброшенных пахотных земель в сельскохозяйственный оборот. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 22(2): 186–201. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-2-186-201>
- Лисецкий Ф.Н., Марциновская Л.В. 2009. Оценка развития линейной эрозии и эродированности почв по результатам аэрофотосъемки. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 10(58): 39–43.
- Родионова Н.В., Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. 2022. Оценка некоторых параметров верхнего слоя почвы по радарным и оптическим данным спутников Sentinel 1/2 на примере Новосибирской области. Исследования Земли из космоса, 1: 68–79. <https://doi.org/10.31857/S0205961422010067>
- Шаповалов Д.А., Ведешин Л.А., Евстратова Л.Г., Антошкин А.А. 2023. Методы использования мультиспектральных снимков при экологическом мониторинге мелиорированных земель. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(4): 187–201. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-187-201>
- Bag R., Mondal I., Dehbozorgi M., Bank S.P., Das D.N., Bandyopadhyay J., Pham Q.B., Al-Quraishi A.M.F., Nguyen X.C. 2022. Modelling and Mapping of Soil Erosion Susceptibility Using Machine Learning in a Tropical Hot Sub-Humid Environment. Journal of Cleaner Production, 364: 132428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132428>
- Batista P.V., Davies J., Silva M.L., Quinton J.N. 2019. On the Evaluation of Soil Erosion Models: Are We Doing Enough? Earth-Science Reviews, 197: 102898. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- Borrelli P., Ballabio C., Yang J.E., Robinson D.A., Panagos P. 2022. GloSEM: High-Resolution Global Estimates of Present and Future Soil Displacement in Croplands by Water Erosion. Scientific Data, 9: 406. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01489-x>
- Buryak Zh.A., Ukrainsky P.A., Gusarov A.V., Lukin S.V., Beylich A.A. 2023. Geomorphic Factors Influencing the Spatial Distribution of Eroded Chernozems in Automated Digital Soil Erosion Mapping. Geomorphology, 439: 108863. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108863>
- Castaldi F., Chabrillat S., Don A., Van Wesemael B. 2019. Soil Organic Carbon Mapping Using LUCAS Topsoil Database and Sentinel-2 Data: An Approach to Reduce Soil Moisture and Crop Residue Effects. Remote Sensing, 11(18): 2121. <https://doi.org/10.3390/rs11182121>
- Fernández C., Fernández-Alonso J.M., Vega J.A., Fontúbel T., Llorens R., Sobrino J.A. 2021. Exploring the Use of Spectral Indices to Assess Alterations in Soil Properties in Pine Stands Affected by Crown Fire in Spain. Fire Ecology, 17(1): 2. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-00089-7>
- Gallo B.C., Dematté J.A.M., Rizzo R., Safanelli J.L., Mendes W.D.S., Lepsch I.F., Sato M.V., Romero D.J., Lacerda M.P.C. 2018. Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology. Remote Sensing, 10(10): 1571. <https://doi.org/10.3390/rs10101571>
- Ivanov A.L., Savin I.Y., Stolbovoy V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Kashtanov A.N. 2020. Map of Anthropogenic Soil Erosion of Russia. Doklady Earth Sciences, 493: 654–657. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20080097>
- Koroleva P.V., Rukhovich D.I., Rukhovich A.D., Rukhovich D.D., Kulyanitsa A.L., Trubnikov A.V., Kalinina N.V., Simakova M.S. 2017. Location of Bare Soil Surface and Soil Line on the RED–NIR Spectral Plane. Eurasian Soil Science, 50: 1375–1385. <https://doi.org/10.1134/S1064229317100040>
- Maltsev K.A., Yermolaev O.P. 2020. Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Small River Basins in Russia. Catena, 195: 104726. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104726>
- Mathieu R., Pouget M., Cervelle B., Escadafal R. 1998. Relationships between Satellite-Based Radiometric Indices Simulated Using Laboratory Reflectance Data and Typic Soil Color of an Arid Environment. Remote Sensing of Environment, 66(1): 17–28. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00030-3)

- Montandon L.M., Small E.E. 2008. The Impact of Soil Reflectance on the Quantification of the Green Vegetation Fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 112(4): 1835–1845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.007>
- Montero D., Aybar C., Mahecha M.D., Martinuzzi F., Söchting M., Wieneke S. 2023. A Standardized Catalogue of Spectral Indices to Advance the Use of Remote Sensing in Earth System Research. *Scientific Data*, 10(1): 197. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02096-0>
- Nascimento C.M., De Sousa Mendes W., Quiñonez Silvero N.E., Poppiel R.R., Sayão V.M., Dotto A.C., Valadares Dos Santos N., Accorsi Amorim M.T., Demattê J.A.M. 2021. Soil Degradation Index Developed by Multitemporal Remote Sensing Images, Climate Variables, Terrain and Soil Attributes. *Journal of Environmental Management*, 277: 111316. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111316>
- Prudnikova E.Y., Savin I.Y. 2015. Satellite Assessment of Dehumification of Arable Soils in Saratov Region. *Eurasian Soil Science*, 48(5): 533–539. <https://doi.org/10.1134/S1064229315050075>
- Sahour H., Gholami V., Vazifedan M., Saeedi S. 2021. Machine Learning Applications for Water-Induced Soil Erosion Modeling and Mapping. *Soil and Tillage Research*, 211: 105032. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105032>
- Savin I., Prudnikova E., Chendev Y., Bek A., Kucher D., Dokukin P. 2021. Detection of Changes in Arable Chernozemic Soil Health Based on Landsat TM Archive Data. *Remote Sensing*, 13(12): 2411. <https://doi.org/10.3390/rs13122411>
- Senanayake S., Pradhan B., Alamri A., Park H.J. 2022. A New Application of Deep Neural Network (LSTM) and RUSLE Models in Soil Erosion Prediction. *Science of the Total Environment*, 845: 157220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157220>
- Tan Z., Leung L.R., Li H.Y., Cohen S. 2022. Representing Global Soil Erosion and Sediment Flux in Earth System Models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14(1): e2021MS002756. <https://doi.org/10.1029/2021MS002756>
- Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang X. 2023. Remote Sensing of Soil Degradation: Progress and Perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3): 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>
- Yermolaev O.P. 2017. Geoinformation Mapping of Soil Erosion in the Middle Volga Region. *Eurasian Soil Science*, 50: 118–131. <https://doi.org/10.1134/S1064229317010070>

References

- Avvakumova A.O. 2020. Mathematical Modeling of Soil Erosion Factors on Agricultural Lands (on the Territory of the Republic of Tatarstan). *Regional Geosystems*, 44(1): 5–15 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-5-15>
- Bryzhko I.V., Stolbov I.A., Bryzhko V.G. 2025. Mapping of Erosion Hazard Lands of the Perm Region. *Regional Geosystems*, 49(1): 40–52 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-40-52>
- Gorbachova E.N. 2011. Technology of Automated Interpretation of Eroded Soils. *Soil Science and Agrochemistry*, 1(46): 46–54 (in Russian).
- Gusev A.P., Kozulev I.I., Shavrin I.A. 2020. The Use of Spectral Indices for Assessing Soil Erosion in Natural and Anthropogenic Landscapes of Belarus. *Russian Journal of Applied Ecology*, 2(22): 48–52 (in Russian).
- Ivanov M.A., Gafurov A.M. 2025. Analysis of Land Use Changes in the Middle Volga Region Based on Landsat Data to Assess the Potential of Returning Abandoned Cropland into Use. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 22(2): 186–201 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-2-186-201>
- Lisetskii F.N., Marcinevskaya L.V. 2009. Assessment of Development of Linear Erosion and Soil Erosion as a Result of Aerial Photo Shooting. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 10(58): 39–43 (in Russian).
- Rodionova N.V., Kudryashova S.Ya., Chumabaev A.S. 2022. Estimation of Some Parameters of the Upper Soil Layer by Radar and Optical Data of Sentinel 1/2 Satellites in Conditions of the Novosibirsk Region. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, 1: 68–79 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961422010067>
- Shapovalov D.A., Vedeshin L.A., Evstratova L.G., Antoshkin A.A. 2023. Methods of Using Multispectral Images in Ecological Monitoring of Reclaimed Lands. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 20(4): 187–201 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-187-201>

- Bag R., Mondal I., Dehbozorgi M., Bank S.P., Das D.N., Bandyopadhyay J., Pham Q.B., Al-Quraishi A.M.F., Nguyen X.C. 2022. Modelling and Mapping of Soil Erosion Susceptibility Using Machine Learning in a Tropical Hot Sub-Humid Environment. *Journal of Cleaner Production*, 364: 132428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132428>
- Batista P.V., Davies J., Silva M.L., Quinton J.N. 2019. On the Evaluation of Soil Erosion Models: Are We Doing Enough? *Earth-Science Reviews*, 197: 102898. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- Borrelli P., Ballabio C., Yang J.E., Robinson D.A., Panagos P. 2022. GloSEM: High-Resolution Global Estimates of Present and Future Soil Displacement in Croplands by Water Erosion. *Scientific Data*, 9: 406. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01489-x>
- Buryak Zh.A., Ukrainsky P.A., Gusarov A.V., Lukin S.V., Beylich A.A. 2023. Geomorphic Factors Influencing the Spatial Distribution of Eroded Chernozems in Automated Digital Soil Erosion Mapping. *Geomorphology*, 439: 108863. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108863>
- Castaldi F., Chabrillat S., Don A., Van Wesemael B. 2019. Soil Organic Carbon Mapping Using LUCAS Topsoil Database and Sentinel-2 Data: An Approach to Reduce Soil Moisture and Crop Residue Effects. *Remote Sensing*, 11(18): 2121. <https://doi.org/10.3390/rs11182121>
- Fernández C., Fernández-Alonso J.M., Vega J.A., Fontúbel T., Llorens R., Sobrino J.A. 2021. Exploring the Use of Spectral Indices to Assess Alterations in Soil Properties in Pine Stands Affected by Crown Fire in Spain. *Fire Ecology*, 17(1): 2. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-00089-7>
- Gallo B.C., Dematté J.A.M., Rizzo R., Safanelli J.L., Mendes W.D.S., Lepsch I.F., Sato M.V., Romero D.J., Lacerda M.P.C. 2018. Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology. *Remote Sensing*, 10(10): 1571. <https://doi.org/10.3390/rs10101571>
- Ivanov A.L., Savin I.Y., Stolbovoy V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Kashtanov A.N. 2020. Map of Anthropogenic Soil Erosion of Russia. *Doklady Earth Sciences*, 493: 654–657. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20080097>
- Koroleva P.V., Rukhovich D.I., Rukhovich A.D., Rukhovich D.D., Kulyanitsa A.L., Trubnikov A.V., Kalinina N.V., Simakova M.S. 2017. Location of Bare Soil Surface and Soil Line on the RED–NIR Spectral Plane. *Eurasian Soil Science*, 50: 1375–1385. <https://doi.org/10.1134/S1064229317100040>
- Maltsev K.A., Yermolaev O.P. 2020. Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Small River Basins in Russia. *Catena*, 195: 104726. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104726>
- Mathieu R., Pouget M., Cervelle B., Escadafal R. 1998. Relationships between Satellite-Based Radiometric Indices Simulated Using Laboratory Reflectance Data and Typic Soil Color of an Arid Environment. *Remote Sensing of Environment*, 66(1): 17–28. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00030-3)
- Montandon L.M., Small E.E. 2008. The Impact of Soil Reflectance on the Quantification of the Green Vegetation Fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 112(4): 1835–1845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.007>
- Montero D., Aybar C., Mahecha M.D., Martinuzzi F., Söchting M., Wieneke S. 2023. A Standardized Catalogue of Spectral Indices to Advance the Use of Remote Sensing in Earth System Research. *Scientific Data*, 10(1): 197. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02096-0>
- Nascimento C.M., De Sousa Mendes W., Quiñonez Silvero N.E., Poppiel R.R., Sayão V.M., Dotto A.C., Valadares Dos Santos N., Accorsi Amorim M.T., Dematté J.A.M. 2021. Soil Degradation Index Developed by Multitemporal Remote Sensing Images, Climate Variables, Terrain and Soil Attributes. *Journal of Environmental Management*, 277: 111316. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111316>
- Prudnikova E.Y., Savin I.Y. 2015. Satellite Assessment of Dehumification of Arable Soils in Saratov Region. *Eurasian Soil Science*, 48(5): 533–539. <https://doi.org/10.1134/S1064229315050075>
- Sahour H., Gholami V., Vazifedan M., Saeedi S. 2021. Machine Learning Applications for Water-Induced Soil Erosion Modeling and Mapping. *Soil and Tillage Research*, 211: 105032. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105032>
- Savin I., Prudnikova E., Chendev Y., Bek A., Kucher D., Dokukin P. 2021. Detection of Changes in Arable Chernozemic Soil Health Based on Landsat TM Archive Data. *Remote Sensing*, 13(12): 2411. <https://doi.org/10.3390/rs13122411>
- Senanayake S., Pradhan B., Alamri A., Park H.J. 2022. A New Application of Deep Neural Network (LSTM) and RUSLE Models in Soil Erosion Prediction. *Science of the Total Environment*, 845: 157220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157220>

- Tan Z., Leung L.R., Li H.Y., Cohen S. 2022. Representing Global Soil Erosion and Sediment Flux in Earth System Models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14(1): e2021MS002756. <https://doi.org/10.1029/2021MS002756>
- Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang X. 2023. Remote Sensing of Soil Degradation: Progress and Perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3): 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>
- Yermolaev O.P. 2017. Geoinformation Mapping of Soil Erosion in the Middle Volga Region. *Eurasian Soil Science*, 50: 118–131. <https://doi.org/10.1134/S1064229317010070>

*Поступила в редакцию 05.04.2025;
поступила после рецензирования 21.05.2025;
принята к публикации 28.05.2025*

*Received April 05, 2025;
Revised May 21, 2025;
Accepted May 28, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буряк Жанна Аркадьевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ «Баланс С», Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Гафуров Артур Маратович, кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhanna A. Buryak, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Research Laboratory “Balance C”, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Artur M. Gafurov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Ecology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

УДК 504.453 (470.325)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-533-547
EDN PRDWRL

Распределение густоты речной сети Белгородской области вдоль географических градиентов

Украинский П.А., Нарожняя А.Г.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
pa.ukrainski@gmail.com, narozhnyaya_a@bsuedu.ru

Аннотация. Цель исследования – дать количественное описание наиболее общим закономерностям географии речной сети Белгородской области. Анализировался векторный слой рек, созданный на основе карт масштаба 1:100000. Изучено распределение густоты речной сети вдоль пяти географических градиентов (градиент высот и четыре горизонтальных градиента – северный, восточный, юго-восточный и северо-восточный). Белгородская область была разделена на полосы вдоль градиентов с шагом 5 км (5 м для градиента высот), в которых подсчитана густота речной сети. Полученные ряды данных проанализированы на наличие тренда, точек переломов и циклов. Обнаружено, что густота речной сети уменьшается с увеличением высоты местности и при движении по восточному, юго-восточному и юго-западному градиентам. Для северного градиента тренд не обнаружен. Точки перелома наблюдаются на высотном (95 и 140 м), восточном (70 и 180 км), юго-восточном (70 км) и северо-восточном градиентах (120 и 200 км). Направление тренда после точек перелома всегда сохраняется. Статистически значимые циклы наблюдаются на высотном (размер цикла 15 м), северном (50 км) и северо-восточном градиентах (65 км).

Ключевые слова: речная сеть, Белгородская область, географический градиент, пространственный тренд, точки перелома временного ряда, вейвлет-анализ

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания FZWG-2025-0006.

Для цитирования: Украинский П.А., Нарожняя А.Г. 2025. Распределение густоты речной сети Белгородской области вдоль географических градиентов. Региональные геосистемы, 49(3): 533–547. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-533-547 EDN: PRDWRL

Distribution of River Network Density along Geographical Gradients in the Belgorod Region

Pavel A. Ukrainskiy, Anastasia G. Narozhnyaya
Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
pa.ukrainski@gmail.com, narozhnyaya_a@bsuedu.ru

Abstract. The article provides a quantitative description of the most general patterns of the river network geography in the Belgorod region. A vector layer of rivers based on 1:100,000 scale maps was analyzed. The study was focused on the distribution of river network density along five geographic gradients (the elevation gradient and four horizontal gradients: the northern, the eastern, the southeastern, and the northeastern ones). The Belgorod region was divided into strips along the gradients with a step of 5 km (5 m for the elevation gradient), in which the river network density was calculated. The data series obtained were analyzed for a trend, breakpoints, and cycles. The study shows that the river network density decreases with increasing terrain altitude and when moving along the eastern, southeastern, and southwestern gradients. No trend was found for the northern gradient. The turning points are observed on the altitudinal gradient (95 and 140 m), the eastern (70 and 180 km), the southeastern (70 km) and the

northeastern gradient (120 and 200 km). The trend direction is always preserved after the turning points. Statistically significant cycles were detected on the altitudinal gradient (cycle size 15 m), the northern gradient (50 km), and the northeastern one (65 km).

Keywords: river network, Belgorod region, geographic gradient, spatial trend, time series breakpoints, wavelet analysis

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2025-0006.

For citation: Ukrainsky P.A., Narozhnaya A.G. 2025. Distribution of River Network Density along Geographical Gradients in the Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 49(3): 533–547 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-533-547 EDN: PRDWRL

Введение

Белгородская область обладает неоднородной по густоте речной сетью. Современная география речной сети определяется на ее территории сочетанием природных и антропогенных факторов. К природным факторам относится климат (изменение условий увлажнения по территории области), рельеф (положение на Среднерусской возвышенности) и геологическое строение [Хижняк, 1975; Лисецкий и др., 2015]. К антропогенным факторам относится вырубка лесов и распашка территории в историческом прошлом [Антипов, 1959; Chendev et al., 2008; Лисецкий и др., 2015]. Многие исследования сосредоточены именно на влиянии антропогенных факторов на изменение густоты речной сети в последние три века [Ченdev, Гончаров, 2000; Chendev et al., 2008; Белеванцев, 2013; Лисецкий и др., 2015; Петин и др., 2015; Шевченко, 2019]. Но и современная география густоты речной сети привлекает не меньшее внимание и неоднократно описывалась [Антипов, 1959; Chendev et al., 2008; Дмитриева, Фолимонова 2016; Лисецкий и др., 2015; Павлюк и др., 2022; Нарожняя, 2023]. Ее описания выполнялись в основном на данных визуального анализа карт речной сети или карт густоты речной сети. Количественная оценка густоты речной сети проводилась в разрезе речных бассейнов [Нарожняя, 2023] или по ячейкам регулярной сетки [Нечетова, Нарожняя, 2010].

Эта работа посвящена количественному изучению изменения густоты речной сети вдоль географических градиентов. Географический градиент – это линия пространственного профиля (вертикального или горизонтального), по единичным отрезкам которого оцениваются явления, объекты и их свойства [Бакланов, 2021]. В научной литературе широко представлены работы, посвященные изучению географического градиента фитомассы и биоразнообразия растительности [Усольцев и др., 2022; Nishizawa et al., 2022]. Гораздо меньше работ по фауне и очень мало по изменению иных компонентов ландшафтов [Коломыш, 2018]. Выявлению географического градиента функционирования рек посвящены работы Б.И. Гарцмана [Gartsman, 2013]. За рубежом подобные работы известны для рек Андского региона Южной Америки [Habit et al., 2022].

Цель этой работы – сравнение изменений густоты речной сети вдоль разных географических градиентов (вертикального градиента и горизонтальных градиентов, проведенных по сторонам света). Проведение такого сравнения позволит выяснить, для какого из географических градиентов характерен наибольший размах густоты речной сети, существует ли в географии густоты речной сети трендовая составляющая, на каком географическом градиенте тренд наиболее выражен, присутствуют ли точки переломов густоты речной сети на географических градиентах, есть ли в географии густоты речной сети циклическая составляющая, на каких географических градиентах она присутствует, какой размер существующих циклов. В совокупности ответы на эти вопросы дадут наиболее обобщенное количественно описание географии густоты речной сети Белгородской области.

Объекты и методы исследования

Белгородская область расположена на южных и юго-западных склонах Среднерусской возвышенности в бассейнах рек Днепра и Дона. Охватывая лесостепную и степную зоны, территория представляет собой возвышенную равнину, приподнятую в северной части и имеющую слабо выраженные уклоны на запад – юго-запад и восток – юго-восток, сильно расчлененную овражно-балочной сетью – лошинами, балками, оврагами. Площадь Белгородской области составляет 27,1 тыс. км², протяженность с севера на юг – 190 км, с запада на восток – 275 км [Антипов, 1959; Хижняк, 1975; Природные ресурсы..., 2007; Дегтярь и др., 2016].

Исходными пространственными данными стали три слоя: векторный слой речной сети Белгородской области (шнейп-файл с линейной геометрией), векторный слой границ Белгородской области (шнейп-файл с полигональной геометрией) и цифровая модель рельефа (ЦМР, растровый слой в формате *geotIFF*). Все исходные данные к моменту начала представленного здесь исследования уже существовали. Они были созданы Федерально-региональным центром аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов (НИУ «БелГУ») в ходе разработки концепции бассейнового природопользования для территории Белгородской области [Кузьменко и др., 2013; Лисецкий, Панин, 2013]. Детальность векторных слоев соответствует масштабу карт 1:100000 [Топографические ..., 2025]. Пространственное разрешение ЦМР составляет 30 м/пиксель. Все слои как исходные, так и созданные в процессе работы, имели единую систему координат проекции *UTM 37N WGS-84* (номер *EPSG 32637*).

Общий методический принцип, лежащий в основе работы, – это количественное описание географии густоты речной сети в предельно обобщенном виде. Предельный уровень обобщения подразумевает преобразование трехмерного пространства в несколько одномерных рядов. Эти одномерные ряды соответствуют географическим градиентам. Для изучения мы взяли пять географических градиентов – четыре горизонтальных и один вертикальный. Горизонтальные градиенты – это четыре направления, пересекающие Белгородскую область с юга на север (северный или широтный градиент), с запада на восток (восточный или долготный градиент), с северо-запада на юго-восток (юго-восточный градиент, перпендикулярный оси Волги) и с юго-запада на северо-восток (северо-восточный градиент, параллельный оси Волги). Вертикальный (высотный) градиент соответствует смене абсолютной высоты от минимальной до максимальной. Каждый географический градиент был разделен на равные отрезки. Горизонтальные градиенты мы разделили на отрезки, равные 5 км, а вертикальный градиент был разделен на отрезки с перепадом высот 5 м. Внутри этих отрезков была подсчитана густота речной сети. В результате были получены ряды чисел, по структуре аналогичные временным рядам. Но вместо времени в них используется изменение расстояния или абсолютной высоты. К таким пространственным рядам можно применять те же методы статистического анализа, что и к временным рядам. Идея применения методов анализа временных рядов к рядам пространственных данных не нова. Пример такого подхода опубликован в работе Гусарова и Шарифуллина [Шарифуллин, Гусаров, 2025].

Работа состояла из двух этапов. Первый этап заключался в подготовке данных к анализу. Были созданы векторные полигональные слои географических градиентов и в них подсчитана густота речной сети. Для обработки данных на первом этапе использовались программы *ArcGIS 10.2* и *QGIS 3.16*. На втором этапе проводился статистический анализ собранных данных. Для этого использовался язык программирования *R 4.1.0* [R Core Team, 2021] и интегрированная среда разработки *Rstudio 1.4.1106*.

Для создания горизонтальных градиентов, представляющих собой параллельные полосы шириной 5 км, построен полигональный слой минимальной ограничивающей геометрии (МОГ) – прямоугольник, стороны которого проходят через крайние точки Белгородской области. С помощью параллельного копирования были созданы линии с расстоянием 5 км между ними. По этим линиям полигон МОГ был разрезан на полосы. Для восточного градиента

линии разрезов прокладывались параллельно западной стороне МОГ; для северного градиента – параллельно южной стороне МОГ; для юго-восточного – параллельно линии азимутом 45° , проходящей через северо-западный угол МОГ; для северо-восточного – параллельно линии азимутом 135° , проходящей через юго-западный угол МОГ.

Все полигональные слои горизонтальных градиентов были обрезаны по слою границ Белгородской области. После этого была рассчитана площадь каждого полигона в слоях градиентов. Затем в *QGIS* была подсчитана суммарная длина речной сети в полигонах. С учетом данных площади полигонов и суммарной длины речной сети в них была рассчитана густота речной сети. Слой вертикального градиента представляет собой полигоны, разделенные по изогипсам с интервалом, кратным 5 м. Для создания этого слоя была проведена переклассификация ЦМР, т. е. преобразование ее из непрерывного растра в дискретный. Далее дискретный растр был преобразован в векторный слой с полигональной геометрией. Подсчет густоты речной сети в полигонах этого слоя выполнен аналогично горизонтальным градиентам.

Статистический анализ включал в себя проверку рядов на наличие линейного тренда, точек перелома, выбросов и циклических колебаний. Проверка рядов на наличие линейного тренда выполнена с помощью непараметрического теста Манна – Кендалла. Для этого использован дополнительный пакет *trend* языка *R* [Pohlert, 2020]. Поиск выбросов в рядах выполнен с помощью метода, предложенного *Chen* и *Liu*, с помощью инструментов из дополнительного пакета *tsoutliers* языка *R* [Chen, Liu, 1993; Lopez-de-Lacalle, 2024]. Выделение точек переломов выполнено с помощью дополнительного пакета *strucchange* [Zeileis et al., 2002; 2003]. В этом пакете реализован алгоритм выделения нескольких точек переломов, который был предложен *Bai* и *Perron* [Bai, Perron, 2003]. При поиске точек перелома задан минимальный размер сегмента, равный $0,15 \times L$, где L – длина ряда. Поиск циклических колебаний в рядах выполнен с помощью вейвлет-анализа. Для этого применялся дополнительный пакет *WaveletComp* 1.1 языка *R* [Roesch, Schmidbauer, 2018]. В пакете *WaveletComp* для вычисления спектра мощности используется вейвлет Морле (*Morlet*). Для генерации суррогатных временных рядов мы использовали метод белого шума. Число симуляций, необходимых для оценки статистической значимости периодов колебаний, было задано нами равным 30000.

Результаты и их обсуждение

При подъеме вдоль вертикального (высотного) градиента от 70 до 250 м густота речной сети уменьшается (рис. 1А). Размах значений на этом градиенте составляет 2,16 км/км² (максимальное значение – 2,17, минимальное – 0,01 км/км²). На высотах более 250 м речная сеть отсутствует. Территории выше 250 м относятся к верхней ландшафтно-высотной ступени по Ф.Н. Милькову [Михно, Горбунов, 2001]. В Белгородской области это наиболее возвышенная часть Донецко-Сеймского междуречного плато [Антимонов, 1959]. Территориям с нулевой густотой речной сети соответствуют семь крайних (верхних) наблюдений на вертикальном градиенте. Эти наблюдения были исключены из статистического анализа и на рис. 1А не показаны.

В отличие от вертикального градиента, на котором есть целый ряд наблюдений с нулевой густотой речной сети, на горизонтальных градиентах нулевые значения густоты речной сети представлены только единичными наблюдениями. По линии запад – восток присутствует одно нулевое значение (рис 1Б). Это крайнее восточное наблюдение. Соответствующая ему пятикилометровая полоса охватывает приводораздельную территорию в бассейне Сармы (приток Айдара). По линии, идущей с юго-запада на северо-восток (рис. 1Г), выявлены два нулевых значения. Это крайнее юго-западное наблюдение и крайнее северо-восточное наблюдение. Соответствующие им пятикилометровые полосы охватывают приводораздельные территории в бассейне рек Понуры (приток Ворсклы) и Потудань соответственно. Крайние наблюдения с нулевыми значениями были исключены из статистического анализа горизонтальных градиентов и на рис. 1 не отражены.

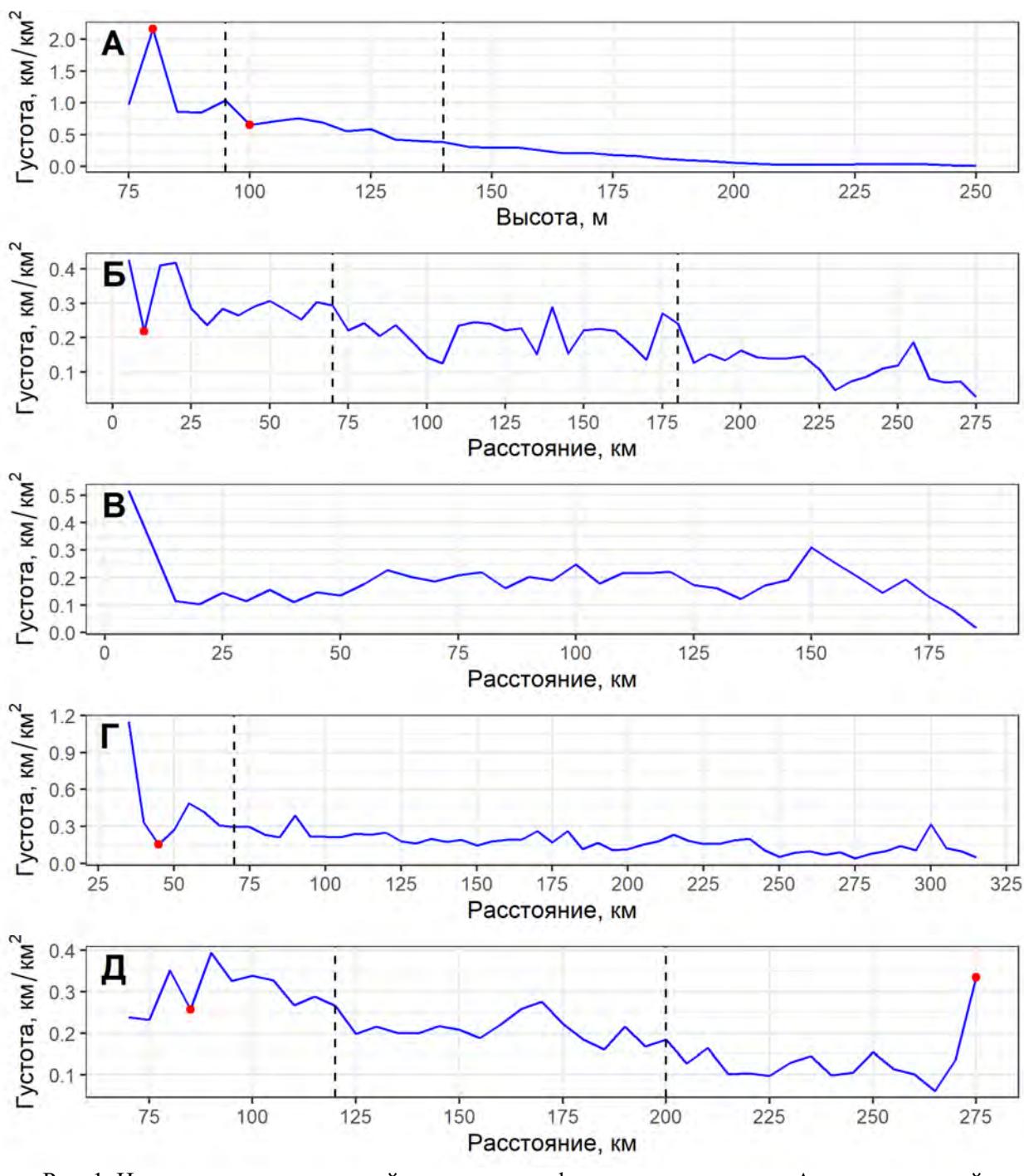


Рис. 1. Изменение густоты речной сети по географическим градиентам: А – вертикальный градиент, Б – восточный градиент, В – северный градиент, Г – юго-восточный градиент, Д – северо-восточный градиент. Пунктирные линии – точки переломов, красные точки – выбросы

Fig. 1. Change in river network density along geographic gradients: A – vertical gradient, B – eastern gradient, C – northern gradient, Г – southeastern gradient, Д – northeastern gradient. Dashed lines – breakpoints, red points – outliers

При движении вдоль трех горизонтальных градиентов (с запада на восток, с северо-запада на юго-восток и с юго-запада на северо-восток) наблюдается уменьшение густоты речной сети (рис. 1Б, Г, Д). При движении вдоль четвертого горизонтального градиента (линия юг – север) четких закономерностей изменений густоты речной сети не наблюдается (рис. 1Б). Размах значений густоты речной сети на горизонтальных градиентах меньше, чем на вертикальном. Среди горизонтальных градиентов максимальных размах наблюдается у юго-

восточного градиента (линия с северо-запада на юго-восток). Он равен $1,11 \text{ км}/\text{км}^2$ (максимальное значение – $1,15 \text{ км}/\text{км}^2$, минимальное – $0,04 \text{ км}/\text{км}^2$). Для восточного градиента (линия запад – восток) он составляет $0,50 \text{ км}/\text{км}^2$ (максимальное значение – $0,43 \text{ км}/\text{км}^2$, минимальное значение – $0,03 \text{ км}/\text{км}^2$). Для северного градиента (линия юг – север) размах равен $0,40 \text{ км}/\text{км}^2$ (максимальное значение – $0,52 \text{ км}/\text{км}^2$, минимальное значение – $0,02 \text{ км}/\text{км}^2$). Для северо-восточного градиента (линия с юго-запада на северо-восток) размах равен $0,33 \text{ км}/\text{км}^2$ (максимальное значение – $0,39 \text{ км}/\text{км}^2$, минимальное значение – $0,06 \text{ км}/\text{км}^2$).

Визуально наблюдаемые на графиках тенденции (см. рис. 1) подтверждаются результатами количественного анализа наличия линейного тренда с помощью теста Манна – Кендалла (табл. 1). Статистически значимый тренд ($p < 0,05$) обнаружен для четырех географических градиентов из пяти – для высотного, восточного (линия запад – восток), юго-восточного (линия с северо-запада на юго-восток) и северо-восточного градиентов (линия с юго-запада на северо-восток). Отсутствует линейный тренд только для северного градиента (линия юг – север). Для него густота речной сети колеблется вокруг среднего значения $0,19 \text{ км}/\text{км}^2$, не показывая устойчивого понижения или повышения по мере продвижения с юга на север.

Таблица 1
 Table 1

Результаты теста Манна – Кендалла на наличие линейного тренда
 Results of the Mann – Kendall test for linear trend

Градиент	τ -коэффициент	z -критерий	p -значение
Вертикальный (высотный)	–0,91	–7,84	$5,96 \times 10^{-15}$
Горизонтальные	Восточный	–0,65	$1,90 \times 10^{-12}$
	Северный	0,003	0,99
	Юго-восточный	–0,59	$1,22 \times 10^{-10}$
	Северо-восточный	–0,60	$2,24 \times 10^{-8}$

Отрицательные значения τ -коэффициента указывают на нисходящий тренд – уменьшение густоты речной сети вдоль указанных выше четырех географических градиентов (см. табл. 1). Абсолютное значение τ -коэффициента характеризует степень выраженности тренда. Наиболее явный тренд наблюдается у вертикального (высотного) градиента. Среди горизонтальных градиентов тренд наиболее выражен у восточного градиента (линия запад – восток). То есть для Белгородской области основной закономерностью географии густоты речной сети является ее уменьшение в направлении с запада на восток. Таким образом, анализ с помощью теста Манна – Кендалла подтверждает выводы, сделанные в предыдущих исследованиях [Антипов, 1959; Лисецкий и др., 2015; Нарожняя, 2023] на основе визуального анализа карт густоты речной сети.

Однако визуальный анализ карт густоты речной сети отличается субъективностью восприятия. Поэтому такой анализ может приводить к близкому, но отличающемуся от нашего, выводу, что сильнее всего уменьшается густота речной сети в направлении с северо-запада на юго-восток. Этот вывод кажется очень логичным, так как этот градиент перпендикулярен оси Воейкова, а значит, должен быть климатически обусловленным. Но при визуальном анализе карт густоты речной сети может вводить в заблуждение диапазон значений по линии с северо-запада на юго-восток. Внимание наблюдателя обращается в первую очередь на контраст между высокими и низкими значениями густоты речной сети на разных концах этого градиента, а не на характер перехода между крайними значениями. А тест Манна – Кендалла анализирует именно устойчивость тренда. И этот статистический тест показывает, что тренд по направлению с северо-запада на юго-восток выражен слабее, чем по направлению с запада на восток.

Обнаруженные в рядах данных тренды осложняются наличием выбросов (табл. 2), точек переломов (табл. 3) и цикличности (рис. 3). Однако выбросы в данных малочисленные. Для четырех из пяти географических градиентов суммарно к выбросам можно отнести только шесть наблюдений (табл. 3). Отрицательные выбросы встречаются чаще. К отрицательным выбросам относится четыре наблюдения, а к положительным – два. На северном градиенте (линия север – юг) выбросы обнаружены не были. Коэффициент напряженности указывает на степень выраженности выброса. Чем больше абсолютное значение коэффициента напряженности, тем сильнее выброс. На вертикальном градиенте выбросы более сильные, чем на горизонтальных градиентах.

Таблица 2
Table 2Выбросы в рядах данных густоты речной сети
Outliers in river network density data series

Градиент	Расстояние, км / высота, м*	Коэффициент напряженности	t-критерий	p-значение
Вертикальный	80	1,25	25,00	$6,56 \times 10^{-24}$
	100	-0,23	-4,52	$6,77 \times 10^{-5}$
Горизонтальные	Восточный	10	-0,18	-3,87
	Северный	Выбросы не обнаружены		
	Юго-восточный	45	-0,66	$5,84 \times 10^{-13}$
	Северо-восточный	85	-0,12	-4,05
		275	0,20	$1,71 \times 10^{-5}$

Примечание: * – для высотного градиента положение выбросов обозначено в м, для горизонтальных градиентов – в км.

Таблица 3
Table 3Переломы в рядах данных густоты речной сети
Breakpoints in river network density data series

Градиент	Положение точек перелома, км или м*	Сегменты градиента, км или м*	Среднее сегмента, км/км ²
Вертикальный (высотный)	95 и 140	70–95	1,18
		96–140	0,57
		141–250	0,12
Горизонтальные	Восточный	0–70	0,31
		71–180	0,21
		181–275	0,11
	Северный	Точек переломов не обнаружено	
	Юго-восточный	0–70	0,43
		71–285	0,17
	Северо-восточный	70–120	0,30
		121–200	0,21
		201–275	0,13

Примечание: * – для высотного градиента положение точек перелома обозначено в м, для горизонтальных градиентов – в км.

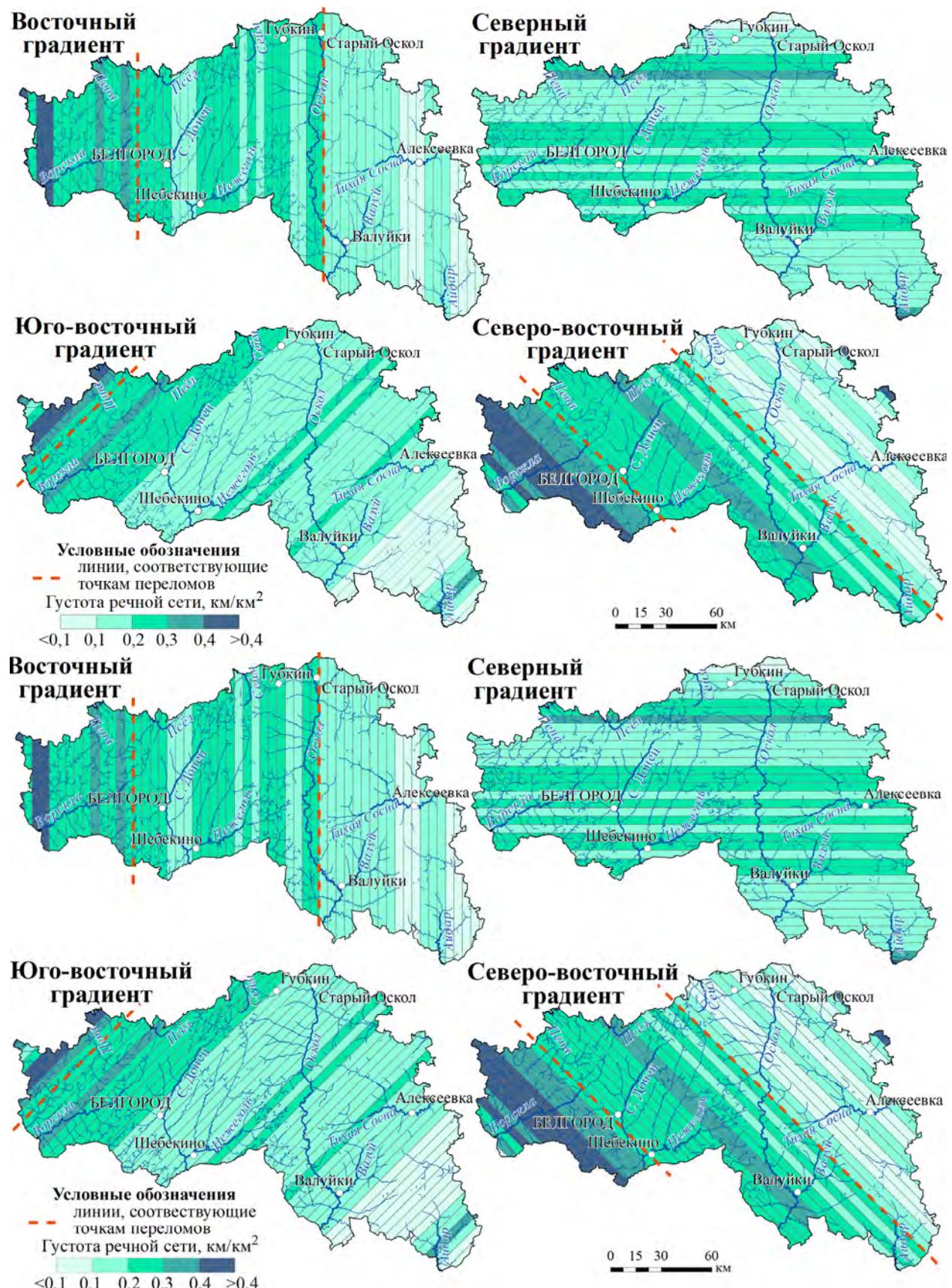


Рис. 2. Линии, соответствующие точкам переломов густоты речной сети
 на географических градиентах

Fig. 2. Lines corresponding to the breakpoints in the density of the river network
 along the geographic gradients

Точки переломов отмечены на всех градиентах, кроме северного (линия юг – север). На высотном, восточном и северо-восточном градиентах обнаружено две точки переломов (см. табл. 3). На юго-восточном – одна. В пространстве эти точки переломов для вертикального (высотного) градиента можно провести как соответствующие изогипсы. А для горизонтальных градиентов точки переломов в пространстве можно провести как линии, перпендикулярные оси градиента. Характерно, что во всех случаях после прохождения точки перелома направление изменения густоты речной сети не меняется – сохраняется тренд на уменьшение при движении по градиенту. Это видно по последовательному уменьшению среднего значения густоты речной сети между сегментами, на которые делят ряды данных точки переломов.

Для вертикального градиента наблюдаются две точки переломов. Первая – это изогипса 95 м, вторая – изогипса 140 м. Первая точка перелома примерно соответствует границе низкого пойменного яруса и возвышенного террасового яруса внутри нижней высотной-ландшафтной ступени по Ф.Н. Милькову [Frolov, Cherkashin, 2012; Михно, Горбунов, 2021]. Вторая точка перелома приблизительно соответствует границе между средней и нижней высотно-ландшафтной ступенями. Большая часть Белгородской области попадает в территории с высотами выше второй точки перелома [Нарожняя, Буряк, 2016]. Между высотами, соответствующими второй и первой точке перелома для вертикального градиента, расположены долины наиболее длинных рек Белгородской области – Ворсклы, Ворсклицы, Северского Донца, Нежеголи, Корня, Корочи, Оскола, Тихой Сосны, Черной Калитвы. На высотах ниже первой точки перелома находится долина Айдара, нижняя часть долин Тихой Сосны, Оскола и Потудани.

Для восточного градиента выделены две точки перелома (расстояние 70 и 180 км от начала отсчета). Первая точка перелома соответствует линии, отделяющей бассейны Ворсклы, Пены, Уды, Лопани и Харькова на западе от бассейна Северского Донца на востоке. С определенной натяжкой можно отождествить ее с водоразделом Днепра и Дона. Вторая точка перелома приблизительно соответствует долине Оскола. Ранее в литературе Оскол указывался как рубеж, к востоку от которого понижена плотность густоты речной сети, а к западу повышена [Антимонов, 1959; Лисецкий и др., 2015]. А вот водораздел Днепра и Дона в таком качестве указываться реже [Петин и др., 2015; Фолимонова, Дмитриева, 2016]. Видимо, это связано с тем, что различия густоты речной сети к востоку и к западу от водораздела Днепра и Дона выражены меньше, чем различия густоты речной сети к востоку и западу от Оскола. Так, для первого перелома на восточном градиенте это соотношение равно 1,5 к 1, а для второго перелома соотношение составляет уже 2 к 1 (см. табл. 3).

Для юго-восточного градиента выделена точка перелома на расстоянии 70 км от начала отсчета. Это соответствует линии, отделяющей с юго-востока от остальной области бассейны Илька, Бобравы, Солотины и нижнюю часть бассейна Пены. Эти территории являются частью бассейна Псёла и отличаются наибольшей густотой речной сети в Белгородской области.

Для северо-восточного градиента (линия с юго-запада на северо-восток) выделены две точки перелома, находящиеся на расстоянии 120 и 200 км от начала отсчета. Значение густоты речной сети между точками перелома и соотношение этих значений у северо-восточного градиента практически совпадают со значениями и соотношением у восточного градиента.

Первая точка перелома для северо-восточного градиента примерно соответствует линии, проходящей по долине реки Пена, отсекающей с запада верховья Ворсклы и далее проходящей по долине Северского Донца южнее впадения Везелки. Вторая точка перелома для северо-восточного градиента разделяет верхнюю и нижнюю часть бассейна Оскола в границах Белгородской области. Это линия раздела проходит к югу от впадения Беленькой в Оскол. Юго-восточнее этого места вторая точка перелома приблизительно соответ-

ствует водоразделу, к северо-востоку от которого лежат бассейны Потудани, Тихой Сосны и Черной Калитвы, а к юго-западу находятся бассейны Айдара и Валуя. Северо-восточнее впадения Беленькой в Оскол вторая точка перелома приблизительно соответствует линии, пересекающей Донецко-Сеймецкое междуречное плато и разделяющей бассейн Донецкой Сеймицы и бассейны притоков Северского Донца от остальной части бассейна Сейма и бассейнов правобережных притоков Оскола.

На наличие циклической составляющей в исследуемых рядах густоты речной сети указывают результаты вейвлет-анализа. На рис. 3 эти результаты представлены в виде графиков зависимости средней мощности вейвлета от величины периода. Пики на графиках соответствуют в данных циклическим колебаниям с соответствующим периодом. Для вертикального (высотного) градиента обнаружен один статистически значимый цикл значений густоты речной сети с периодом 15 м.

Для горизонтальных градиентов обнаруживаются сразу три-четыре цикла. Однако статистически значимыми ($p < 0,05$) из них являются только циклы с периодом 65 км для северо-восточного градиента и с периодом 50 км для северного градиента. Кроме того, если мы допускаем признание статистически значимыми колебаний при $p < 0,1$, то для северного градиента подтверждается еще второй цикл с периодом 80 км.

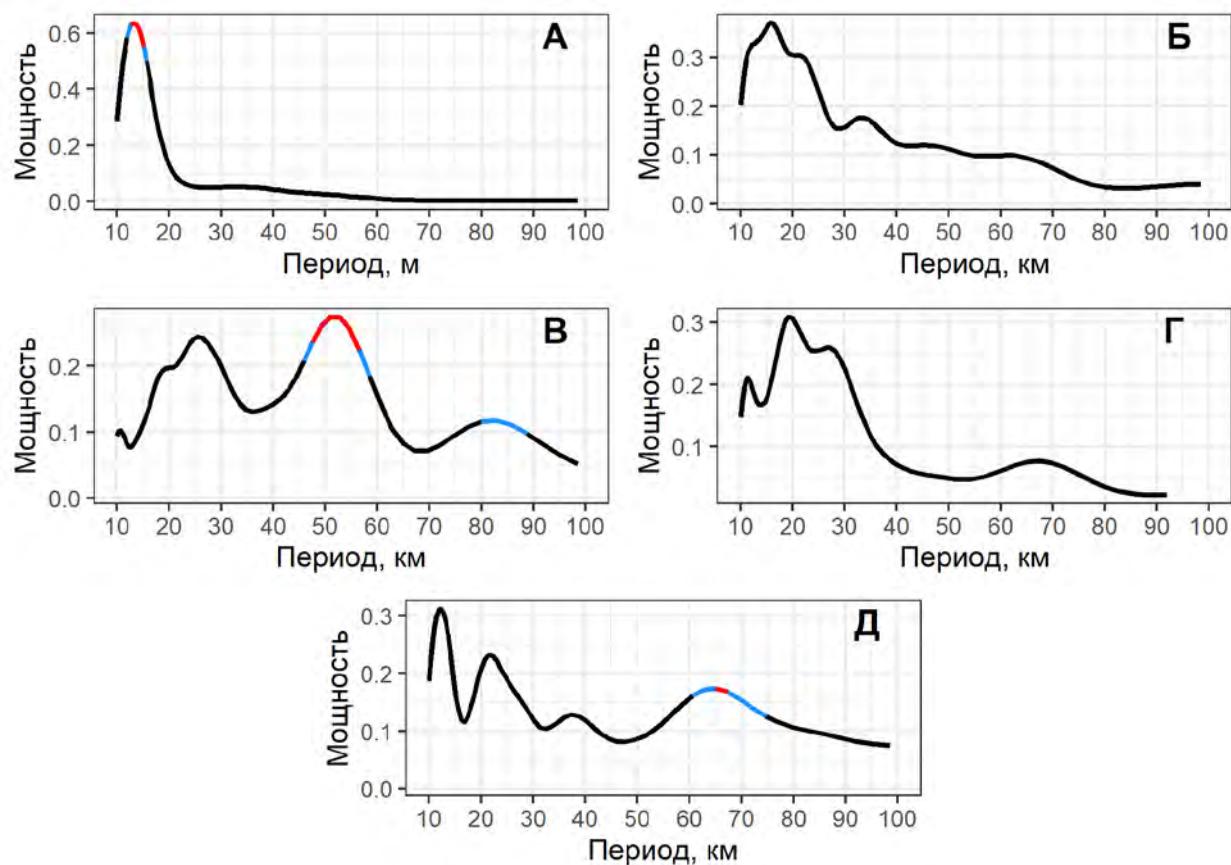


Рис. 3. Зависимость средней мощности вейвлета от величины периода: А – вертикальный градиент, Б – восточный градиент, В – северный градиент, Г – юго-восточный градиент, Д – северо-восточный градиент. Красная линия – $p < 0,05$, синяя линия – $p < 0,1$

Fig. 3. Dependence of the average wavelet power on the period value: А – vertical gradient, Б – eastern gradient, В – northern gradient, Г – southeastern gradient, Д – northeastern gradient. Red line – $p < 0.05$, blue line – $p < 0.1$

Цикличность в изменении густоты речной сети по горизонтальным градиентам может быть связана с рельефом территории. Размеры циклов в таком случае соответствуют размерам речных бассейнов. Циклы с более длинным периодом соответствуют размерам бассейнов меньших порядков. Циклы с более короткими периодами соответствуют бассейнам больших порядков. Но количественная проверка этого предположения требует проведения отдельного исследования.

Заключение

Для территории Белгородской области характерны следующие закономерности в изменении густоты речной сети вдоль основных географических градиентов:

1. Наибольший размах значений густоты речной сети (от 2,17 до 0,01 км/км²) наблюдается для высотного градиента. Среди горизонтальных градиентов наибольший размах значений (от 1,15, до 0,04 км/км²) наблюдается на юго-восточном градиенте (линия с северо-запада на юго-восток).

2. Трендовая составляющая в изменении густоты речной сети присутствует во всех рассмотренных географических градиентах, кроме северного (широтный градиент, линия юг – север). Сильнее всего тренд выражен на вертикальном (высотном) градиенте. Среди горизонтальных градиентов тренд сильнее всего выражен у восточного градиента (долготный градиент, линия запад – восток).

3. Для высотного градиента тренд состоит в уменьшении густоты речной сети по мере снижения высоты местности. Для горизонтальных градиентов тренды заключаются в уменьшении густоты речной сети при движении с запада на восток, с северо-запада на юго-восток и с юго-запада на северо-восток.

4. Точки перелома наблюдаются на высотном (абсолютные высоты 95 и 140 м), восточном (70 и 180 км от начала отсчета), юго-восточном (70 км от начала отсчета) и северо-восточном градиентах (120 и 200 км от начала отсчета). При прохождении точки перелома наблюдается относительно резкое изменение густоты речной сети, но направление тренда при этом сохраняется.

5. Статистически значимые циклы изменения густоты речной сети отмечаются при движении вдоль высотного, северного (широтный градиент, линия юг – север) и северо-восточного градиентов. Для высотного градиента такой цикл равен 15 м высоты. Для северного градиента он равен 50 км расстояния, а для северо-восточного – 65 км расстояния.

6. Методы анализа густоты речной сети, описанные в этой работе, могут быть применены для других территорий, для картографических данных иных масштабов и ЦМР, построенных различными способами (включая гидрологически корректные ЦМР).

Список источников

- Топографические карты Белгородской области. Масштаб 1:100000. Состояние местности на 1981–1990 год. Электронный ресурс. URL: <https://satmaps.info> (дата обращения 12.04.2025).
- Lopez-de-Lacalle J. 2024. tsoutliers: Detection of outliers in time series. R package version 0.6-10. Electronic resource. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=tsoutliers> (date accessed 04.04.2025).
- Pohlert T. 2020. Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.4. Electronic resource. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=trend> (date accessed 08.04.2025).
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. Electronic resource. URL: <https://www.R-project.org/> (date accessed 12.04.2025).
- Roesch A., Schmidbauer H. 2018. WaveletComp: Computational Wavelet Analysis. R Package Version 1.1. Electronic resource. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=WaveletComp> (date accessed 21.04.2025).

Список литературы

- Антипов Н.А. 1959. Природа Белгородской области. Белгород, Белгородское книжное издательство, 240 с.
- Бакланов П.Я. 2021. Географические градиенты как измерение географического пространства. В кн.: Геосистемы Северо-Восточной Азии: природа, население, хозяйство территории. Сборник трудов конференции, Владивосток, 02–23 апреля 2021 года. Владивосток, Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН: 11–13. <https://doi.org/10.35735/tig.2021.56.55.002>
- Белеванцев В.Г. 2013. Сравнительный анализ изменения речной сети в бассейнах Ворсклы и Тихой Сосны за историческое время: Белгородская область. Современные проблемы науки и образования, 6: 941.
- Дегтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцев Р.Ю. 2016. Экология Белогорья в цифрах. Белгород, КОНСТАНТА, 122 с.
- Дмитриева В.А., Фолимонова Ю.С. 2016. Речная сеть и ресурсы рек Белгородской области. В кн.: Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию ПГНИУ, Пермь, 17–18 октября 2016 года. Пермь, ПГНИУ: 121–125.
- Коломыц Э.Г. 2018. Избранные очерки географической экологии: Часть I. Базовый ландшафтно-экологический анализ. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 27(1): 15–129. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10002>
- Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Кириленко Ж.А., Григорьева О.И. 2013. Обеспечение оптимальной водоохранной лесистости при бассейновой организации природопользования. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 15(3–2): 652–657.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожная А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, КОНСТАНТА, 362 с.
- Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. 2013. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 48–51.
- Михно В.Б. Горбунов А.С. 2001. Высотно-ландшафтные комплексы мелового юга Среднерусской возвышенности. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 16–24.
- Нарожная А.Г. 2023. Структура речной сети Белгородской области. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы X Международной научной конференции, Белгород, 24–27 октября 2023. Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет: 173–178.
- Нарожная А.Г., Буряк Ж.А. 2016. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 25(246): 169–178.
- Нечетова Ю.В., Нарожная А.Г. 2010. Изучение овражно-балочной сети Белгородской области с применением ГИС-технологий. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 11(71): 96–100.
- Павлюк Я.В., Саблина О.М., Смирнова С.Б. Гладкая К.А. 2022. Анализ закономерностей развития линейной эрозии в бассейнах рек на юге Среднерусской возвышенности с использованием ГИС. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 14(3): 192–212. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-192-212>
- Петин А.Н., Петина М.А., Лебедева М.Г., Белеванцев В.Г. 2015. Применение ГИС-технологий в историческом анализе речных систем на примере Белгородской области. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 21: 241–246. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2015-1-21-241-246>
- Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области. 2007. Под ред. С.В. Лукина. Белгород, БелГУ, 556 с.
- Усольцев В.А., Цепордей И.С., Данилин И.М. 2022. Охвоенность побегов сосны обыкновенной в географических градиентах Евразии. Хвойные бореальной зоны, 40(4): 303–311. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-6-303-311>

- Хижняк А.А. 1975. Природные ресурсы земли Белгородской. Воронеж, Центрально-Черноземное книжное издательство, 126 с.
- Ченdev Ю.Г. Гончаров Н.Е. 2000. Деградация речной сети Белгородской области. В кн.: Экологическая безопасность и здоровье людей в XXI веке. Статьи, краткие сообщения и тезисы докладов VI Всероссийской научно-практической конференции, Белгород, 10–12 октября 2000. Белгород, Белгородский государственный университет: 70–73.
- Шарифуллин А.Г., Гусаров А.В. 2025. Особенности размещения и морфометрические характеристики бобровых плотин и прудов на малых реках возвышенностей степной зоны Поволжья. Известия Русского географического общества, 156(4): 423–440. <https://doi.org/10.31857/S0869607124040129>
- Шевченко В.Н. 2019. Трансформация гидрографической сети урбанизированных территорий Белгородской области. Вектор ГеоНаук, 2(4): 22–25. <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2019-10042>
- Bai J., Perron P. 2003. Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models. *Journal of applied econometrics*, 18(1): 1–22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Chen C., L.-M. Liu. 1993. Joint Estimation of Model Parameters and Outlier Effects in Time Series. *Journal of the American Statistical Association*, 88(421): 284–297. <https://doi.org/10.1080/01621459.1993.10594321>
- Chendev Yu.G., Petin A.N., Serikova E.V. Kramchaninov N.N. 2008. Degradation of Geosystems in the Belgorod Region as a Result of the Economic Activities. *Geography and Natural Resources*, 29(4): 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.10.010>
- Frolov A.A., Cherkashin A.K. 2012. Altitudinal Gradient as a Complex Factor for Formation of Landscape Microzonality and Geosystem Serialness. *Geography and Natural Resources*, 33(1): 10–18. <https://doi.org/10.1134/S1875372812010027>
- Gartsman B.I. 2013. Analysis of Geomorphological Conditions for Primary Streams Formation Using Digital Elevation Models. *Geography and Natural Resources*, 34(1): 69–78. <https://doi.org/10.1134/S1875372813010101>
- Habit E., Zurita A., Díaz G., Manosalva A., Arriagada P., Link O., Górska K. 2022. Latitudinal and Altitudinal Gradients of Riverine Landscapes in Andean Rivers. *Water*, 14(17): 2614. <https://doi.org/10.3390/w14172614>
- Nishizawa K., Shinohara N., Cadotte M.W., Mori A.S. 2022. The Latitudinal Gradient in Plant Community Assembly Processes: a Meta-Analysis. *Ecology Letters*, 25(7): 1711–1724. <https://doi.org/10.1111/ele.14019>
- Zeileis A., Kleiber C., Kramer W., Hornik K. 2003. Testing and Dating of Structural Changes in Practice. *Computational Statistics & Data Analysis*, 44(1–2): 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(03\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(03)00030-6)
- Zeileis A., Leisch F., Hornik K., Kleiber C. 2002. Strucchange: an R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models. *Journal of statistical software*, 7(2): 1–38. <https://doi.org/10.18637/jss.v007.i02>

References

- Antimonov N.A. 1959. Priroda Belgorodskoy oblasti [Nature of the Belgorod region]. Belgorod, Pabl. Belgorod book, 240 p.
- Baklanov P.Ya. 2021. Geographical Gradients – as a Measurement of Geographical Space. In: Geosystems of Northeast Asia: Nature, Population, Economy of the Territory. Conference Proceedings, Vladivostok, 02–23 April 2021. Vladivostok, Pabl. Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the RAS: 11–13 (in Russian). <https://doi.org/10.35735/tig.2021.56.55.002>
- Belevantsev V.G. 2013. The Comparative Analysis of the River Network Change in the Basins of Vorskla and Tikhaya Sosna Rivers for Historical Time: Belgorod Oblast. Modern problems of science and education, 6: 941 (in Russian).
- Degtyar A.V., Grigorieva O.I., Tatarintsev R.Yu. 2016. Ecology of Belgorod in Figures. Belgorod, Pabl. CONSTANTA, 122 p. (in Russian).

- Dmitrieva V.A. Folimonova Yu.S. 2016. River Net and Water Resources of Rivers at Belgorod Oblast. In: Current Issues in Hydrology and Geoecology. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of PSNRU, Perm, 17–18 October 2016. Perm, Pabl. PSNRU: 121–125 (in Russian).
- Kolomyts E.G. 2018. Selected Essays of Geographical Ecology: Part I. Basic Landscape Ecological Analysis. Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii, 27(1): 15–129 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10002>
- Kuzmenko Ya.V., Lisetskiy F.N., Kirilenko Ja.A., Grigoryeva O.I. 2013. Providing the Optimum Water Protection Forests Amount at Basin Organization of Nature Management. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 15(3–2): 652–657 (in Russian).
- Lisetskiy F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. Reki i vodnye ob"ekty Belgorod'ya [Rivers and Water Bodies of Belogorye]. Belgorod, Pabl. CONSTANTA, 362 p.
- Lisetskiy F.N., Panin A.G. 2013. Basin Conception of Nature Use in Rural Areas of Belgorod Oblast. Vestnik of the Russian agricultural science, 1: 48–51 (in Russian).
- Mikhno V.B., Gorbunov A.S. 2001. Vysotno-landshaftnye kompleksy melovogo yuga Srednerusskoy vozvyshenosti [High-Altitude Landscape Complexes of the Chalk South of the Central Russian Upland]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 1: 16–24.
- Narozhnyaya A.G. 2023. Struktura rechnoy seti Belgorodskoy oblasti [Structure of the River Network of the Belgorod Region]. In: Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredel'nykh stranakh [Problems of Nature Management and the Ecological Situation in European Russia and Neighboring Countries]. Proceedings of the X International Scientific Conference, Belgorod, 24–27 October 2023. Belgorod, Pabl. Belgorod National Research University: 173–178.
- Narozhnyaya A.G., Buryak Zh.A. 2016. Morphometric Analysis of Digital Elevation Models of the Belgorod Region at Different Degrees of Generalization. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 25(246): 169–178 (in Russian).
- Nechetova Yu.V., Narozhnyaya A.G. 2010. Study of Gullies and Ravines Network Within Belgorod Region Using GIS Technology. Land Management, Monitoring and Cadastre, 11(71): 96–100 (in Russian).
- Pavlyuk Ya.V., Sablina O.M., Smirnova S.B., Gladkaya K.A. 2022. Regularities Analysis of the Linear Erosion Development in River Basins in the South of the Central Russian Hill with the Use of GIS. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 14(3): 192–212 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-192-212>
- Petin A.N., Petina M.A., Lebedeva M.G., Belevantsev V.G. 2015. Application of GIS Technologies in Historical Analysis of River Systems on an Example Belgorod Region. InterCarto. InterGIS, 21: 241–246 (in Russian). <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2015-1-21-241-246>
- Prirodnyye resursy i okruzhayushchaya sreda Belgorodskoy oblasti [Natural resources and environment of Belgorod region]. 2007. Ed. by S.V. Lukin. Belgorod, Pabl. Belgorod State University, 556 p.
- Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Danilin I.M. 2022. The Needle Share in Tree Greenery Biomass of Scots Pine in Geographical Gradients of Eurasia. Conifers of the boreal area, 40(4): 303–311 (in Russian). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-6-303-311>
- Khizhnyak A.A. 1975. Prirodnye resursy zemli Belgorodskoy [Natural Resources of the Belgorod Land]. Voronezh, Pabl. Central Chernozem region book, 126 p.
- Chendev Yu.G., Goncharov N.E. 2000. Degradatsiya rechnoy seti Belgorodskoy oblasti [Degradation of the River Network of the Belgorod Region]. In: Ekologicheskaya bezopasnost' i zdorov'e lyudey v XXI veke [Environmental Safety and Human Health in the 21st Century]. Articles, brief reports and abstracts of reports of the VI All-Russian scientific and practical conference, Belgorod, 10–12 October 2000. Belgorod, Pabl. Belgorod State University: 70–73.
- Sharifullin A.G., Gusaev A.V. 2025. Features of Distribution and Morphometric Characteristics of Beaver Dams and Ponds in Small Rivers of the Uplands of the Steppe Zone of the Volga Region, European Russia. Proceedings of the Russian Geographical Society, 156(4): 423–440 (in Russian) <https://doi.org/10.31857/S0869607124040129>

- Shevchenko V.N. 2019. Transformation of a Hydrographic Network of Urbanized Territories of the Belgorod Region. *Vector of Geosciences*, 2(4): 22–25 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2019-10042>
- Bai J., Perron P. 2003. Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models. *Journal of applied econometrics*, 18(1): 1–22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Chen C., L.-M. Liu. 1993. Joint Estimation of Model Parameters and Outlier Effects in Time Series. *Journal of the American Statistical Association*, 88(421): 284–297. <https://doi.org/10.1080/01621459.1993.10594321>
- Chendev Yu.G., Petin A.N., Serikova E.V. Kramchaninov N.N. 2008. Degradation of Geosystems in the Belgorod Region as a Result of the Economic Activities. *Geography and Natural Resources*, 29(4): 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.10.010>
- Frolov A.A., Cherkashin A.K. 2012. Altitudinal Gradient as a Complex Factor for Formation of Landscape Microzonality and Geosystem Serialness. *Geography and Natural Resources*, 33(1): 10–18. <https://doi.org/10.1134/S1875372812010027>
- Gartsman B.I. 2013. Analysis of Geomorphological Conditions for Primary Streams Formation Using Digital Elevation Models. *Geography and Natural Resources*, 34(1): 69–78. <https://doi.org/10.1134/S1875372813010101>
- Habit E., Zurita A., Díaz G., Manosalva A., Arriagada P., Link O., Górska K. 2022. Latitudinal and Altitudinal Gradients of Riverine Landscapes in Andean Rivers. *Water*, 14(17): 2614. <https://doi.org/10.3390/w14172614>
- Nishizawa K., Shinohara N., Cadotte M.W., Mori A.S. 2022. The Latitudinal Gradient in Plant Community Assembly Processes: a Meta-Analysis. *Ecology Letters*, 25(7): 1711–1724. <https://doi.org/10.1111/ele.14019>
- Zeileis A., Kleiber C., Kramer W., Hornik K. 2003. Testing and Dating of Structural Changes in Practice. *Computational Statistics & Data Analysis*, 44(1–2): 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(03\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(03)00030-6)
- Zeileis A., Leisch F., Hornik K., Kleiber C. 2002. Strucchange: an R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models. *Journal of statistical software*, 7(2): 1–38. <https://doi.org/10.18637/jss.v007.i02>

Поступила в редакцию 04.07.2025;
поступила после рецензирования 30.07.2025;
принята к публикации 26.08.2025

Received July 04, 2025;
Revised July 30, 2025;
Accepted August 26, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Украинский Павел Александрович, кандидат географических наук, эксперт Центра валидации и верификации углеродных единиц, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Нарожня Анастасия Григорьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Ukrainskiy, Candidate of Geographical Sciences, Expert of the Carbon Units Validation and Verification Center, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Anastasia G. Narozhnyaya, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 631.471
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-548-560
EDN SBFZUV

Сравнительная оценка моделей определения поверхностного смыва почв (на уровне речного бассейна)

Григорьева О.И.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
grigoreva_o@bsuedu.ru

Аннотация. При оценке процессов водной эрозии, которая необходима для противоэрэозионной организации территории агроландшафтов, в Российской Федерации и в зарубежной практике используют широкий набор эмпирических и физически обоснованных моделей, исходя из их концептуального назначения. Несмотря на значительное количество предложений по расчету смыва почв, в России не утверждена единая модель для вычисления почвенных потерь, также не проведено сопоставление расчетных значений. Целью данного исследования является сравнительная (расчетная по моделям) оценка среднегодовых почвенных потерь от ливневых осадков для пахотных земель. Исследование проведено для территории бассейна реки Сейм Губкинского района Белгородской области. Потенциальные почвенные потери рассчитаны по наиболее распространенным эрозионным моделям. Расчет факторов эрозии осуществлен с применением технологий пространственного анализа с использованием геоинформационных систем (*ArcGIS, QGIS*). Выполненные оценки по одной и той же территории, но разными методами потенциальных почвенных потерь изменяются от 3,5–5,4 т/га до 6,0–7,0 т/га, что объясняется различными входными параметрами в формулах расчета, в частности значениями фактора рельефа, гидрофизических параметров и поправками на эродируемость почв.

Ключевые слова: поверхностный смыв, *USLE*, почвенные потери, геопространственный анализ, водная эрозия почв

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Григорьева О.И. 2025. Сравнительная оценка моделей определения поверхностного смыва почв (на уровне речного бассейна). Региональные геосистемы, 49(3): 548–560. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-548-560 EDN: SBFZUV

Comparative Evaluation of Models for Determining Surface Soil Erosion (at the River Basin Level)

Olesya I. Grigoreva

Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
grigoreva_o@bsuedu.ru

Abstract. In foreign practice, many empirical and physically based models are used to assess water erosion processes, which is necessary for organizing anti-erosion measures in agricultural areas. At the same time, there is no generally accepted model for calculating soil erosion in Russia, and no estimated values have been compared. This article presents the results of a comparative assessment of average annual soil losses caused by heavy rainfall in the arable lands of the Seym river basin in the Gubkinsky

© Григорьева О.И., 2025

district of the Belgorod Region. Potential soil losses were calculated using the most common erosion models. The calculation of erosion factors was carried out using spatial analysis technologies and geoinformation programs (*ArcGIS, QGIS*). During the study, we assessed potential soil losses in the same area using various methods. We found that average annual estimated values ranged from 3.5 t/ha to 7.0 t/ha, which is explained by differences in the input parameters in the calculation formulas, in particular, landscape specifics, hydrophysical parameters, and various degrees of soil erodibility.

Keywords: surface runoff, USLE, soil losses, geospatial analysis, soil erosion by water

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Grigoreva O.I. 2025. Comparative Evaluation of Models for Determining Surface Soil Erosion (at the River Basin Level). *Regional Geosystems*, 49(3): 548–560 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-548-560 EDN: SBFZUV

Введение

На протяжении многих лет проблеме развития эрозии почв уделяется огромное внимание как на международной арене, так и российскими учеными. Среди отечественных ученых значительный вклад в становление и развитие эрозиоведения внесли С.С. Соболев, Н.И. Маккавеев, М.Н. Заславский, Г.И. Швебс, Г.П. Сурмач, Г.А. Ларионов, М.С. Кузнецов, В.Н. Голосов, О.П. Ермолаев, А.П. Жидкин.

Благодаря значительному вкладу в многолетние исследования водной эрозии почв, были определены [Лисецкий и др., 2012] новые подходы к математическому моделированию эрозионных и почвообразовательных процессов, обоснованию рационального использования эрозионно опасных земель.

Эмпирические модели [Иванов, 1975; Сурмач, 1992] построены на зависимости смыва от слоя стока. Проведенная проверка этих данных показала, что эти модели сильно завышают смыв, а модель ГГИ дает заниженные результаты [Ларионов, 1993]. В модели ГГИ [Инструкция по определению..., 1979] не учитывается основной фактор эрозии – форма и длина склона, а также величина уклона. Г.А. Ларионов [1993] выделил основной недостаток модели ГГИ в том, что функция длины склона представлена в нечетко выраженным виде, тем самым исключая возможность использования ее для проектирования противоэрзационных мер, а замещение специального параметра – длины склона на параметры, зависящие от типа ручейковой сети, делает использование подобной формулы для противоэрзационного землеустройства весьма ограниченным [Лисецкий и др., 2012].

Вычисление объема смыва почвы на склонах сложной формы на основе универсального уравнения почв легло в основу расчета потери почвы со всего склона в практике противоэрзационного проектирования в бывшем Советском Союзе.

Оценка смыва эмпирическими формулами как средство аналитического обобщения количественных законов процесса является более совершенным приемом, учитывающим все основные факторы, применяемые при проектировании противоэрзационных мероприятий.

При решении задач землеустройства и выбора противоэрзационных мероприятий модель смыва должна отражать в явном виде определенный набор факторов. Учитывая, что фактор рельефа в эрозионных моделях является определяющим, различными авторами модифицировались формулы путем применения дополнений исходя из условий протекания опытного процесса и поставленных задач, аналитические записи рельефных функций принимали отличное от исходного выражение. Анализ вариантов рельефных функций, проведенный в работе [Лисецкий, Половинко, 2012], показал, что при длинных склонах, характерных в том числе и для агроландшафтов Белгородской области, близкие по значениям результаты показали формулы, предложенные [Wischmeier, Smith, 1978; Morgan, 1979; McCool, 1994].

Для условий ЦЧР также применима методика, разработанная коллективом авторов в лаборатории моделирования эрозионных процессов ВНИИЗиЗПЭ [Сухановский, Пискунов, 2007]. Как показывают многолетние опыты, применяемый в данной методике подход обеспечивает достаточную степень защиты почвенного покрова в сочетании с экономически целесообразными затратами на противоэрозионные мероприятия.

Проанализировав значимый объем многолетних исследований в области расчета смыва почв, автор приходит к выводу, что для решения задач, стоящих в настоящее время перед сектором управления агропромышленным комплексом, а именно – достижения продовольственной безопасности страны, а значит производства продукции растениеводства при одновременном сохранении (воспроизводстве) почвенного плодородия, подходит использование универсального уравнения почвенной эрозии США (USLE), адаптированного Г.А. Ларионовым для условий ЦФО, и уравнения расчета средней многолетней интенсивности ливневой эрозии [Герасименко, Кумани, 2000]. Для сравнения были осуществлены расчеты объема смыва почв по модели дождевой эрозии почв [Сухановский, Пискунов, 2007].

Учитывая, что при снеготаянии доля потерь почвы минимальна [Ларионов, 1993] и основной объем смытого с водосбора материала формируется в период ливневого стока [Голосов и др., 2022], в нашем исследовании мы взяли в работу только модули смыва ливневой эрозии.

Объект и методы исследования

Расчеты почвенных потерь производили на территорию бассейна реки Сейм в пределах Губкинского района Белгородской области (рис.1).

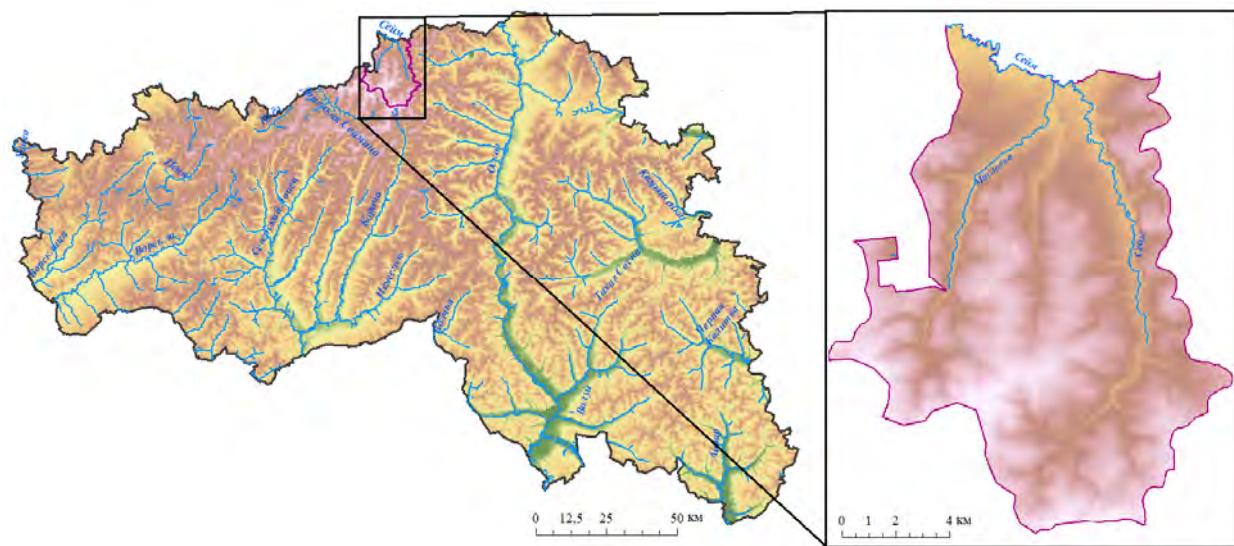


Рис. 1. Расположение бассейна реки Сейм в пределах Белгородской области

Fig. 1. Location of the Seym River basin in Belgorod region

Общая площадь бассейна в границах области составляет 27500 км², длина реки – 255,2 км, однако с конца XVIII в. она сократилась на 22 % [Лисецкий и др., 2012]. Сокращение речной сети связано прежде всего с резким уменьшением облесенности территории, поступлением в речную сеть наносов с распаханных водосборов и зарегулированием стока.

По результатам анализа крупномасштабной топокарты установлено, что наибольшую площадь бассейна занимают территории с уклоном менее 3°. Имеющиеся пашни на склонах более 5° необходимо учитывать при организации землестроительных действий, направленных на решение проблем водной эрозии. Процессам эрозии подвержены 42 % почв пашни бассейна.

Ведущий сельскохозяйственный производитель на территории бассейна – ОАО «РусАгроГ» – имеет свекловично-зерновое направление. Применение на склоновых землях пропашных культур может привести к значительным почвенным потерям, поэтому очень важно организовать правильную концепцию противоэрозионных мероприятий, основанных на бассейновых принципах. На исследуемую территорию не были разработаны проекты бассейнового природопользования и, соответственно, не осуществлялась оценка экологического состояния агроландшафтов бассейна.

Таким образом, бассейн реки Сейм привлекателен для разработки научно обоснованного проекта бассейнового природопользования, содержащего меры по рациональному использованию земель, спроектированные на основе данных о количественном и территориальном определении почвенных потерь от водной эрозии.

При расчете эрозионных потерь почвы автором учтено существующее размещение лесопокрытых территорий на пашне, так как под ними смыт практически отсутствует [Ермолов, 1992].

Хорошо известное универсальное уравнение потерь почвы (*USLE*) использовано в виду того, что оно одно из наименее требовательных к составным факторам эрозии, которые были разработаны и широко применимы в различных масштабах. Хотя уравнение имеет много недостатков и ограничений, оно широко используется из-за своей относительной простоты и надежности [Desmet, Govers, 1996] и определяется по формуле [Wischmeier, Smith, 1978]:

$$W = 0,224R \times K \times LS \times C \times P, \quad (1)$$

где W – среднегодовые почвенные потери от ливневых осадков, т/га в год; R – эрозионный потенциал ливневых осадков максимальной 30-минутной интенсивности, усл. ед.; K – фактор эродируемости почв, т/га на единицу эрозионного потенциала осадков; LS – фактор рельефа, усл. ед.; C – эрозионный индекс культуры или севооборота, усл. ед.; P – коэффициент почвозащитной эффективности противоэрозионной меры, усл. ед.

Эрозионный потенциал осадков R для формулы (1) рассчитан по формуле [Wischmeier, Smith, 1978; Renard et. al., 1997] как произведение кинетической энергии дождевых капель, выпавших за дождь на площади в один гектар, на 30-минутную максимальную интенсивность этого дождя. Значения R -фактора, представленного на геопортале «Речные бассейны Европейской России» [Геопортал..., 2025], были использованы для моделирования в данной работе.

Фактор эродируемости почв K зависит от гранулометрического состава почвы, содержания гумуса, структуры и водопроницаемости почвы. K -фактор был рассчитан на основе параметров основных типов почв Белгородской области [Соловиченко, Тютюнов, 2013] по формуле [Wischmeier, Smith, 1978; Renard et. al., 1997]:

$$K = \{[2.1 \times (Ms \times (100-Mc))^{1.14} \times (10^{-4}) \times (12-a)] + [3.25 \times (b-2)] + [2.5 \times (c-3)]\} / 100, \quad (2)$$

где Ms – содержание фракций 0,1–0,05 мм, %; Mc – содержание фракций < 0,05 мм, %; a – содержание гумуса, %; b – класс структуры почвы; c – класс водопроницаемости почвы.

Фактор рельефа LS рассчитывали по формуле [Wischmeier, Smith, 1978]:

$$LS = (\lambda / 72.6)^m \times [65.41 \times \sin^2(\alpha) + (4.56 \times \sin(\alpha) + 0.065)], \quad (3)$$

где L – длина склона, м; S – уклон, %; m – показатель степени, равный 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 при уклонах < 1; 1–3; 3–5 и > 5 %.

Коэффициент покрытия и рационального использования (C) определяется как отношение потерь почвы с участка, занятого растительным покровом к потерям почвы на поле, находящегося под паром [Wischmeier, Smith, 1978].

Для территории Белгородской области в работе [Буряк и др., 2023] рассчитан среднегодовой *C-фактор*, полученный по результатам дешифрирования посевных площадей с использованием среднегодовых значений вегетационного индекса *NDVI* с применением формулы:

$$C = \exp[\alpha \cdot (NDVI / \beta - NDVI)], \quad (4)$$

где α и β – безразмерные параметры, детерминирующие форму кривой *NDVI* по отношению к коэффициенту *C*, со значениями 2 и 1 соответственно.

При расчете среднегодовых почвенных потерь от ливневых осадков по формуле (1) мы не учитывали корректировку на средневзвешенный коэффициент *C*, введенный в работе [Буряк и др., 2023] и рассчитанный по данным структуры посевных площадей Белгородской области, так как сведения данной структуры рассчитаны как средние для районов значения, то применение этих поправок для расчета *C-фактора* в формуле (1) приводит к завышенным значениям среднегодовых почвенных потерь.

Коэффициент *P* в формуле (1) учитывает методы управления, которые влияют на эрозию почвы, такие как оконтуривание, террасирование [Renard et al., 1997]. Чем эффективнее природоохранные мероприятия по предотвращению эрозии почвы, тем ниже коэффициент *P* [Bagherzadeh, 2014]. Учитывая отсутствие четкой градации для определения коэффициента *P*, в своей работе мы применили значение, равное 1,0.

Несмотря на то, что коэффициент *P* обычно игнорируется в расчетах почвенных потерь, в ряде исследований сообщается о возможных коэффициентах *P* для различных видов обработки почвы [David, 1988.; Panagos et al., 2015]. Результаты наблюдений за стоком воды и наносов [Голосов, 2006] показали, что темпы смыва с зяби и озимых на ложбинно-потяжинных водосборах практически на порядок превышают темпы смыва на обычных водосборах. Таким образом, влияния коэффициентов *C* и *P* существенны и подлежат детальному изучению. При надлежащих масштабах и достаточном знании методов ведения сельского хозяйства использование этих коэффициентов может привести к более точной оценке почвенных потерь.

В результате получены значения среднегодового объема смыва почв в бассейне – 7,0 т/га, высокая эрозионная опасность наблюдается для склонов крутизной более 5° и величиной почвенных потерь – 11–13 т/га в год.

Применение адаптированной для условий Европейской России эмпирической модели для расчета среднегодовых почвенных потерь от ливневых осадков [Ларионов, 1993] на территорию Белгородской области показано в работе [Буряк и др., 2023]. Существенным отличием от универсального уравнения выступают фактор рельефа *LS*, а также фактор эродируемости почв *K*. Фактор рельефа *LS*, рассчитанный по формуле [Ларионов и др., 1998], учитывает не только длину и уклон, но и форму склона, а также поправку на эродируемость. В расчет фактора эродируемости почв *K* по формуле (1), адаптированной для условий России [Ларионов и др., 1998], введены параметры, зависящие от каменистости и щебнистости почв. Расчеты с данными вариациями, составляющими универсальное уравнение, показали среднегодовую расчетную величину потенциальных почвенных потерь $3,5 \pm 0,3$ т/га [Буряк и др., 2023]. В этой же работе отмечено, что высокая эрозионная опасность характерна также для склонов крутизной более 5° и средней величиной почвенных потерь на таких землях, равной 13 т/га в год.

Методика расчета почвенных потерь от ливневой эрозии, предложенная коллектиком авторов ВНИИЗиЗПЭ под руководством В.П. Герасименко, при которой среднегодовой объем почвенных потерь (т/га) рассчитывается как:

$$W = P \times i \times L \times \sin \alpha \times \pi \times S \times \lambda \times C \times K_n, \quad (6)$$

где *P* – коэффициент, зависящий от степени увлажнения территории, усл. ед.; *i* – 30 минутная интенсивность ливней 50 %-ной обеспеченности для территории опытных водо-

сборов, мм/мин; L – расстояние от водораздела до створа, для которого определяется смыв почвы, м; $\sin \alpha$ – синус угла наклона в радианах на расстоянии L от водораздела; π – коэффициент, учитывающий влияние на смыв профиля склона; S – показатель, характеризующий влияние типа (подтипа) почвы на эрозию; λ – коэффициент, отражающий влияние на эрозионные процессы степени эродированности пашни, усл. ед.; C – параметр, зависящий от вида агрофона в вегетационный период, усл. ед.; K_n – коэффициент снижения смыва применяемыми почвозащитными агротехническими или гидромелиоративными приемами на пашне, усл. ед.

Модель учитывает основные факторы, влияющие на эрозию, которые легко рассчитываются с применением блоков морфометрического и гидрологического анализа, а также алгебры карт геоинформационных программ *ArcGIS* и *QGIS*. В результате вычислений получены среднегодовые потенциальные почвенные потери с пашни в объеме 5,4 т/га. В данной модели, на наш взгляд, применение единого коэффициента агрофона (C) на всю территорию некорректно, так как отмечается высокое влияние данного коэффициента на величину смыва почвы.

Выше описаны решения по расчету объема смыва почв, осуществленные по эмпирическим моделям, основанным на универсальном или подобным нему уравнениях, а в качестве сравнения мы приведем расчет по гидрофизической модели, разработанной Ю.П. Сухановским и А.Н. Пискуновым. Данная модель выбрана по причине ее апробации на территории, смежной с исследуемой.

Уравнение отрыва почвенных частиц при выпадении единичного дождя имеет вид (7):

$$W = a_0 A_r (H - H_{cr})^{0.4} (M - M_{cr})^{0.6}, \quad (7)$$

$$A_r = C_1 R_{eff}^{2.5} \frac{\rho_a D_a^{4/3} \sin \alpha^{7/10}}{V_{cr1}^{1.5}} * \left(\frac{m_k}{n} \right)^{7/5}, \quad (8)$$

где W – почвенные потери от ливневых осадков ($\text{кг}/\text{м}^2$); a_0 – коэффициент, зависящий от гидрографа, усл. ед.; H – слой дождя, м; H_{cr} – слой дождя до начала стока, м; M – объем стока, нормированный на единицу ширины склона, м^2 ; M_{cr} – критический объем стока, при котором начинается отрыв частиц, м^2 ; R_{eff} – эффективный радиус воздействия удара капель на поверхностный поток, усл. ед.; ρ_a – средняя плотность отрываемых частиц, $\text{кг}/\text{м}^3$; D_a – средний диаметр отрываемых частиц, м; α – угол наклона поверхности; V_{cr1} – первая критическая скорость потока, м/сек; m_k – коэффициент, учитывающий ручейковый характер поверхностного потока, усл. ед.; n – коэффициент Маннинга.

Значения характеристик слоя дождя и объема стока на территорию бассейна реки Сейм Губкинского района взяты из открытого источника на геопортале «Речные бассейны Европейской России» [Геопортал ..., 2025]. Значения почвенных показателей применены на основе параметров основных типов почв Белгородской области [Соловиченко, Тютюнов, 2013]. Принимая во внимание, что для почв с плотностью сложения 1,2 $\text{г}/\text{см}^3$ можно не учитывать силы сцепления между почвенными агрегатами [Кузнецов, 1981], для критической скорости Ю.П. Сухановским предлагается использовать уравнение Ц.Е. Мирцхулавы [Мирцхулава, 1971]. В данной работе применено уравнение Ц.Е. Мирцхулавы в модификации М.С. Кузнецова.

Остальные параметры были вычислены расчетным путем с применением технологий пространственного анализа с использованием геоинформационных систем.

Результаты и их обсуждение

Сопоставление результатов оценки почвенных потерь от ливневой эрозии осуществлено в программном комплексе *ArcMap* (рис. 2), а также импортированы в *Excel* для осуществления расчетов процентного соотношения распределения пашни по эрозионным потерям.

В результате проведенной работы расчеты показали расхождения значений среднегодового модуля потерь почвы от ливневых дождей. Среднегодовые потенциальные почвенные потери с пашни составили по модели *USLE* – 7,0 т/га, по адаптированной для условий России эрозионной модели *USLE* [Ларионов, 1993] – 3,5 т/га, по модели, разработанной коллективом авторов ВНИИЗиЗПЭ [Герасименко, Кумани, 2000], – 5,4 т/га, по модели [Сухановский, Пискунов, 2007] – 6,0 т/га.

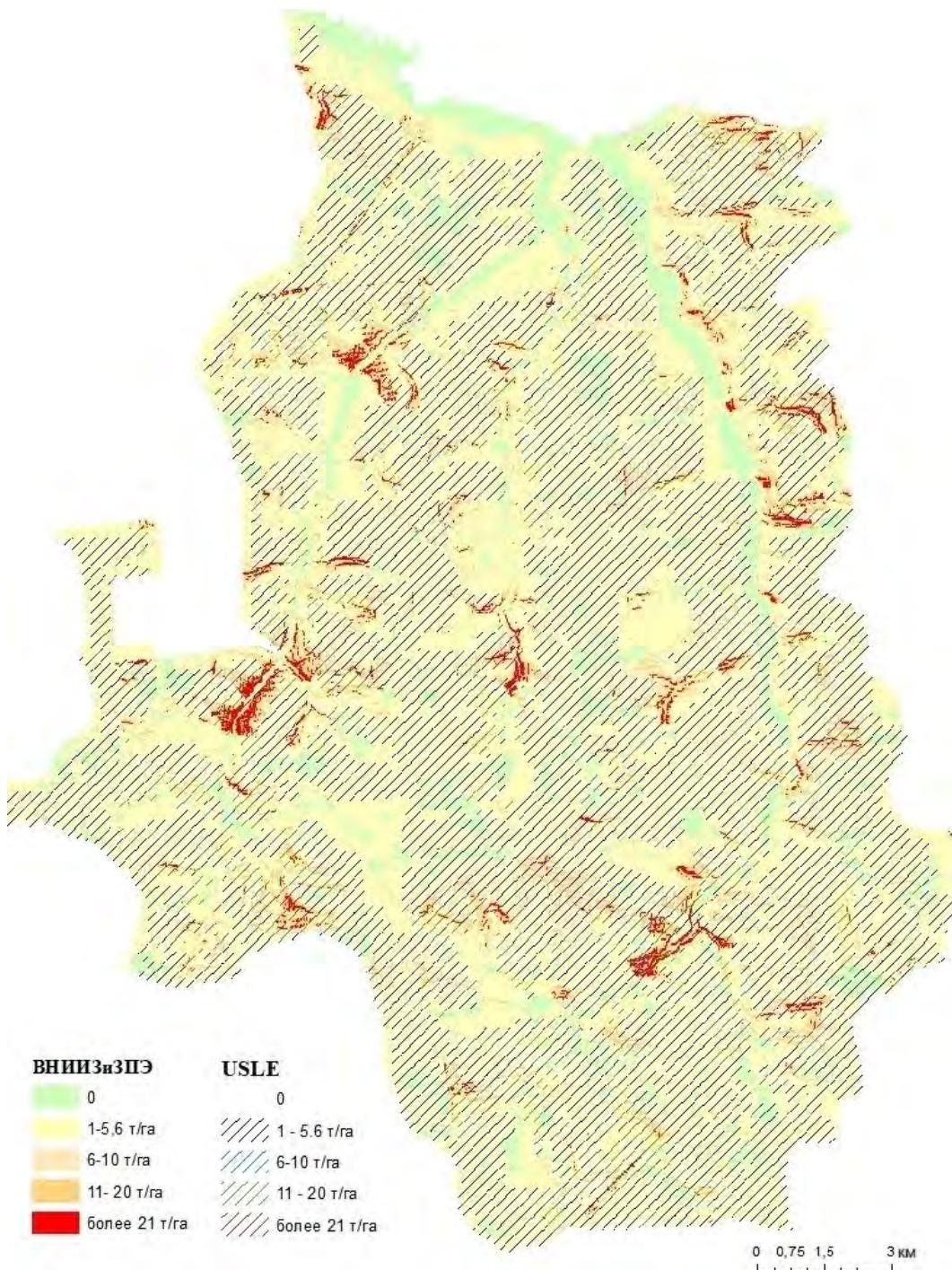


Рис. 2. Растр потенциальных эрозионных потерь почв от ливневой эрозии на пахотных землях бассейна реки Сейм Губкинского района

Fig. 2. Raster of potential soil erosion losses from storm erosion on arable lands in the Sejm River basin of the Gubkinsky District

Для сравнения результатов работ в данном исследовании за предельную величину смыва почвы с пара принимали значения, исходя из допустимых норм эрозии. По обобщенным оценкам для сельскохозяйственных угодий Белгородской области допустимая норма эрозии составляет 4,5–5,6 т/га в год [Марциновская, 2011; Спесивый, Лисецкий, 2014].

Анализ значений, полученных в результате расчетов (таблица), а также картограммы, построенной по значениям смыва почв от составляющих факторов (рис. 3), показал, что на большей части бассейна (более 80 %) модуль смыва находится в диапазоне 0–5,6 т/га, при этом схожие расчетные результаты дают формулы Ларионова Г.А. и коллектива авторов ВНИИЗиЗПЭ – Герасименко В.П. и Кумани М.В., Сухановского Ю.П. и Пискунова А.Н. Закономерности, полученные по этим формулам, показывают, что часть земель подвергается слабым, умеренным и средним эрозионным процессам, а на склонах балок отмечается сильная эрозия более 20 т/га в год. При этом, проведенные по этим методикам расчеты, свидетельствуют, что доля смыва почв в объеме более 10 т/га отличается на 1,8 %. При сопоставлении растров потенциальных эрозионных потерь почв от ливневой эрозии, рассчитанных по формулам (1), (6), (7) и [Ларионов, 1993] (см. рис. 3) отмечено, что расхождения в итоговых значениях смыва почв зафиксированы на склоновых землях. Расхождение в объеме смыва почвы наблюдается на склонах разных экспозиций и углах наклона: 1–2° в объеме 1–2 т/га; на склонах 2–3° – 3–5,6 т/га, на склонах 3–5° – 5,2–10 т/га, на склонах > 5° – более 10 т/га. Данный факт необходимо учитывать при проектировании противоэрзионных мероприятий.

Объем среднегодовых почвенных потерь от ливневой эрозии
в бассейне реки Сейм Губкинского района Белгородской области
Average annual soil losses from storm erosion in the Seym River basin
of the Gubkinsky District of the Belgorod Region

Модели	Среднегодовой объем смыва почвы, т/га	Распределение пашни по эрозионным потерям (т/га в год), %				
		0–5,6	5,6–10	10–20	20–50	> 50
USLE, [Wischmeier, Smith, 1978]	7,0	82	8,7	6,4	2,4	0,5
Ларионов [1993]	3,5	86	8		6	
Герасименко, Кумани [2000]	5,4	85,5	10,3	3,5	0,65	0,05
Сухановский, Пискунов [2007]	6,0	85,1	9,8	3,8	1,1	0,2

Виду того, что расчет факторов, составляющих универсальное уравнение USLE, осуществляли по формуле, предложенной ее авторами, но не адаптированным для территории европейской части России, итоговые результаты размера почвенных потерь показали значительные расхождения с результатами, полученными при применении формул (6), (7) и [Ларионов, 1993].

Для всех рассмотренных формул расчета среднегодовых почвенных потерь от ливневой эрозии отмечена высокая доля зависимости от фактора агрофона. Поэтому при расчете по этим моделям смыва почв необходимо детальное рассмотрение растительного покрова, в том числе по культурам и fazам развития растений. Данный фактор учтен в формуле Сухановского Ю.П. и Пискунова А.Н., но лишь в ограниченном количестве коэффициентов, характерных для узкого типа агрофона.

Стохастическая модель дождевой эрозии почв, описанная в работе Сухановского Ю.П. и Пискунова А.Н сложна в применении в региональном масштабе ввиду наличия факторов, требующих алгебраических вычислений, а также отсутствия точных значений входящих в модель параметров на всю территорию как бассейнов рек, так и муниципальных образований. Данная модель хорошо применима в границах участков сельскохозяйственных полей, что доказано в работе [Сухановский, Пискунов, 2007]. Модель USLE и

адаптированная для условий Европейской России модель [Ларионов, 1993] показали простоту применения в геоинформационной среде, но также требуют верификации входящих параметров. Характерные для склонов более 5° объемы смыва почв в пределах 11–13 т/га показали различные итоги при расчете используемых моделей. Так, в пределах бассейна доля пахотных земель, на которых наблюдается смыв пашни в объеме более 10 т/га, рассчитанная по формуле *USLE*, отличается от значений, рассчитанных по другим приведенным выше формулам почти в 2 раза. Это свидетельствует о необходимости применения в конкретных условиях моделей, располагающих входными параметрами, соответствующими условиям исследуемой территории.

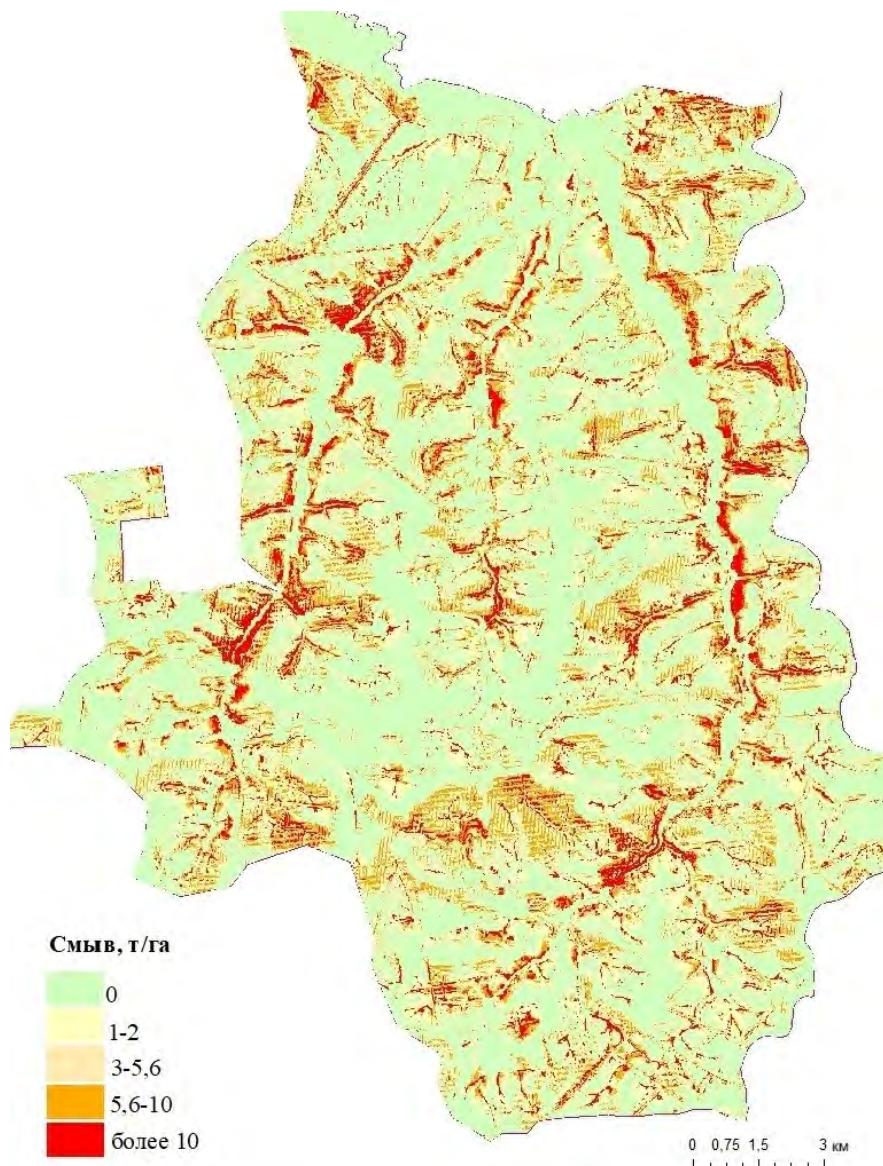


Рис. 3. Растр расхождения в результатах расчета потенциальных эрозионных потерь почв
Fig. 3. Raster of discrepancies in the calculation of potential soil erosion losses

Заключение

Результаты расчетов среднегодовых потенциальных почвенных потерь с пашни, выполненные на исследуемой территории водосборного бассейна, изменяются от 3,5 т/га до 7,0 т/га, что объясняется различными входными параметрами для формул расчета и введением дополнительных критериев оценки.

Эрозионная модель USLE в редакции Г.А. Ларионова адаптирована для условий европейской части России. Применение в этой модели дополнительных совокупных морфометрических данных рельефа, поправок на эродируемость почв, показало в результате значение среднегодового смыва почв в 2 раза меньше, чем при применении модели USLE в ее первоначальном выражении. Сложность формулы состоит в большом количестве входных показателей при расчете факторов эродируемости почв и фактора рельефа, что может осложнить решение данного вопроса при отсутствии того или иного входящего параметра у исследователя. В более простом выражении представлена модель, разработанная коллективом авторов лаборатории моделирования эрозионных процессов ВНИИЗиЗПЭ Герасименко В.П. и Кумани М.В, она проста в применении и имеет численные коэффициенты, отражающие влияние на эрозионные процессы степени эродированности пашни, зависимости от вида агрофона в вегетационный период, а также зависимость от применяемых почвозащитных агротехнических или гидромелиоративных приемов на пашне, не требующие сложной геопространственной обработки. Но выполненные по данной методике расчеты показали значение среднегодовых потенциальных потерь почвы в 1,5 раза выше, чем рассчитанные по модели USLE, адаптированной Ларионовым Г.А., поэтому требуется дополнительное изучение степени влияния составляющих факторов в этих моделях на итоговые значения смыва почв.

Расчет по модели, разработанной коллективом авторов лаборатории моделирования эрозионных процессов ВНИИЗиЗПЭ Сухановским Ю.П. и Пискуновым А.Н., показал значения среднегодовых потенциальных потерь в объеме 6,0 т/га. Модель также удобна в применении, так как в отличие от предыдущих формул, где за эрозионный фактор дождя принимается потенциал ливневых осадков максимальной 30-минутной интенсивности, выраженный в условных единицах, здесь учитывается расширенный ряд гидрофизических параметров, от которых зависит объем почвенных потерь. Учитывая, что значения среднегодовых потерь почвы, рассчитанные по модели (7), и модели Ларионова Г.А. близки, также требуется дополнительное изучение степени влияния составляющих факторов на итоговый результат модели.

Рассмотренные в исследовании модели показали, что объем среднегодовых почвенных потерь от ливневой эрозии существенно зависит от набора различных входящих параметров. Поэтому применение в агроландшафтах бассейнов рек противоэрозионных мероприятий только на основе ограниченного выбора морфометрических характеристик рельефа может привести к некорректным управлеченческим решениям, что повлечет к негативным экономическим и экологическим последствиям.

Также, учитывая, что в рассмотренных моделях фактор агрофона представлен единственным коэффициентом на всю исследуемую территорию, то в перспективе необходимо дополнительное изучение степени его влияния и введение в модель фактора, полученного на основе индексов землепользования, рассчитанных для пахотных земель по методике типизации земельного покрова.

Список литературы

- Геопортал «Речные бассейны Европейской России». Электронный ресурс. URL: <https://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения: 02 июля 2025).
- Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР. 1979. Л., Гидрометеоиздат, 62 с.
- Методические указания по проектированию противоэрозионной организации территории при внутрихозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии. 1989. Под ред. Карцева Г.А., Луки А.Н., Носова С.И. и др. М., 79 с.
- Сухановский Ю.П., Пискунов А.Н. 2007. Модель с программным обеспечением для прогнозирования дождевой эрозии для пахотных земель. Курск, ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 20 с.

Список литературы

- Буряк Ж.А., Нарожняя А.Г., Маринина О.А. 2023. Эрозионная опасность пахотных земель Белгородской области. Региональные геосистемы, 47(1): 101–115. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-101-115>
- Герасименко В.П., Кумани М.В. 2000. Рекомендации по регулированию почвенно-гидрологических процессов на пахотных землях. Курск, ВНИИЗиЗПЭ, 108 с.
- Голосов В.Н. 2006. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М., ГЕОС, 296 с.
- Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И., Осипова М.С., Иванова Н.Н., Иванов М.М. 2022. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область). Почвоведение, 10: 1321–1338. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22100045>.
- Ермолаев О.П. 1992. Пояса эрозии в природно-антропогенных речных ландшафтах речных бассейнов. Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 148 с.
- Иванов А.Л. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконакова Е.А., Каштанов А.Н. 2020. Карта агрогенной эродированности почв России. Доклады Российской академии наук. Науки о земле, 493(2): 99–102. <https://doi.org/10.31857/S2686739720080095>
- Иванов В.Д. 1975. Оценка влияния экспозиции склона на сток талых вод и смыв почвы. Почвоведение, 10: 78–82.
- Кузнецов М.С. 1981. Противоэрзионная стойкость почв. М., Изд-во МГУ, 135 с.
- Ларионов Г.А. 1993. Эрозия почв и дефляция: основные закономерности и количественные оценки. М., Изд-во МГУ, 200 с.
- Ларионов Г.А. Добровольская Н.Г., Краснов С.Ф., Лю Б.Ю., Неринг М.А. 1998. Теоретико-эмпирическое уравнение фактора рельефа для статистических моделей водной (дождевой) эрозии. В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. М., Макс-Пресс Москва: 25–44.
- Лисецкий Ф.Н., Половинко В.В. 2012. Эрозионные катены на земляных фортификационных сооружениях. Геоморфология, 2: 65–78.
- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. 2012. Современные проблемы эрозиоведения. Белгород, Константа, 456 с. <https://doi.org/10.13140/2.1.1029.9682>
- Марциновская Л.В. 2011. Определение допустимых эрозионных потерь почвы для уровня административных районов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 10–1: 10–13.
- Мирцхулава Ц.Е. 1971. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М., Колос, 239 с.
- Смирнова Л.Г., Нарожняя А.Г., Шамарданова Е.Ю. 2012. Сравнение двух методов расчета смыва почвы на водосборах с применением ГИС-технологий. Достижения науки и техники АПК, 9: 10–12.
- Соловиченко В.Д., Тютюнов С.И. 2013. Почвенный покров Белгородской области и его рациональное использование. Белгород, Отчий край, 371 с.
- Спесивый О.В., Лисецкий Ф.Н. 2014. Оценка интенсивности и нормирование эрозионных потерь почвы в Центрально-Черноземном районе на основе бассейнового подхода и современных геоинформационных технологий. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки, 10(181): 125–132.
- Сурмач Г.П. 1992. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрзионные мероприятия. Волгоград, Б. и., 175 с.
- Сурмач Г.П. 1985. О допустимых нормах эрозии и классификации почв по смытости. Почвоведение, 7: 103–111.
- Bagherzadeh A. 2014. Estimation of Soil Losses by USLE Model Using GIS at Mashhad Plain, Northeast of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 7: 211–220. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0730-3>, 2014
- David W.P. 1988. Soil and Water Conservation Planning: Policy Issues and Recommendations. Journal of Philippine Development, 15: 47–84.
- Desmet P.J.J., Govers G. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. Journal of soil and water conservation, 51(5): 427–433. <https://doi.org/10.1080/00224561.1996.12457102>
- McCool D.K., Renard K.G., Foster G.R. 1994. The Revised Universal Soil Loss Equation. Proceedings of an International Workshop on Soil Erosion. In: The Center for Technology Transfer and Pollution Prevention, Purdue University. USA, West Lafayette: 45–59.

- Morgan R.P.C. 1979. Soil Erosion. London, New York, Longman, 113 p.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. 2015. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, 5(2): 117–126. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>.
- Renard K., Foster G., Weesies G., McCool D., Yoder D. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook*, 703: 65–100. <https://doi.org/10.1201/9780203739358-5>.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. United States, Department of Agriculture, Agriculture handbook, 58 p.
- Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostál T., Yurova A., Komissarov M., Krásá J. 2022. A Detailed Reconstruction of Changes in the Factors and Parameters of Soil Erosion Over the Past 250 Years in the Forest Zone of European Russia (Moscow Region). *International Soil and Water Conservation Research*, 10: 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.003>

References

- Buryak Zh.A., Narozhnyaya A.G., Marinina O.A. 2023. Erosion Risk of Arable Land in the Belgorod Oblast. *Regional Geosystems*, 47(1): 101–115 (in Russian) <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-101-115>.
- Gerasimenko V.P., Kumani M.V. 2000. *Rekomendatsii po regulirovaniyu pochvenno-gidrologicheskikh protsessov na pakhotnykh zemlyakh* [Recommendations for Regulating Soil and Hydrological Processes on Arable Lands]. Kursk, Publ. VNIZiZPE, 108 p.
- Golosov V.N. 2006. *Erosionno-akkumulyativno protsessy v rechnykh basseinakh osvoennykh ravnin* [Erosion and Accumulation Processes in the River Basins of Developed Plains]. Moscow, Publ. GEOS, 296 p.
- Golosov V.N., Zhidkin A.P., Petel'ko A.I., Osipova M.S., Ivanova N.N., Ivanov M.M. 2022. Field Verification of Erosion Models Based on the Studies of a Small Catchment in the Vorobzha River Basin (Kursk Oblast, Russia). *Eurasian Soil Science*, 55(10): 1508–1523 (in Russian).
- Ermolaev O.P. 1992. *Poyasy erosii v prirodno-antropogenykh rechnykh landshaftakh rechnykh basseinov* [Erosion Belts in Natural and Anthropogenic River Landscapes of River Basins]. Kazan, Publ. Kazanskiy (Privolzhskiy) federalnyy universitet, 148 p.
- Ivanov A.L. Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Kashtanov A.N. 2020. Map of Anthropogenic Soil Erosion of Russia. *Doklady Earth Sciences*, 493(2): 654–657 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1028334X20080097>
- Ivanov V.D. 1975. *Otsenka vliyaniya ekspozitsii sklona na stok talykh vod i smyv pochvy* [Estimation of the Influence of Slope Exposure on Runoff of Meltwater and Soil Erosion]. *Pochvovedeniye*, 10: 78–82.
- Kuznetsov M.S. 1981. *Protivoerosionnaya stoikost pochv* [Anti-Erosion Resistance of Soils]. Moscow, Publ. MSU, 135 p.
- Larionov G.A. 1993. *Erosia i deflyatsiya pochv osnovnyye zakonomernosti i kolichestvennyye otsenki erosionnogo potentsiala dozhdevykh osadkov* [Water and Wind Erosion: Main Features and Quantitative Assesment]. Moscow, Publ. MSU, 200 p.
- Larionov G.A., Dobrovolskaya N.G., Krasnov S.F., Liu B.Yu., Nering M.A. 1998. *Teoretico-empiricheskoye uravnenye factore relyefa dlya statisticheskikh madeley vadnoy (dozhdevoy) erozii* [Theoretical and Empirical Equation of the Relief Factor for Statistical Models of Water (Rainfall) Erosion]. In: *Erosia pochv i ruslovye protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Max-Press Moscow: 25–44.
- Lisetsky F.N., Polovinko V.V. 2012. Erosion Catenas on Earthen Fortifications. *Geomorfologiya*, 2: 65–78 (in Russian).
- Lisetsky F.N., Svetlichnyi A.A., Chernyi S.G. 2012. Recent Developments in Erosion Science. Belgorod, Publ. Konstanta, 456 p. (in Russian). <https://doi.org/10.13140/2.1.1029.9682>.
- Marcinevskaya L.V. 2011. Determination of Soil Loss Tolerance for the Level of Administrative Districts. *International journal of applied and fundamental research*, 10(1): 10–13 (in Russian).
- Mirtskhulava Ts.E. 1971. *Inzhenernye metody rascheta I prognoza vodnoi erosii* [Engineering Methods of Calculation and Prediction of Water Erosion]. Moscow, Publ. Kolos, 239 p.

- Smirnova L.G., Narozhnyaya A.G., Shamardanova E.Yu. 2012. Comparison of Two Methods of Soil Ablation Calculation in Catchments with GIS Technology. Achievements of Science and Technology of AIC, 9: 10–12 (in Russian).
- Solovichenko V.D., Tyutyunov S.I. 2013. Pochvennyy poerov Belgorodskoy oblasti i ego ratsionalnoye ispolzovaniye [Soil Cover of the Belgorod Region and Its Rational Use]. Belgorod, Publ. Otchiiy Krai, 371 p.
- Spesiv O.V., Lisetskii F.N. 2014. Estimate of the Intensity and Regulation of Erosion Soil Losses in Central Chernizem Region Based on the Basin Approach. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 10(181): 125–132 (in Russian).
- Surmach G.P. 1992. Reliefobrasovanie, formirovanie lesostepi, sovremennaya erosia i protivoerosionnie meropriyatiya [Relief Formation, Forest-steppe Formation, Modern Erosion, and Anti-erosion Measures]. Volgograd, Publ. B. i, 175 p.
- Surmach G.P. 1985. O dopustimykh normakh erozii i klassifikatsii pochv po smytosti [On the Permissible Rates of Erosion and Soil Classification by Erodibility]. Pochvovedeniye, 7: 103–111.
- Bagherzadeh A. 2014. Estimation of Soil Losses by USLE Model Using GIS at Mashhad Plain, Northeast of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 7: 211–220. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0730-3>, 2014
- David W.P. 1988. Soil and Water Conservation Planning: Policy Issues and Recommendations. Journal of Philippine Development, 15: 47–84.
- Desmet P.J.J., Govers G. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. Journal of soil and water conservation, 51(5): 427–433. <https://doi.org/10.1080/00224561.1996.12457102>
- McCool D.K., Renard K.G., Foster G.R. 1994. The Revised Universal Soil Loss Equation. Proceedings of an International Workshop on Soil Erosion. In: The Center for Technology Transfer and Pollution Prevention, Purdue University. USA, West Lafayette: 45–59.
- Morgan R.P.C. 1979. Soil Erosion. London, New York, Longman, 113 p.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. 2015. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. Geosciences, 5(2): 117–126. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>.
- Renard K., Foster G., Weesies G., McCool D., Yoder D. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook, 703: 65–100. <https://doi.org/10.1201/9780203739358-5>.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. United States, Department of Agriculture, Agriculture handbook, 58 p.
- Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostál T., Yurova A., Komissarov M., Krása J. 2022. A Detailed Reconstruction of Changes in the Factors and Parameters of Soil Erosion Over the Past 250 Years in the Forest Zone of European Russia (Moscow Region). International Soil and Water Conservation Research, 10: 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.003>

Поступила в редакцию 19.07.2025;
поступила после рецензирования 29.08.2025;
принята к публикации 09.09.2025

Received July 19, 2025;
Revised August 29, 2025;
Accepted September 09, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Григорьева Олеся Ивановна, старший преподаватель кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Olesya I. Grigoreva, Senior lecturer of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Социально-экономические компоненты геосистем

Socio-Economic Components of Geosystems

УДК 379.85

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-561-572

EDN UUKVDW

Использование туристического потенциала Шахдагского национального парка Азербайджана

Агакишиева Г.Р., Алиева А.М.

Институт географии им. акад. Г.А. Алиева,

Азербайджанская Республика, AZ 1143, г. Баку, пр. Гусейн Джавида, 115

guneshagakishiyeva@gmail.com, namazova.aysel.2022@gmail.com

Аннотация. Целью данной статьи является оценка туристического потенциала Шахдагского национального парка. Обсуждаются вопросы, связанные с реализацией его возможностей и развитием экотуризма. В качестве источника информации использовались статистические показатели, полученные от Государственного статистического комитета Азербайджана и Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики, нормативно-правовые базы охраняемых природных комплексов, а также различные публикационные материалы. В исследовании применялись системный, оценочный и статистический методы. Данна сравнительная характеристика параметров, имеющих большое значение для туристического потенциала, – типов ландшафта, видов, занесенных в Красную книгу, и туристических маршрутов в национальных парках Азербайджана, а также выделены 3 группы национальных парков. Учитывая, что туристические маршруты регулируют потоки туристов, в дополнение к существующим, мы предложили разработать новый маршрут «Пиргулу – Бабадаг», который охватит территорию трех – Шамахинского, Исмаиллинского и Губинского – районов. Полученные результаты могут быть использованы для развития туризма в других национальных парках Азербайджана.

Ключевые слова: Шахдагский национальный парк, туристические маршруты, экотуризм, рекреационная нагрузка, природный комплекс, виды растений и животных

Для цитирования: Агакишиева Г.Р., Алиева А.М. 2025. Использование туристического потенциала Шахдагского национального парка Азербайджана. Региональные геосистемы, 49(3): 561–572. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-561-572 EDN: UUKVDW

Using the Tourism Potential of Shahdag National Park of Azerbaijan

Gunesh R. Agakishiyeva, Aysel M. Aliyeva

Institute of Geography named after acad. H.A. Aliyev,

115 Huseyn Cavid Av, Baku AZ 1143, Republic of Azerbaijan,

guneshagakishiyeva@gmail.com, namazova.aysel.2022@gmail.com

Abstract. The article presents the results of the study aimed at assessing the tourism potential of Shahdag National Park. Issues related to the use of tourism potential and the development of ecotourism in Shahdag National Park are discussed. The sources of the study were statistical indicators obtained from the State Statistical Committee of Azerbaijan and the Ministry of Ecology and Natural Resources of the

© Агакишиева Г.Р., Алиева А.М., 2025

Republic of Azerbaijan, the regulatory framework of protected natural sites, as well as various literary materials. The research employed systemic, evaluative, and statistical methods. As landscape types, the Red Book species, and tourist routes are of great significance to the tourism potential, we provide a comparative characteristic of these parameters in the national parks of Azerbaijan. The national parks were assessed by three parameters – landscape types, species listed in the Red Book, and tourist routes, which allowed distributing them into three groups. Given that tourist routes regulate the flow of tourists, we suggested developing a new one which will cover the territory of three regions – Shamakhi, Ismailli, and Guba. The conclusions proposed may be used for developing tourism in other national parks of the country.

Keywords: Shahdag National Park, tourist routes, ecotourism, recreational load, natural complex, plant and animal species

For citation: Agakishiyeva G.R., Aliyeva A.M. 2025. Using the Tourism Potential of Shahdag National Park of Azerbaijan. Regional Geosystems, 49(3): 561–572 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-561-572 EDN: UUKVDW

Введение

В современном мире одной из быстро развивающихся отраслей экономики является вид туризма, тесно связанный с природой и ее компонентами, направленный на сохранение ее целостности, защиту и экологическую устойчивость. Такой вид туризма в силу своих функциональных особенностей сочетает в себе оздоровительную природную среду, познавательную деятельность, отдых и другие цели. Он зависит от комфортности климата, разнообразия рельефа, экспозиции склонов, экзотичности ландшафтов, уникальных памятников природы и т. д. и развивается в пределах геопарков и национальных парков [Алиева, Аскерли, 2024].

Качество окружающей среды является основой экотуризма. Поэтому, помимо бережного использования природных ресурсов, необходимо обеспечить охрану окружающей среды – ухудшение ее состояния нанесет вред как сфере туризма, так и социально-экономическому развитию региона. Следует отметить, что негативное воздействие туризма на окружающую среду проявляется небыстро, что постепенно приводит к ухудшению природных туристических ресурсов [Мамедов и др., 2002].

Экотуризм не только стимулирует развитие туризма и позволяет интегрировать его в другие сферы экономики, в этом виде туризма повышается роль функций природы и комплекса методов и приемов решения экологических проблем. В рамках экологического тура туристы смогут узнать о проблемах экологии и принимать активное участие в их решении [Имрани, Асгарли, 2023].

Поскольку развитие экотуризма и различные аспекты, связанные с ним, являются объектом широкого обсуждения, изучение этих проблем имеет большое значение. Актуально также использование национальных парков в научно-исследовательских целях. Но научная деятельность в национальном парке должна осуществляться в специальной зоне, выделенной в строгом соответствии с принятой системой охраны окружающей среды. Это дает возможность научно-исследовательским учреждениям рекомендовать темы для диссертаций докторантам и докторантам на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук в области географии, туризма и экологии.

Предметом исследования является туристический потенциал Шахдагского национального парка. Цель исследования – оценка и анализ проблем использования парка. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: определить туристический потенциал национальных парков Азербайджана; проанализировать статистические данные о количестве туристов, посетивших Шахдагский национальный парк за 2013–2021 гг., и 2010–2023 гг., дать

балльную оценку туристического потенциала национальных парков Азербайджана и выделить в этой оценке место Шахдагского национального парка; наряду с существующими разработать новые туристические маршруты.

Объекты и методы исследования

В настоящее время экотуризм может способствовать сохранению биоразнообразия и функций экосистем в развивающихся странах, хотя достичь этого чрезвычайно сложно. Для развития экотуризма необходимы следующие меры: ограничение посещения уязвимых территорий, интеграция мер образования, управления и контроля, а также увеличение доходов от посещения туристов. Положительное развитие экотуризма зависит от успешных стратегий по ограничению числа туристов, информированию и обучению как посетителей, так и местных жителей, а также от эффективного управления и контроля территории [Gossling, 1999].

Сеть особо охраняемых природных территорий является основой развития экологического туризма, возникшего как баланс между экономической выгодой, получаемой от рекреации, и экологической безопасностью зон отдыха в рамках охраны окружающей среды [Алиев, Асланов, 2011].

Организация охраняемых территорий является наиболее оптимальным вариантом охраны природного ландшафта в целом и его динамических компонентов, таких как животный мир и растительность. Хотя сеть охраняемых территорий для защиты уникальных ландшафтов и исчезающих видов фауны и флоры в Азербайджане была создана еще во времена СССР, в годы независимости она еще больше усовершенствовалась и расширилась. Историко-изобразительно-искусственным заповедником считается только Гобустанский государственный историко-художественный заповедник, другие же созданы с целью охраны природного комплекса в целом или отдельных его компонентов [Мусейибов, 1998].

В ходе исследования использовались системный метод, позволяющий наиболее эффективно изучать туристское пространство Шахдагского национального парка, затем оценочный метод, позволяющий выявить пространственную дифференциацию туристического потенциала национального парка, а также статистический метод, позволяющий анализировать посещаемость национальных парков Азербайджана.

Результаты и их обсуждение

В основу статьи положены научные труды отечественных и российских ученых, а также нормативно-правовая база особо охраняемых природных территорий и статистические данные.

В целях защиты природных комплексов и изучения природных процессов в Азербайджане созданы и функционируют особо охраняемые территории. В настоящее время в связи с реализацией требований по охране и развитию природных ресурсов Азербайджана ведется последовательная, целенаправленная и интенсивная работа в области охраны биологического разнообразия в сети особо охраняемых территорий [Солтанова, 2015].

Поскольку природная среда и отдельные элементы ландшафтов, памятники природы, флора и фауна в национальных парках Алтыагач, Шахдаг, Гиркан и Гейгель могут сохранять свое первозданное состояние, эти территории считаются более привлекательными для развития экотуризма. Развитие экотуризма на территориях национальных парков является одним из средств, способствующих охране природы, а также повышению благосостояния местного населения [Намазова, 2018].

Существующая в настоящее время в Азербайджане система особо охраняемых природных территорий играет важную роль в развитии экотуризма. По состоянию на начало 2024 года в Азербайджане функционируют 10 государственных природных заповедников, 10 национальных парков, 24 государственных природных заказников (рис. 1). Развитие экотуризма в Шахдагском национальном парке может стать источником новых рабочих мест и доходов в экономике шести административных районов.

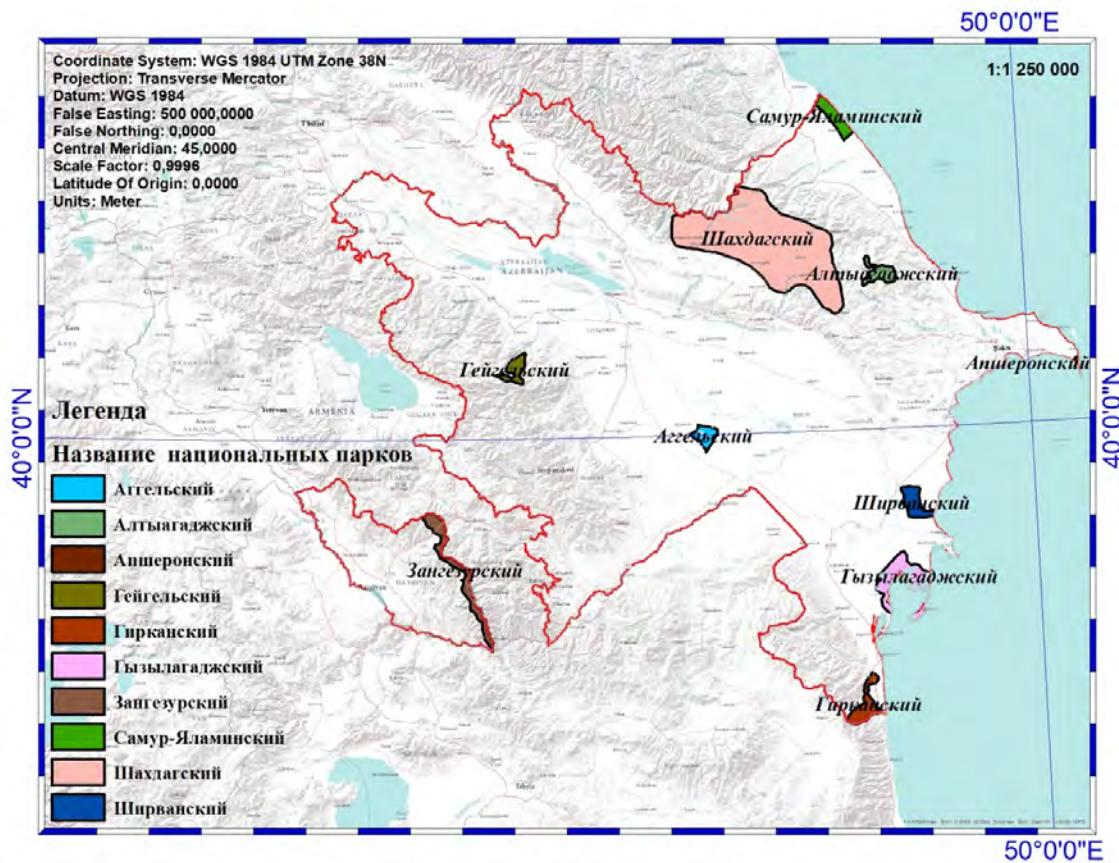


Рис. 1. Карта национальных парков Азербайджана
 Fig. 1. Map of national parks of Azerbaijan

Статистика посетителей национальных парков нашей страны приводится Госкомстаратом Азербайджанской Республики не по каждой охраняемой территории, а в целом [Окружающая среда ..., 2024]. Поэтому мы провели статистический анализ в целом и за 2010–2023 годы. Количество посетителей национальных парков Азербайджана до 2014 года было практически одинаковым, а с 2015 года наблюдался рост показателей. Хотя в период с 2015 по 2020 год тенденции роста и снижения чередовались, с 2020 года фиксируется рост статистических показателей (рис. 2).

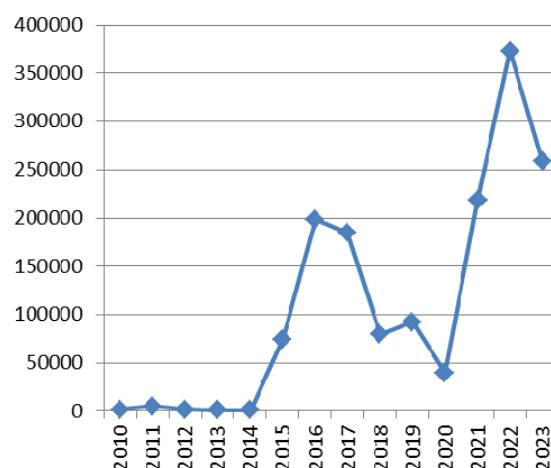


Рис. 2. Динамика изменения количества посетителей национальных парков Азербайджана (2010–2023 гг.)

Fig. 2. Dynamics of changes of the number of visitors to Azerbaijan National Parks (2010–2023)

Наибольший прирост составил 73 339 человек в 2015 году по сравнению с 2014 годом и 178 766 человек в 2021 году по сравнению с 2020 годом, а самое большое снижение составило 52 358 человек в 2020 году по сравнению с 2019 годом. Рост, зарегистрированный в 2015 году, был связан с реализуемыми в стране туристическими мерами, а рост в 2021 году был связан с периодом после пандемии *COVID*. Стоит отметить, что снижение в 2020 году произошло также из-за зафиксированных низких показателей количества посетителей национальных парков из-за вируса *COVID*.

Типы ландшафтов, виды, занесенные в Красную книгу, и туристические маршруты имеют большое значение в туристическом потенциале национальных парков Азербайджана. В связи с этим Министерство экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики предоставляет обширную информацию по этим параметрам [Министерство экологии и природных ..., 2025]. Если проанализировать табл. 1, то можно увидеть, что по видам, занесенным в Красную книгу, выделяются Гирканский, Самур-Яламинский и Зангезурский национальные парки, по типам ландшафтов – Ширванский, Алтыагаджский и Гейгельский, а по туристическим маршрутам – Шахдагский и Гирканский национальные парки (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Туристический потенциал национальных парков Азербайджана
Tourist potential of Azerbaijan's national parks

Название национального парка	Количество типов ландшафта	Количество видов, занесенных в Красную книгу	Количество туристических маршрутов
Шахдагский	3	9	6
Алтыагаджский	4	8	4
Гирканский	2	13	5
Гейгельский	4	1	4
Зангезурский	3	10	-
Ширванский	5	4	3
Апшеронский	3	8	1
Самур-Яламинский	2	11	-
Гызылагаджский	2	7	-
Агельский	3	5	4

Источник: [Министерство экологии и природных ..., 2025]

Оценка туристического потенциала национальных парков Азербайджана проводилась по балльной шкале на основе количества типов ландшафтов, видов, занесенных в Красную книгу, и туристических маршрутов, и были выделены 3 группы национальных парков:

- группы национальных парков с высокой оценкой (20–30 баллов) – Шахдагский, Алтыагаджский и Гирканский национальные парки;
- группы национальных парков со средней оценкой (10–20 баллов) – Гейгельский, Зангезурский и Ширванский национальные парки;
- группы национальных парков с низкой оценкой (5–10 баллов) – Апшеронский, Самур-Яламинский, Гызылагаджский и Агельский национальные парки.

По оценке туристического потенциала Шахдагский национальный парк занимает высокий уровень. И именно по этой причине 22,2 % из 27 туристических маршрутов, разработанных в национальных парках Азербайджана, приходятся на Шахдагский национальный парк.

При выявлении тенденции изменения природных комплексов под воздействием туристов рассматривается методика предельно допустимых изменений, в том числе те изменения, которые руководство ООПТ считает допустимыми [Туризм и управление ..., 2018]. Если состояние природных комплексов ухудшается и выходит за пределы допустимых изменений, то данный туристический маршрут временно ограничивается для туристов. По сравнению с общим количеством зарегистрированных в Азербайджане туристов (2 085 800 чел.) и количеством туристов, посещающих национальные парки (258 504 чел.) [Туризм в ..., 2024], не наблюдается перегруженности туристических маршрутов (12,4 % от общего числа туристов) и ухудшения состояния природных комплексов.

Шахдагский национальный парк, являющийся крупнейшим по площади национальным парком Азербайджана, занимает 31 % от общей площади национальных парков республики (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Экономические показатели Шахдагского национального парка
 Economic indicators of Shahdag National Park

Площадь, тыс. га	Территория его расположения	Дата его образования
130,5	Исмаиллинский, Габалинский, Губинский, Гусарский, Огузский и Шамахинский районы	2006 год

Источник: [Окружающая среда в ..., 2024]

Шахдагский национальный парк охватывает северные части Огузского, Габалинского и Исмаиллинского районов, северо-западные части Шамахинского района, а также западные части Губинского и Гусарского районов, а его территория включает горы Шахдаг (4243 м), Базардюзу (4466 м), Туфандаг (4191 м) и Бабадаг (3629 м), Главный Кавказский хребет [Национальный атлас, 2014].

Южная часть Шахдагского национального парка расположена в Шамахинском районе. Здесь насчитывается 520 видов растений, в том числе 130 видов деревьев и кустарников, 440 видов цветковых растений, 143 вида животных и птиц, в том числе 33 вида млекопитающих [Мамедов и др., 2012].

Благодаря тому, что национальный парк занимает очень большую территорию, здесь можно встретить смешанные леса и богатую фауну и флору. Также вертикальная смена и фрагментация рельефа, сложные климатические условия и растительный покров национального парка привели к разнообразию биоценоза [Аскеров и др., 2011].

Виды растений, встречающиеся в Шахдагском национальном парке, где ландшафт представлен горными лесами, альпийскими лугами и скалами, включают дуб восточный, граб кавказский, бук восточный, клен и березу. В национальном парке обитают такие виды животных, как восточнокавказский кабан, шакал, кролик, белка, волк, лисица, енот, барсук, сокол, а некоторые виды занесены в Красную книгу – бурый медведь, благородный олень, европейская косуля, кавказский скунс, рысь, кавказская тетра, кавказский лунь.

Как мы уже упоминали, статистика посещения туристами национальных парков нашей страны представлена в общем виде. Поэтому, получение данных о количестве посетителей Шахдагского национального парка оказалось для нас сложной задачей. Информация о количестве туристов, посещающих парк, основана на научных исследованиях Э.А. Джабраилова и данных Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики [Джабраилов, 2021; Министерство экологии ..., 2025]. Если проанализировать статистику посещений за 2013–2021 годы, то мы увидим, что самый слабый показатель был зафиксирован в 2015 году (снижение в 8 раз в 2014–2015 годах), а самый высокий – в 2019 году (рост в 2 раза в 2018–2019 годах) (рис. 3). Снижение количества туристов обусловлено введением ограничений в связи с проводимыми

мероприятиями по благоустройству национального парка, а увеличение количества туристов – созданием новых туристических маршрутов и проведением масштабной пропаганды туризма как в стране, так и за рубежом.

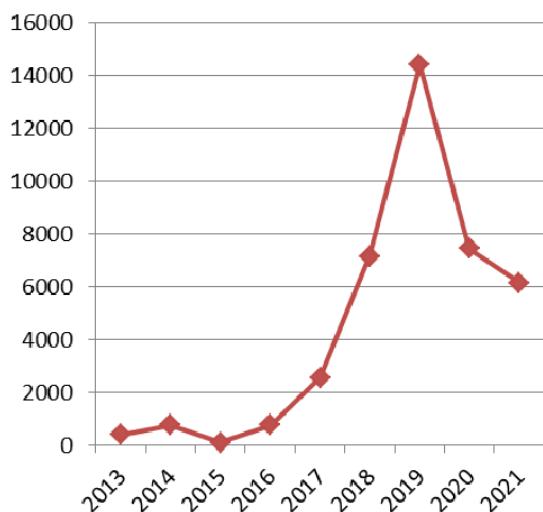


Рис. 3. Динамика изменения количества посетителей
Шахдагского национального парка (2013–2021 гг.)

Fig. 3. Dynamics of development of the number of visitors to Shahdag National Park (2013–2021)

Поскольку Шахдагский национальный парк является охраняемой территорией, деятельность человека регулируется соответствующим законодательством. В соответствии с положением для обеспечения функционирования национального парка могут быть созданы следующие зоны: зоны, где применяется особый правовой режим охраны, туристско-рекреационные зоны, сервисные зоны для туристов и других лиц, хозяйствственные и производственные зоны. Распределение территории национального парка по зонам охраны с особым режимом определяется Кабинетом Министров Азербайджанской Республики на основании представления Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджана [Jabrayilov, 2021].

Должны быть приняты ограничения и нормативно-правовые документы, направленные на устранение или минимизацию ущерба, наносимого туризмом биологическому разнообразию. Также эти меры должны включать в себя оценку воздействия развития туризма на окружающую среду, уровень рекреационной нагрузки территорий, через которые проходят создаваемые туристические маршруты, а также усиление контроля над различной туристской деятельностью [Пашаев, Агакишиева, 2015].

Устав «О Шахдагском национальном парке Азербайджанской Республики», а также законы «Об охране окружающей среды» и «Об особо охраняемых природных территориях и объектах» образуют правовую и нормативную основу для решения вопросов, связанных с туристическим потенциалом Шахдагского национального парка и его использованием [Сборник законодательства ..., 2020].

«Закон об охране окружающей среды», утвержденный Указом Президента Азербайджанской Республики от 8 июня 1999 года (в разные годы были внесены некоторые изменения), состоит из 24 глав и 82 элементов. Закон, определяющий правовые, экономические и социальные основы охраны окружающей среды, регулирует улучшение качества природных комплексов, эффективное использование и восстановление природных ресурсов. Целью закона является сохранение биологического разнообразия и эффективная организация природопользования, а также он направлен на обеспечение взаимодействия общества и природы. Этот закон, охватывающий вопросы предотвращения вредного воздействия хозяйственной и

иной деятельности на природные системы, выступает основным источником усиления правового регулирования в области охраны окружающей среды. В 62-м элементе закона указаны правила создания особо охраняемых территорий, режимы охраны и использования, условия эксплуатации, их государственное или местное значение.

«Закон об особо охраняемых природных территориях и объектах», утвержденный Указом Президента Азербайджанской Республики от 24 марта 2000 года (в разные годы были внесены некоторые изменения), состоит из 15 глав и 50 элементов. В законе, определяющем вопросы организации особо охраняемых природных территорий, отмечается их социально-экономическое значение для Азербайджанской Республики. Уделяя особое внимание определению правовых основ охраны особо охраняемых природных территорий, закон регулирует использование этих объектов в различных отраслях хозяйства. Национальные парки подробно описаны в пятой главе закона, тогда как их организация, основные задачи и зонирование встречается в трех элементах.

Устав «О Шахдагском национальном парке Азербайджанской Республики», утвержденный Указом Президента Азербайджанской Республики от 19 ноября 2008 года, охватывает такие вопросы, как общие положения, цели создания национального парка, особенности режима особой охраны, научно исследовательской и хозяйственной деятельности, государственного контроля над ее охраной и использованием, организацию деятельности. Шахдагский национальный парк относится к особо охраняемым природным территориям республиканского значения. Также ему в постоянное пользование были переданы земельный фонд, водные ресурсы, флора и фауна, находящиеся на его территории.

Среди различных факторов, влияющих на общее состояние окружающей территории, выделяется ширина тропы. Из-за большого туристического потока и крутизны склона в горнолесной зоне его ширина увеличивается. Если увеличение количества мест отдыха вдоль тропы в горнолесной зоне способствует увеличению ширины тропы, то во всех остальных природных комплексах ширина тропы характеризуется средними показателями [Иванов и др., 2023].

Поскольку разработка экотуров в границах особо охраняемых природных территорий является классическим направлением экотуризма, эти туры пользуются большой популярностью. Включение в тур посещения тех историко-культурных памятников, которые расположены на особо охраняемых территориях или находящие близости от них, практикуется во всем мире [Кусков, 2008].

В Шахдагском национальном парке проложены следующие туристические маршруты: водопады Лязя или Замерзшие водопады, Горные водопады Лязя, Лязя-Судур, Галайхудат-Пик «Гейдар», Хыналыг-Туфан, Базардюзю [Шахдагский национальный парк, 2024]. Нами предложен новый маршрут «Пиргулу – Бабадаг», который охватывает территории Шамахинского, Исмаиллинского и Губинского административных районов и проходит через плато Гызмейдан, Главный Кавказский хребет, горы Шахнязярдаг (2874 м), Джарлыджа (2714 м) и Бабадаг (3629 м), долину реки Пирсаат (рис. 4). Следует отметить, что, если существующие туристические маршруты охватывают территории отдельных районов, то предлагаемый нами маршрут проходит по приграничным территориям трех административных районов и экономически эффективен. Туристы смогут увидеть вершины, склоны, пейзажи гор, отдохнуть и совершить прогулки на свежем воздухе. Еще одна причина экономической эффективности маршрута Пиргулу – Бабадаг – не очень большая протяженность, это расстояние можно преодолеть за день.

Как и во многих странах, национальные парки в Азербайджане издавна используются в рекреационных целях. Число туристов, проходящих по их дорогам и тропам, растет с каждым годом. Еще несколько лет назад национальные парки посещали в основном неорганизованные туристы. Тогда сотрудники администраций национальных парков, основываясь на нормативно-правовую базу страны, урегулировали процесс, связанный с туристской деятельностью, и провели природоохранные мероприятия.

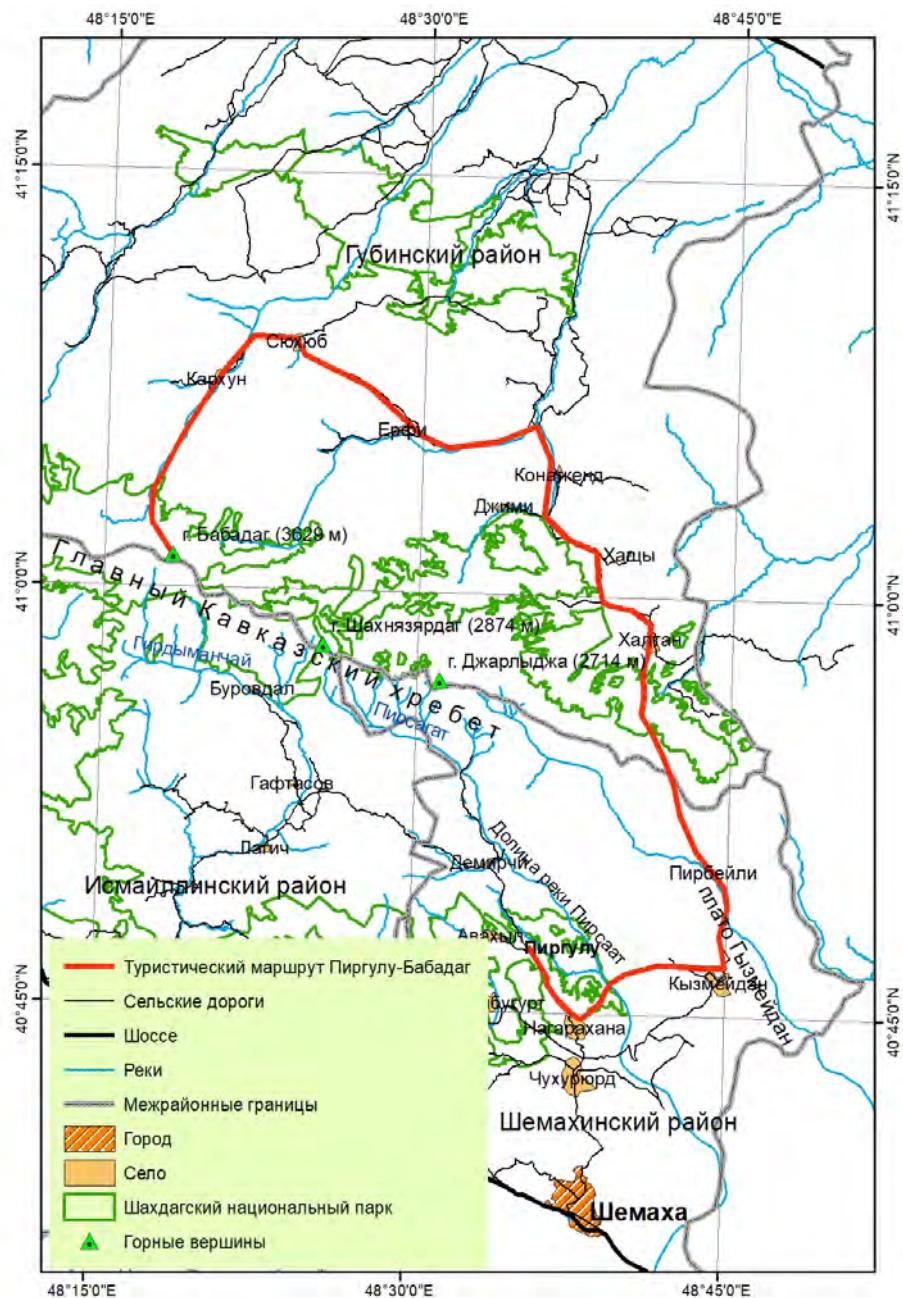


Рис. 4. Карта туристического маршрута Пиргulu-Бабадаг
Fig. 4. Map of the Pirgulu-Babadag tourist route

Уставы национальных парков позволяют разработать общие рекомендации относительно предельно допустимых масштабов приема туристов и оптимального размещения объектов рекреационного обслуживания. Учитывая, что неорганизованный массовый туризм может привести к нарушению природного равновесия, национальные парки должны быть подготовлены к приему туристов. Определенный опыт в стране по рекреационному использованию национальных парков давно сформирован. Но для ежегодного приема туристов без ущерба и прокладке туристических маршрутов целесообразно использовать опыт соседней Грузии.

Если сравнить использование национальных парков в сфере туризма в Азербайджане и Грузии, то следует отметить, что Грузия привлекает больше посетителей: при небольшой общей площади в стране много национальных парков, в то время как количество национальных парков в Азербайджане относительно невелико, а их общая

площадь огромна. В азербайджанских национальных парках отсутствуют пешеходные маршруты и ежедневные экскурсии, соответствующие индикаторы и услуги доступны в Грузии [Стратегическая дорожная карта ..., 2017].

Из-за отсутствия разработанных туристических маршрутов и программ для разных категорий туристов, рекламных видеороликов на разных языках, развитой инфраструктуры в Шахдагском национальном парке развитие туризма пока находится не на должном уровне.

В Шахдагском национальном парке можно организовать познавательные и рекреационные экотуры. Познавательные экотуры, целью которых является наблюдение за определенными видами птиц и животных, а рекреационные экотуры, состоящие из пеших, конных, водных и многих видов горных походов, могут быть организованы в селах административных районов, охватывающих Шахдагский национальный парк.

Рекомендуется организовать экотуры Дядягюнеш – Чаган – Кечмадин – Галадяряси – Гялейбугурд – Сис – Авахыл – Дядирчи в Шамахинском районе, Грыз – Джек – Алик – Хапутлу в Губинском районе, Зяргяран – Бизлан – Гичатан – Сярсура – Сулут – Кялязейя в Исмаиллинском районе. В ходе экотура Дядягюнеш–Чаган–Кечмадин – Галадяряси – Гялейбугурд – Сис – Авахыл – Дядирчи можно будет посетить мечеть и старое кладбище (село Дядирчи), старое кладбище, жилище Агаами и святое место Дядягюнеш (село Дядягюнеш), Девичью башню (село Гялейбугурд), во время экотура Зяргяран – Бизлан – Гичатан – Сярсура – Сулут – Кялязейя – жилище Шамдлан (село Зяргяран), кладбище (село Бизлан), крепостные стены Хиряки (село Сулут), в ходе экотура Грыз – Джек – Алик – Хапутлу – замок (село Алик), могилу Пир-Джалала (село Грыз).

Заключение

С целью определения туристического потенциала были проанализированы статистические данные о количестве туристов, посетивших Шахдагский национальный парк за 2013–2021 гг. В результате установлено, что самый низкий показатель зафиксирован в 2015 году, а самый высокий – в 2019 году. Также проанализированы показатели посетителей национальных парков за 2010–2023 гг., при этом выявлено, что снижение и увеличение статистических данных в том или ином случае связано с вирусом *COVID*.

На основе количества типов ландшафта, видов, занесенных в Красную книгу, и туристических маршрутов дана балльная оценка туристического потенциала национальных парков Азербайджана, с учетом которой они разделены на группы национальных парков с высокой, средней и низкой оценкой. А также было определено место Шахдагского национального парка в этой оценке.

Шахдагский национальный парк охватывает множество уникальных ландшафтов и экосистем, что определяет его перспективы для организации туризма. Туристская деятельность в национальном парке повысит эффективность экологического образования в шести административных районах. Не нарушая экосистему национального парка, туристам представляются все возможные услуги в рамках программ экотуризма. При реализации устава национального парка туристская деятельность должна быть ограничена и регламентирована.

Учитывая, что туристические или экологические маршруты и тропы, снижая рекреационную нагрузку на природную среду, регулируют потоки туристов и расширяют их знания о природе, целесообразно развивать и прокладывать эти пути по различным направлениям. Наряду с туристическими маршрутами, разработанными и контролируемыми парками, важно предоставлять и другие услуги и товары под брендом Шахдагского национального парка, такие как проведение фестивалей и выставок, продажа органических продуктов питания от местных производителей из шести районов, изготовление и продажа сувениров с символикой парка, а также доступные транспортные услуги.

В дополнение к существующим маршрутам, таким как водопады Ляля или Замерзшие водопады, Горные водопады Ляля, Ляля – Судур, Галайхудат – Пик «Гейдар», Хыналыг –

Туфан, Базардюзю и охватывающим только Губинский и Гусарский районы, мы предложили разработать новый туристический маршрут с использованием сложного снаряжения – Пиргulu – Бабадаг, который пройдет по территории трех (Шамахинского, Исмаиллинского и Губинского) районов и продлится 24 часа.

Список источников

- Кусков А.С. 2008. Туристское ресурсоведение. М., Издательский центр «Академия», 208 с.
- Министерство экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики. Электронный ресурс. URL: <https://eco.gov.az/> (дата обращения 15.04.2025).
- Национальный атлас. 2014. Баку, Государственный комитет по земле и картографии.
- Окружающая среда в Азербайджане. 2024. Баку, Государственный Статистический Комитет Азербайджана, 140 с.
- Сборник Законодательства Азербайджанской Республики. 2020. Баку, 10 с.
- Стратегическая дорожная карта развития специализированной индустрии туризма в Азербайджанской Республике. 2017. Баку, 100 с.
- Туризм в Азербайджане. 2024. Баку, Государственный Статистический Комитет Азербайджана, 104 с.
- Туризм и управление туристскими потоками на ООПТ: руководство по обеспечению устойчивого развития. Серия руководств по применению принципа лучших практик в сфере управления особо охраняемыми природными территориями. 2018. Т. 27. Гланц, Швейцария, МСОП, 120 с.
- Шахдагский национальный парк. Электронный ресурс. URL: <https://eco.gov.az/index.php?pg=86> (дата обращения 25.12.2024).

Список литературы

- Алиев А.И., Асланов Э.З. 2011. Международное туристическое право. Баку, ООО «НАТ», 475 с.
- Алиева А.М., Аскерли Г.Ф. 2024. Потенциальные территории для создания геопарков в Азербайджане (на примере Самур-Яламинского и Гейгельского национальных парков). В кн.: Влияние современных изменений климата в Азербайджане на природные комплексы и экономическую систему. Материалы международной научно-практической конференции, Баку, 5–6 июня 2024. Баку, 293–297.
- Аскеров А.Т., Билалов Б.А., Гюлалиев Ч.Г. 2011. Экологический туризм. Баку, Адилоглы, 276 с.
- Иванов А.Н., Сафонова А.А., Чижова В.П. 2023. Оценка рекреационного воздействия и дигрессии ландшафтов на основных туристических маршрутах Кавказского заповедника. Региональные геосистемы, 47(4): 507–517. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-507-517>
- Имрани З.Т., Асгарли Г.Ф. 2023. Экотуристический потенциал и возможности использования Гёйгёльского национального парка. Сервис в России и за рубежом, 17(1): 147–155. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7793514>
- Мамедов Г.Ш., Юсифов Э.Ф., Халилов М.Ю., Керимов В.Н. 2012. Азербайджан: потенциал экотуризма. Баку, Шерг-Герб, 420 с.
- Мамедов Дж.А., Солтанова Г.Б., Рагимов Ш.Х. 2002. География международного туризма. Баку, Мютерджим, 512 с.
- Мусейбов М.А. 1998. Физическая география Азербайджана. Баку, Маариф, 400 с.
- Намазова А.М. 2018. Национальные парки, особенности их создания и принципы организации. Молодой исследователь, 4(2): 87–90.
- Пашаев Н.А., Агакишиева Г.Р. 2015. Проблемы туристской деятельности на окружающую среду. Закрытое акционерное общество «Азербайджанские авиалинии», Национальная авиационная академия. Научные труды, 17(2): 51–57.
- Солтанова Г.Б. 2015. Туризм в Азербайджанской Республике и ее развитие. Баку, АзТУ, 475 с.
- Gossling S. 1999. Ecotourism: a Means to Safeguard Biodiversity and Ecosystem Functions? Ecological Economics, 29(2): 303–320. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00012-9)
- Jabrayilov E.A. 2021. Ecological Network Model in Shahdag National Park. Proceedings of VSU, Series: Geography. Geoecology, 2: 61–69. <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3449>
- Jabrayilov E.A. 2022. A'WOT Analysis for Sustainability of Biodiversity and Tourism in Shahdag National Park, Azerbaijan. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 31(2): 302–310. <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/918/745>

References

- Aliyev A.I., Aslanov E.Z. 2011. Mejdunarodnoye turisticheskoye pravo [International Tourism Law]. Baku, Pabl. NAT LLC, 475 p.
- Aliyeva A.M., Askerli G.F. 2024. Potensialniye territorii dlya sozdaniya geoparkov v Azerbaydzhane (na primere Samur-Yalaminskogo i Goygolskogo nachionalix parkov) [Potential Territories for Creation of Geoparks in Azerbaijan (Based on the Example of Samur-Yalama and Goygel National Parks)]. In: The Impact of Modern Climate Change in Azerbaijan on Natural Complexes and the Economic System. Proceedings of the international scientific and practical conference, Baku, 5–6 June 2024. Baku: 293–297.
- Askerov A.T., Bilalov B.A., Gulaliyev Ch.G. 2011. Ekologicheykiy turizm [Ecological Tourism]. Baku, Pabl. Adilogly, 276 p.
- Ivanov A.N., Safranova A.A., Chizhova V.P. 2023. Assessment of Recreational Impacts and Landscape Digression on Main Tourist Routes in the Caucasian Reserve. Regional Geosystems, 47(4): 507–517 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-507-517>.
- Imrani Z.T., Asgarli G.F. 2023. Ecotourism Potential and Usage Opportunities of the Goygol National Park. Services in Russia and Abroad, 17(1): 147–155 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7793514>
- Mamedov Q.Sh., Yusifov E.F., Halilov M.Y., Kerimov V.N. 2012. Azerbaydzhhan: potensial ekoturizma [Azerbaijan: Ecotourism Potential]. Baku, Pabl. Sherq-Qerb, 420 p.
- Mamedov J.A., Soltanova G.B., Ragimov Sh.H. 2002. Geografiya mezhdunarodnogo turizma [Geography of International Tourism]. Baku, Pabl. Muterjim, 512 p.
- Museyibov M.A. 1998. Fizicheskaya geografiya Azerbaydzhana [Physical Geography of Azerbaijan]. Baku, Pabl. Maarif, 400 p.
- Namazova A.M. 2018. National Parks, Creating Features and Organization Principles. Young Researcher, 4(2): 87–90 (in Russian).
- Pashayev N.A., Agakishiyeva G.R. 2015. Problems of Tourism Activities on the Environment. Closed Joint-Stock Company "Azerbaijan Airlines", National Aviation Academy. Scientific works, 17(2): 51–57 (in Russian).
- Soltanova G.B. 2015. Turizm v Azerbaydzhanskem Respublike i yevo razvitiye [Tourism in the Republic of Azerbaijan and Its Development]. Baku, Pabl. AzTU, 475 p.
- Gossling S. 1999. Ecotourism: a Means to Safeguard Biodiversity and Ecosystem Functions? Ecological Economics, 29(2): 303–320. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00012-9)
- Jabrayilov E.A. 2021. Ecological Network Model in Shahdag National Park. Proceedings of VSU, Series: Geography. Geoecology, 2: 61–69. <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3449>
- Jabrayilov E.A. 2022. A'WOT Analysis for Sustainability of Biodiversity and Tourism in Shahdag National Park, Azerbaijan. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 31(2): 302–310. <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/918/745>

Поступила в редакцию 14.01.2025;
поступила после рецензирования 12.05.2025;
принята к публикации 09.06.2025

Received January 14, 2025;
Revised May 12, 2025;
Accepted June 09, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агакишиева Гюнес Шафиқ, кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт географии им. акад. Г.А. Алиева, г. Баку, Азербайджанская Республика.

Алиева Айсель Мехман, младший научный сотрудник, Институт географии им. акад. Г.А. Алиева, г. Баку, Азербайджанская Республика.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gunesh R. Agakishiyeva, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Geography named after acad. H.A. Aliyev, Baku, Republic of Azerbaijan.

Aysel M. Aliyeva, Junior Researcher, Institute of Geography named after acad. H.A. Aliyev, Baku, Republic of Azerbaijan.

УДК 338:911.3 (571.6)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-573-588
EDN VFYELF

Процессы территориально-производственного комплексообразования в дальневосточном регионе России: преимущества и ограничения

Мошков А.В.

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7
mavr@tigdvo.ru

Аннотация. Задачей исследования является изучение пространственных особенностей запуска в дальневосточных регионах России процессов комплексообразования, в т. ч. факторов формирования и развития сбалансированной, пропорциональной структуры региональных и локальных ТПС. Для решения поставленной задачи были изучены сложившиеся здесь специфические территориальные сочетания благоприятных (богатейшие природные ресурсы суши и акватории, выгодное приморское экономико-географическое положение и др.) и негативных (сравнительно низкий уровень инфраструктурного освоения территории, сложные природно-климатические условия, большая удаленность от более развитых европейских регионов страны и др.) факторов. Отмечено, что специфические сочетания благоприятных и негативных факторов комплексообразования требуют особых подходов при решении социально-экономических проблем, в т. ч. в преодолении диспропорций в структуре экономики и рационального использования имеющихся ресурсов. К числу таких особенностей относится высокая дифференциация отраслевой структуры экономики регионов в широтном и меридиональном выражении, сложившиеся зоны комплексообразования по специфическим сочетаниям факторов развития. При этом в структуре северных региональных и локальных ТПС (промышленных узлов) преимущественное развитие получили добывающие виды деятельности, а в южных – обрабатывающие, транспорт и логистика. Благоприятные и негативные факторы обуславливают возможности и ограничения и оказывают влияние на устойчивое развитие региональных и локальных ТПС. Достижение сбалансированного развития ТПС разного ранга в дальневосточных регионах России особенно актуально для обеспечения экономической безопасности страны в условиях экономических санкций.

Ключевые слова: территориально-производственное комплексообразование, факторы развития, территориально-производственные системы, социально-экономические проблемы, дальневосточные регионы России

Для цитирования: Мошков А.В. 2025. Процессы территориально-производственного комплексообразования в дальневосточном регионе России: преимущества и ограничения. Региональные геосистемы, 49(3): 573–588. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-573-588 EDN: VFYELF

Formation of Territorial Production Complexes in the Russian Far East: Advantages and Limitations to the Process

Anatolii V. Moshkov

Pacific Geographical Institute of the FEB RAS,
7 Radio St, Vladivostok 690041, Russia,
mavr@tigdvo.ru

Abstract. The research is aimed at studying the spatial features of the complex formation processes development in the Russian Far East, including the factors of formation and development of a balanced,

© Мошков А.В., 2025

proportional structure of territorial production systems on regional and local levels. To solve this problem, we studied specific territorial combinations of favorable and negative factors, the former ones including rich natural resources of land and water area, advantageous coastal economic and geographical location, etc., and the latter represented by a relatively low level of infrastructural development of the territory, severe climatic conditions, and large distance from more developed European regions of the country. It is noted that the combinations of favorable and negative factors require special approaches in solving socio-economic problems, including those connected with overcoming imbalances in the structure of the economy and the rational use of available resources. Such features include a high differentiation of the sectoral structure of the regional economy in latitudinal and meridional extents, and the existing zones of complex formation based on specific combinations of development factors. At the same time, the mining industry has been predominantly developed in the structure of the northern regional and local TPSs (industrial hubs), while processing, transport and logistics have been developed in the southern ones. Favorable and negative factors create opportunities and constraints that affect the sustainable development of regional and local TPSs. Achieving balanced development of territorial production systems of various ranks in the Far Eastern regions of Russia is especially important for ensuring the country's economic security in the face of economic sanctions.

Keywords: formation of territorial production complexes, development factors, territorial production systems, socio-economic problems, Far Eastern regions of Russia

For citation: Moshkov A.V. 2025. Formation of Territorial Production Complexes in the Russian Far East: Advantages and Limitations to the Process. *Regional Geosystems*, 49(3): 573–588 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-573-588 EDN: VFYELF

Введение

Процесс территориально-производственного комплексообразования представляет собой формирование территориально-производственных систем (ТПС) разного ранга (региональные и локальные) и их развитие в эффективный территориально-производственный комплекс за счет взаимосвязанного функционирования элементов структуры, рационального использования территориальных сочетаний местных природных, демографических и социально-экономических ресурсов, общей производственной и социальной инфраструктуры, транспортной сети. Роль и место вида деятельности в структуре ТПС определяется его положением в системе территориального разделения труда, а также наличием на территории благоприятных и негативных факторов развития.

Фундаментальные исследования проблем комплексной территориальной организации производительных сил в России начались в период социалистической индустриализации, когда перед советскими экономико-географами и экономистами были поставлены крупномасштабные задачи по определению эффективных вариантов формирования территориально-отраслевой структуры народного хозяйства страны. Н.Н. Колосовским [1947] была сформулирована концепция территориально-производственных комплексов (ТПК), под ним понимается экономическое сочетание предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором достигается определенный экономический эффект за счет удачного подбора предприятий в соответствии с природными и экономическими условиями района, с его транспортным и экономико-географическим положением. Следует отметить, что дополнительный экономический эффект от территориальной организации производства в виде ТПК может достигаться за счет: сокращения транспортных издержек, формирования единого производственно-инфраструктурного комплекса (в т. ч. агломерационного эффекта), комбинирования и оптимального кооперирования производства, повышения устойчивости взаимных связей и ритмичности производственного процесса и других факторов.

Ведущие советские ученые рассматривали ТПК как технологически взаимосвязанные сочетания производственных предприятий, объединенных общностью использо-

зования инфраструктуры как в пределах небольших территорий, так экономических районов [Саушкин, 1973; Космачев, 1974; Шарыгин, 1975; Бандман, 1980; Чистобаев, 1980; Агафонов, 1983; Хрущев, 1990; Малов и др., 1997; Безруков, 2006, 2008; Бакланов, 2007; 2024; и др.]. Следует отметить работы Н.Т. Агафонова, в которых делается акцент на важности изучения процесса комплексообразования, в том числе особенностей его развития в восточных районах СССР, в т. ч. необходимости формирования в районах нового освоения сбалансированной структуры ТПК (в т. ч. добывающих и обрабатывающих производств).

Отмечаются следующие особенности процессов территориально-производственного комплексообразования в восточных регионах страны в условиях рыночных отношений. Общая тенденция выражается в «упрощении» отраслевой структуры экономики региональных и локальных ТПК (промышленных узлов) и особой роли прибрежных регионов, как территорий наиболее благоприятных для формирования территориально-производственных систем (ТПС), ориентированных на зарубежные рынки [Малов и др., 1997; Мошков, 2001; Безруков, 2006; 2008; Шерин, 2015; Пространственное развитие..., 2023; Бакланов и др., 2024]. При этом в структуре этих ТПС ведущее значение сохраняют добывающие виды деятельности, имеющие выход на зарубежные рынки (топливная, лесная, рыбная, морской транспорт). Обрабатывающие производства не выдерживают конкуренцию с зарубежными производителями машин и оборудования, продукцией легкой и обувной промышленности. Следует выделить сравнительно новое явление в развитии территориально-отраслевой структуры региональных ТПС, когда крупные ресурсодобывающие компании в дальневосточном регионе (Республика Саха (Якутия)) сами строят недостающие объекты транспортной инфраструктуры в приморской зоне. Например, в 2026 году компания планирует завершить строительство самой крупной частной железной дороги в стране, которая соединит крупнейшее в России Эльгинское месторождение коксующихся углей (пос. Эльга, Нерюнгринский район, Республика Саха (Якутия)) с морским угольным терминалом «Порт Эльга» на побережье Охотского моря.

Отмеченные тенденции в целом проявляются в формировании особых пространственных зон территориально-производственного комплексообразования в дальневосточных регионах России, отличающихся специфическим сочетанием благоприятных и негативных факторов развития [Бакланов, Романов, 2009; 2019]. При этом следует отметить, что пространственные особенности формирования региональных и локальных территориально-производственных систем в процессе комплексообразования в регионах Дальнего Востока России изучены еще недостаточно полно.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – территориально-отраслевые системы в виде региональных и локальных ТПС (промышленных узлов), формирующиеся в дальневосточных регионах России.

Предмет исследования – процессы территориально-производственного комплексообразования, представляющие собой формирование, функционирование, перестроение и развитие ТПС в эффективный комплекс.

В работе использовались экономико-географические подходы к изучению процессов комплексообразования в региональных и локальных ТПС (промышленных узлах).

Оценка сложившихся в процессе комплексообразования территориальных структур хозяйства позволяет раскрыть региональные различия в реализованных типах освоения, их определенную инерционность, а также – возможности и некоторые тенденции развития. Пространственную дифференциацию территориальных структур хозяйства можно оценивать по следующим направлениям – по широтным и меридиональным зонам как

между субъектами разных зон, так и внутри отдельных зон. [Пространственное развитие..., 2023]. Для дальневосточных регионов России характерна следующая особенность: уровень освоенности, разнообразие видов хозяйственной деятельности и отраслей экономики, социально-экономический потенциал в целом возрастают с севера на юг и от континентальных – к приморским. Это прежде всего связано с дифференциацией географических факторов (значительным улучшением природно-климатических условий и возрастанием комфорта проживания населения в южных районах по сравнению с северными, особенно арктическими). Однако эта общая тенденция диверсификации экономики проявляется неодинаково в районах с различной удаленностью от арктического побережья, а также в приморских и континентальных регионах.

Отраслевой метод изучения особенностей структуры региональных и локальных ТПС позволяет выделить основные и обслуживающие виды экономической деятельности (по их роли и месту в структуре экономики региона). Выделенные сочетания видов деятельности в структуре экономики региональных и локальных ТПС складываются во многом под влиянием совокупности благоприятных и негативных факторов развития. В результате в дальневосточных регионах России формируются особые пространственные зоны комплексообразования.

При оценке территориально-отраслевой структуры региональных комплексов использовались материалы Федеральной службы Российской Федерации по статистике (Росстат РФ).

Результаты и их обсуждение

В пространственном отношении на территории и прибрежной акватории дальневосточных регионов России, под воздействием совокупности благоприятных и негативных факторов и ограничений, можно выделить широтные (северную и южную) и меридиональные (приморскую и континентальную) зоны комплексообразования (рис. 1).

Сложившиеся в зонах территориальные хозяйственные структуры образуют пространственные профили, отражающие особенности процесса комплексообразования. Эти зоны различаются по факторам развития и особенностям сложившейся отраслевой структуры региональных ТПС (субъектов ДФО). В северной части широтной зоны среди специализированных производств выделяется добыча полезных ископаемых, что обусловлено наличием значительных запасов минеральных ресурсов, биоресурсов моря при низком уровне освоенности территории. В южной – обрабатывающие производства, транспорт и логистика, достаточно высокая плотность населения. В меридиональной зоне, в приморской части отмечается высокая доля «морехозяйственных» видов деятельности, а в континентальной – добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства.

Процессы комплексообразования в дальневосточных регионах происходят под воздействием совокупности территориальных и акваториальных факторов: природно-ресурсным потенциалом территории и акватории, территориальным (в том числе международным) разделением труда, экономико-географическим положением, геополитическими факторами, экономическим и демографическим потенциалами и др. (табл. 1). Эти факторы во многом определяют устойчивость территориально-отраслевой структуры, формирующихся здесь региональных ТПС (добыча природных ресурсов, производство электрической и тепловой энергии), и инерционность развития. Подобные сочетания природно-ресурсного потенциала и ресурсов суши и акватории в приморской зоне дальневосточного региона обеспечивают дополнительные преимущества для развития ТПС в эффективный комплекс.

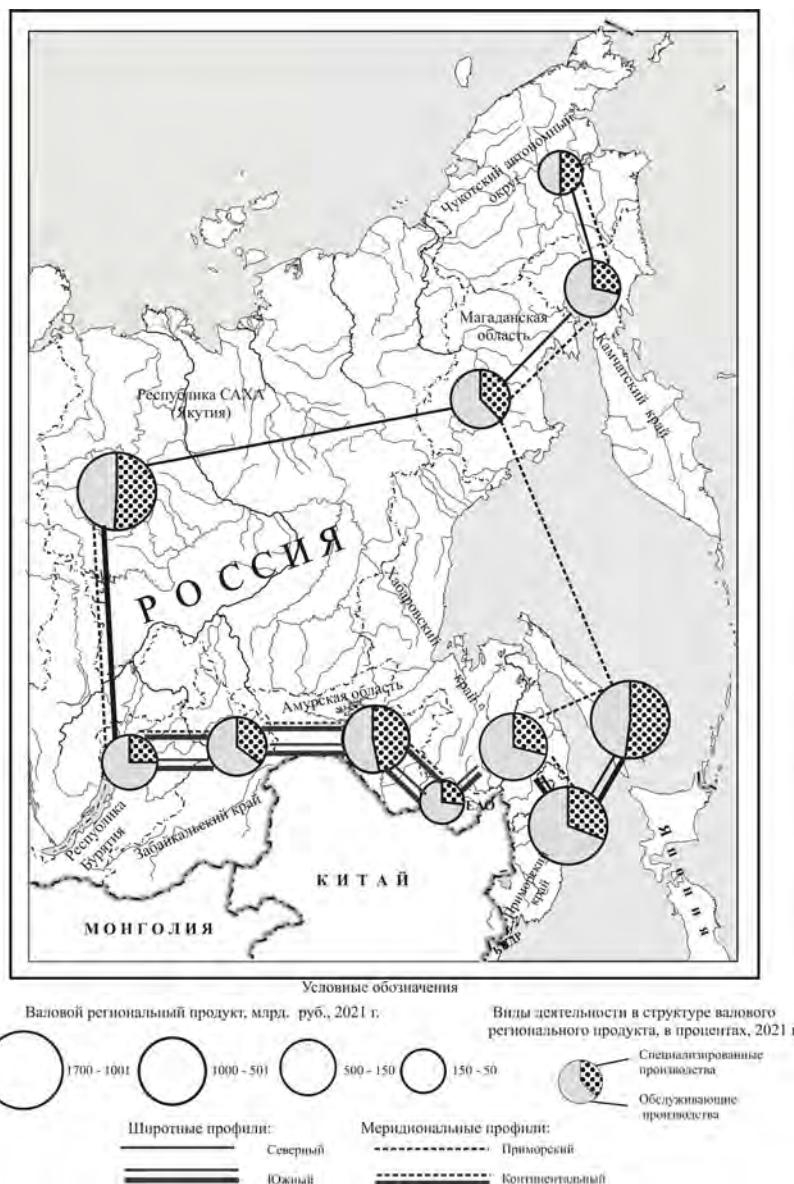


Рис. 1. Пространственные профили региональных территориально-производственных систем в дальневосточных регионах России. Составлено по: [Пространственное развитие..., 2023; Регионы России. Социально-экономические ..., 2022; 2023]

Fig. 1. Spatial profiles of regional territorial production systems in the Far Eastern regions of Russia. Compiled by: [Spatial Development..., 2023; Regions of Russia. Socio-economic ..., 2022, 2023]

В качестве наиболее благоприятных факторов регионального развития рассматриваются уникальное экономико-географическое положение, богатый природно-ресурсный потенциал, возможности дифференцировать территориально-отраслевую структуру экономики. Негативные факторы – низкий в целом демографический потенциал, слабое развитие обслуживающих отраслей, производственной и социальной инфраструктуры, ограниченность внутреннего рынка и т. п. Следует отметить, что в приморских регионах большее число благоприятных факторов, чем в континентальных.

В процессе комплексообразования предполагается повышение эффективности производства в регионе за счет рационального использования имеющегося природно-ресурсного, производственного и демографического потенциала, экономико-географического положения и др., создания новых видов деятельности, обеспечивающих глубокую переработку местного сырья и материалов, получения продукции с высокой добавленной стоимостью.

Таблица 1
 Table 1

Роль отдельных факторов в долгосрочном развитии приморских
 и континентальных дальневосточных регионов России
 The role of individual factors in the long-term development of the coastal
 and continental Far Eastern regions of Russia

Факторы долгосрочного развития	Приморские регионы		Континентальные регионы	
	северные	южные	северные	южные
1. Географическое положение – выход к морскому побережью	+++	+++	+	–
2. Природные условия, в т. ч. экстремальные природные процессы и опасные явления	–	++	–	++
3. Сочетания природных ресурсов: – суши – моря	+++ +++	+++ +++	+++ –	+++ –
4. Демографический потенциал	–	++	–	++
5. Возможности диверсификации хозяйства	+	+++	+	+++
6. Доступность территории, в т. ч. рыночного пространства	+	++	+	++
7. Уровень инфраструктурной обустроенностии территории	–	++	–	++

Условные обозначения. Значение фактора: +++ – очень благоприятное; ++ – благоприятное; + наличие фактора; – – отсутствие благоприятного фактора.

Благоприятным фактором комплексообразования в широтных зонах является богатейший природно-ресурсный потенциал суши и моря, включающий топливно-энергетические ресурсы (нефть, природный газ, уголь), гидроэнергетические и лесные ресурсы, руды черных и цветных металлов, драгоценные камни, строительные материалы, морские биоресурсы и др. Положительное влияние на развитие экономики приморских регионов также оказывают непосредственный выход субъектов к морям Тихого и Северного Ледовитого океанов и возможность использования Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей, Северного морского пути, морских портов Тихого и Северного океанов для связей восточных районов России между собой, с западными регионами России, а также со странами Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона [Бакланов, Романов, 2009; Пространственное развитие..., 2023; и др.]. Негативные факторы, сдерживающие процессы комплексообразования в дальневосточных регионах России: сложные природно-климатические условия и значительная удаленность от более развитых в социально-экономическом отношении субъектов Российской Федерации, слабая хозяйственная (в том числе инфраструктурная) освоенность территории, низкий демографический потенциал населения и др.

В настоящее время отраслевая структура региональных ТПС, сформировавшаяся в пределах субъектов ДФО под воздействием совокупности благоприятных и негативных факторов комплексообразования, отличается значительными диспропорциями между добывающими и обрабатывающими видами деятельности, основными и обслуживающими производствами (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Территориально-отраслевая структура субъектов Дальневосточного федерального округа Российской Федерации (по размерам валового регионального продукта и численности занятого населения) в 2021 году (в процентах к итогу)

Territorial and sectoral structure of the subjects of the Far Eastern Federal District of the Russian Federation (by size of gross regional product and number of employed population) in 2021 (as a percentage of the total)

Виды экономической деятельности	Дальневосточный федеральный округ	Субъекты Дальневосточного федерального округа											
		Континентальная зона						Приморская зона					
		Республика Бурятия	Республика Саха (Якутия)	Амурская область	Ерзейская автономная область	Забайкальский край	Камчатский край	Магаданская область	Приморский край	Сахалинская область	Хабаровский край	Чукотский автономный округ	
Всего	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	(100) [100]	
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство; Рыболовство, рыбоводство	(5,9) [6,6]	(4,3) [7,0]	(1,1) [5,9]	(5,9) [5,7]	(3,7) [7,4]	(3,5) [7,1]	(30,1) [11,5]	(5,4) [2,7]	(10,2) [8,3]	(2,2) [5,7]	(6,8) [4,1]	(2,0) [5,1]	
Добыча полезных ископаемых	(31,3) [3,9]	(7,8) [3,9]	(59,0) [10,6]	(14,5) [3,8]	(23,7) [3,2]	(30,1) [4,2]	(5,3) [2,2]	(55,0) [16,8]	(1,0) [0,9]	(60,0) [3,7]	(8,4) [2,0]	(41,6) [17,9]	
Обрабатывающие производства	(4,9) [8,1]	(12,0) [10,0]	(0,9) [3,0]	(3,4) [5,5]	(4,1) [7,4]	(2,0) [7,3]	(5,0) [7,8]	(1,0) [2,9]	(7,6) [11,0]	(3,9) [6,6]	(11,1) [10,0]	(0,2) [1,5]	
Обеспечение электрической электроэнергией, газом и паром, водоснабжение, водоотведение и т. п.	(3,3) [4,8]	(3,8) [4,5]	(3,4) [6,3]	(4,6) [5,5]	(4,0) [5,2]	(3,1) [4,2]	(3,7) [6,1]	(4,3) [7,0]	(2,8) [4,0]	(1,7) [4,7]	(2,9) [3,7]	(14,1) [13,6]	
Строительство	(7,0) [9,1]	(5,6) [6,4]	(6,9) [11,3]	(19,2) [14,7]	(6,8) [6,5]	(6,4) [6,9]	(4,6) [6,6]	(2,6) [7,0]	(4,0) [6,7]	(8,1) [11,9]	(5,7) [10,7]	(10,7) [5,6]	
Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	(8,5) [17,2]	(10,4) [22,0]	(4,2) [10,7]	(9,0) [15,4]	(5,5) [14,7]	(7,4) [16,2]	(6,6) [14,3]	(6,3) [12,1]	(16,2) [21,2]	(3,5) [15,1]	(13,2) [18,5]	(5,8) [11,0]	
Транспортировка и хранение	(10,0) [9,8]	(9,5) [6,4]	(5,4) [8,8]	(9,6) [10,8]	(15,0) [9,8]	(13,9) [12,0]	(4,8) [6,9]	(4,2) [8,9]	(18,7) [11,3]	(3,8) [9,6]	(16,6) [9,3]	(3,9) [7,8]	
Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания	(0,9) [2,3]	(1,9) [2,4]	(0,9) [1,2]	(0,9) [1,9]	(0,5) [1,9]	(0,9) [2,1]	(1,0) [2,1]	(0,6) [2,0]	(1,1) [2,8]	(0,8) [2,7]	(1,1) [2,8]	(0,5) [1,8]	

Окончание таблицы 2
 End of the table 2

Виды экономической деятельности	Дальневосточный федеральный округ	Субъекты Дальневосточного федерального округа										
		Республика Бурятия	Республика Саха (Якутия)	Амурская область	Еврейская автономная область	Забайкальский край	Камчатский край	Магаданская область	Приморский край	Сахалинская область	Хабаровский край	
		Континентальная зона					Приморская зона					
Деятельность в области информации и связи	(1,2) [1,6]	(1,7) [1,4]	(1,1) [2,0]	(1,3) [1,3]	(1,2) [1,7]	(1,5) [1,6]	(1,1) [1,2]	(0,7) [1,9]	(1,6) [1,8]	(0,4) [1,4]	(2,0) [1,7]	(0,4) [1,5]
Деятельность по операциям с недвижимым имуществом	(6,7) [2,4]	(10,3) [1,7]	(3,3) [1,6]	(9,8) [1,9]	(6,3) [2,8]	(7,5) [2,5]	(4,9) [2,3]	(2,5) [1,4]	(12,2) [2,9]	(2,7) [3,1]	(9,5) [2,7]	(1,2) [1,6]
Образование	(3,4) [8,8]	(6,8) [10,3]	(3,4) [12,9]	(3,7) [7,5]	(4,1) [10,4]	(5,3) [10,0]	(4,3) [9,2]	(2,6) [7,4]	(2,9) [6,4]	(2,0) [8,5]	(3,7) [8,0]	(3,5) [8,5]
Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	(4,6) [7,1]	(6,4) [8,1]	(3,6) [7,6]	(5,1) [6,7]	(7,7) [9,0]	(5,8) [7,8]	(6,0) [7,1]	(4,2) [8,2]	(4,8) [6,0]	(3,5) [7,9]	(5,0) [6,7]	(4,2) [5,9]
Другие виды деятельности	(12,3) [18,3]	(19,5) [15,9]	(6,8) [18,1]	(13,0) [19,3]	(17,4) [20,0]	(12,6) [18,1]	(22,6) [22,7]	(10,6) [21,7]	(16,9) [16,7]	(7,4) [19,1]	(14,0) [19,8]	(11,9) [18,2]

Примечание. В круглых скобках – отраслевая структура валового регионального продукта, в квадратных – занятость населения по видам экономической деятельности [Регионы России. Социально-экономические ..., 2022; 2023; Регионы России. Основные ..., 2022].

Межотраслевые диспропорции, сформировавшиеся в структуре региональных ТПС субъектов ДФО, имеют, с одной стороны, общие черты, а с другой – свои особенности. В частности, общей чертой для территориально-отраслевой структуры региональных ТПС, сформировавшихся в пределах северных регионов, является высокая доля такого вида деятельности, как добыча природных ресурсов: При крайне низкой доле обрабатывающих производств. Например, в Республике Саха (Якутия) доля добычи полезных ископаемых (руды драгоценных и цветных металлов) составляет 59,0 % в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости и 10,6 % всего занятого в экономике населения; Магаданская область – 55,0 % валовой добавленной стоимости и 16,8 % занятого населения; Чукотский автономный округ – 41,6 % валовой добавленной стоимости и 17,9 % занятого населения. При значении этих показателей по Дальнему Востоку в целом соответственно – 31,3 % и 3,9 %.

В то же время в Республике Саха доля обрабатывающих производств составляет всего 0,9 % валовой добавленной стоимости и 5,5 % занятого населения; Магаданской области – 1,0 % валовой добавленной стоимости и 2,9 % занятого населения; в Чукотском автономном округе соответственно 0,2 % и 1,5 %. Такая же ситуация сложилась и в южном субъекте ДФО – Сахалинской области, где добыча полезных ископаемых (нефти и природного газа) достигает 60,0 % валовой добавленной стоимости региона. При значении этого показателя по Дальнему Востоку в целом – 4,9 % и 8,1 %.

Ведущими факторами формирования диспропорций в территориально-отраслевой структуре региональных ТПС выступают природно-ресурсный потенциал территории и акватории (добыча нефти и природного газа на сахалинском шельфе) и природно-климатические условия.

Сложные природно-климатические условия и удаленность Дальнего Востока от более освоенных в социально-экономическом отношении субъектов европейской части страны обуславливают особое значение инфраструктурных видов деятельности в территориально-отраслевой структуре региональных ТПС. В первую очередь это относится к такому виду деятельности, как обеспечение электрической электроэнергией, газом и паром, водоснабжение, водоотведение и т. п. В структуре таких регионов, как Чукотский автономный округ, Магаданская область, Республика Саха (Якутия) и др., отмечаются высокие значения вида деятельности в валовой добавленной стоимости и занятости населения. Например, в Чукотском автономном округе они достигают 14,1 % от производства валовой добавленной стоимости и 13,6 % от всего занятого населения (для Дальнего Востока в целом эти значения составляют 3,3 % и 4,8% соответственно).

Роль другого фактора комплексообразования (выгодного экономико-географического положения) проявляется в ускоренном развитии такого вида деятельности, как транспортировка и хранение. Его доля особенно заметна в территориально-отраслевой структуре региональных ТПС Приморского, Хабаровского и Забайкальского краев, Еврейской автономной области, находящихся в зоне непосредственного влияния Транссибирской железнодорожной магистрали (с выходами к морским портам дальневосточных морей и пограничным переходам в КНР и КНДР). Например, в Приморском крае она составляет 18,7 % валовой добавленной стоимости и 11,3 % занятого населения; Хабаровском – 16,6 % и 9,3 %; Забайкальском – 13,9 % и 12,0 %, Еврейской автономной области – 15,0 % и 9,8 %. При значении этого показателя для Дальнего Востока в целом – 10,0 % и 9,8 % соответственно.

Потребительский фактор (спрос населения и его покупательная способность) во многом определяет положение в территориально-отраслевой структуре региональных комплексов обслуживающих видов деятельности, например, торговли оптовой и розничной; деятельности гостиниц и предприятий общественного питания; деятельности по операциям с недвижимостью; образования и деятельности в области здравоохранение и социальных услуг. В частности, наиболее высокие значения показателя (выше, чем по Дальнему Востоку в целом) для торговли оптовой и розничной отмечаются в Приморском и Хабаровском краях, Амурской области и Республике Бурятия, т. е. в регионах с наибольшей численностью постоянного населения среди субъектов ДФО.

Процесс комплексообразования охватывает всю систему общественного производства – от отдельных локальных ТПС, развивающихся в пределах городского поселения, до районных комплексов и единого народнохозяйственного комплекса страны. Начиная проявляться с момента формирования отдельных предприятий и их сочетаний в пределах поселений и различных по размеру городов (по объему промышленного производства, численности населения), процесс комплексообразования переходит затем с локального на региональные уровни (например, в ТПС низового административного района, дробного экономического района, края (области), экономического района и т. д.). Некоторыми своими звеньями процесс формирования ТПС может выходить на уровень международного разделения и интеграции хозяйства.

Локальные ТПС (промышленные узлы) различаются по размерам производства и численности населения: крупнейшие, крупные, большие, средние и малые и, в зависимости от этого, они выполняют различную функцию в региональных комплексах. Обслуживающие производства крупнейших и крупных, а также больших и иногда средних локальных ТПС (промышленных узлов), как правило, формируют отрасли обслуживания потребностей производства и населения региональных ТПС. Основные производства в локальных ТПС (промышленных узлах), участвующие в межрайонном разделении труда, выполняют в основном функцию отраслей специализации региональных ТПС. Достижение

рационального, пропорционального сочетания в структуре региональных ТПС крупнейших, крупных, больших, средних и малых локальных ТПС (промышленных узлах) всегда было важнейшей проблемой при разработке планов и программ социально-экономического развития регионов Дальнего Востока России.

Важнейшие диспропорции в структуре региональных ТПС зачастую закладываются еще на локальном уровне. В частности, неравномерное развитие добывающих и обрабатывающих производств, основных и обслуживающих видов деятельности и др. отмечаются в структуре объема отгруженных товаров собственного производства, выполненных собственными силами работ и услуг по видам экономической деятельности в основных локальных ТПС (промышленных узлах) Дальневосточного Федерального округа. (рис. 2). По мнению П.Я. Бакланова и Романова М.Т., на территории дальневосточных регионов России выделяются следующие зоны социально-экономического развития [Современная Россия..., 2020]: арктическая зона, горно-промышленная зона освоения минерального сырья, зона влияния Байкало-Амурской магистрали (БАМ), зона влияния Транссиба, Прибрежная зона и др. Каждая зона располагает специфическим сочетанием благоприятных и негативных факторов социально-экономического развития.

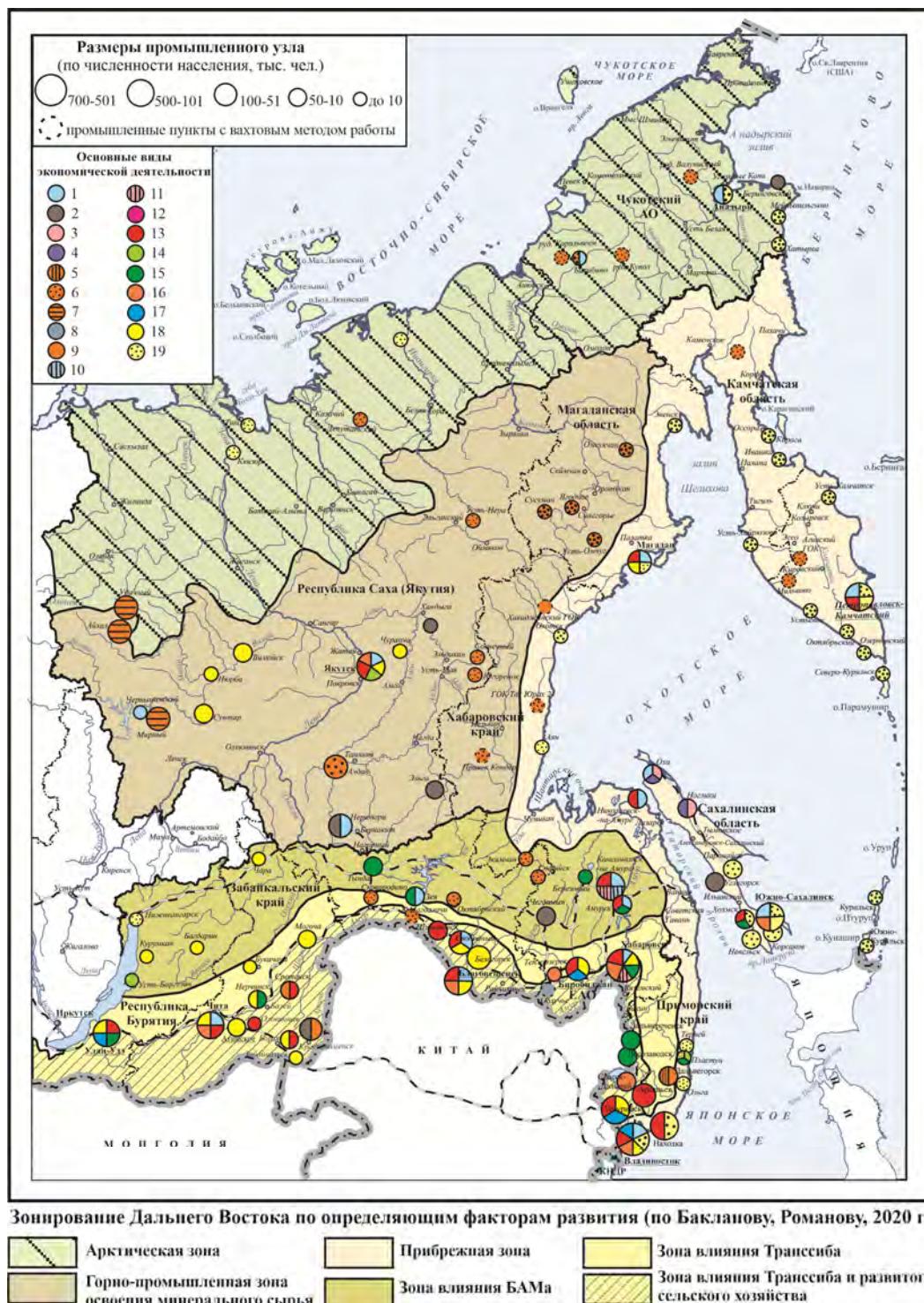
Формирующиеся на территории дальневосточных регионов России локальные ТПК (промышленные узлы) в процессе образования и развития своей отраслевой структуры находятся под воздействием совокупности благоприятных и негативных факторов развития. Например, в арктической зоне, горно-промышленной, зоне влияния Байкало-Амурской магистрали (БАМ) выделяется ряд богатейших и уникальных месторождений минерального природного сырья, пользующегося стабильно высоким спросом на отечественном и зарубежных рынках.

Наиболее крупные локальные ТПС (промышленные узлы) в арктической и горно-промышленной зоне освоения минеральных ресурсов расположены в Республике Саха (Якутия) – Алдан (добыча золота), Мирный, Айхал, Удачный (добыча алмазов), Эльга (добыча угля), в Магаданской области – Омсукчан, Ягодное (добыча золота) и др. В то же время полномасштабное использование всей совокупности имеющихся в этих зонах природных ресурсов ограничено суровыми природно-климатическими условиями, слабой инфраструктурной обустроенностю территории, удаленностью от рынков сбыта продукции.

В Приморской зоне сложились локальные ТПС (промышленные узлы), в структуре которых преобладают виды деятельности, базирующиеся на добыче и переработке уникальных биоресурсов моря; нефти и природного газа на шельфе; занятые обслуживанием других «морских» отраслей экономики: судостроения, судоремонта, морского транспорта (Владивосток, Находка, Петропавловск-Камчатский, Советская Гавань, Оха и др.). Развитие этих видов деятельности существенно ограничено динамикой запасов биоресурсов моря, колебанием спроса на рынках в недружественных странах, в т. ч. и в результате введения экономических санкций.

Высокая дифференциация отраслевой структуры экономики характерна в большей степени для локальных ТПС (промышленных узлов), расположенных в зоне Транссиба, с развитым машиностроением, легкой и пищевой промышленностью, производством строительных материалов, деревообработкой, транспортом и логистикой, сельским хозяйством (Чита, Улан-Удэ, Благовещенск, Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре, Уссурийск, Дальнереченск, Спасск-Дальний и др.).

Крупные промышленные узлы, сформированные на основе городских поселений, играют ведущую роль в формировании отраслевой структуры экономики дальневосточных регионов России (табл. 3).



Основные виды экономической деятельности: 1 – производство и распределение электроэнергии, 2 – добыча угля, 3 – добыча нефти, 4 – добыча природного газа, 5 – добыча цветных металлов, 6 – добыча драгоценных металлов, 7 – добыча алмазов, 8 – добыча железных руд, 9 – производство цветных и драгоценных металлов, 10 – производство стали и сплавов, 11 – переработка нефти и газа, 12 – химическое производство, 13 – производство и ремонт машин и оборудования, 14 – лесозаготовка, 15 – деревообработка, 16 – производство строительных материалов, 17 – производство одежды и обуви, 18 – производство пищевых продуктов, 19 – рыболовство, переработка рыбы и морепродуктов.

Рис. 2. Локальные ТПС (промышленные узлы) в основных зонах социально-экономического развития дальневосточных регионов России. Составлено по: [Современная Россия..., 2020]

Fig. 2. Local TPSs (industrial hubs) in the main socio-economic development zones of the Far Eastern regions of Russia. Compiled by: [Modern Russia..., 2020]

Среди представленных локальных ТПС (промышленных узлов), сформировавшихся в городских поселениях, 10 расположены в приморских регионах Дальнего Востока, в т. ч. 5 размещаются в прибрежной зоне этих субъектов. Такое географическое положение локальных ТПС (промышленных узлов) отражается на их отраслевой структуре экономики, где в максимальной степени проявляется дополнительный экономический эффект от сочетания ресурсов суши и прибрежной акватории. В качестве основных производств в их структуре представлены «морехозяйственные» виды деятельности (морской транспорт, улов рыбы и добыча морепродуктов, судостроение и судоремонт), а также обслуживающие отрасли хозяйства.

Таблица 3
 Table 3

Удельный вес локальных ТПС (промышленных узлов) в процентах от основных экономических

показателей субъекта Дальневосточного Федерального округа, 2021

Share of local TPSs (industrial hubs), as a percentage of the main economic indicators of the subject of the Far Eastern Federal District, 2021

Городские поселения	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; водоснабжение;	Водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	Объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство»
Крупнейшие города					
Владивосток	15,3	45,7	60,3	51,7	27,2
Хабаровск	0,1	15,5	54,3	72,9	30,7
Крупные города					
Улан-Удэ	—	79,9	41,4	71,7	27,6
Чита	—	38,8	39,0	—	11,8
Якутск	2,6	34,2	28,9	39,3	6,4
Большие					
Артем	—	2,0	6,6	3,6	6,3
Благовещенск	13,3	49,1	57,4	31,8	16,8
Комсомольск-на-Амуре	—	43,2	25,7	13,6	7,1
Петропавловск-Камчатский	—	56,8	40,8	55,7	31,8
Находка	—	5,7	1,6	13,5	8,4
Уссурийск	—	8,3	3,6	7,3	7,7
Южно-Сахалинск	38,8	39,0	19,5	2,7	52,9
Средние					
Биробиджан	—	16,0	93,8	67,9	0,1
Магадан	0,4	0,5	48,0	67,6	13,5
Малые					
Анадырь	1,2	21,4	13,4	19,1	8,0

Малые города – с численностью населения до 50 тыс. чел.; средние – от 50,1 до 100; большие – от 100,1 до 250; крупные – от 250,1 до 500; крупнейшие – от 500,1 до 1 млн., по состоянию на 1.01.2022 г. Прибрежные поселения: Владивосток. Составлено по: [Регионы России. Основные показатели ..., 2022].

Все представленные локальные ТПС (промышленные узлы) выполняют важные функции в экономике своих региональных комплексов. Здесь сосредоточен основной экономический потенциал регионов: в первую очередь обрабатывающие производства и обслуживающие виды деятельности, производственная инфраструктура. В то же время именно здесь на локальном уровне комплексообразования формируются основные диспропорции, характерные для региональных комплексов. В первую очередь это диспропорции между добывающими и обрабатывающими производствами. Во всех локальных ТПС (промышленных узлах) отмечается их высокая доля в выпуске продукции обрабатывающих производств региона. Достаточно значительный вклад в добычу полезных ископаемых в регионе вносят крупнейшие, крупные и большие городские поселения, расположенные во Владивостоке, Южно-Сахалинске, Благовещенске, Якутске, где зарегистрированы центральные офисы крупных добывающих компаний. Из местных добывающих производств можно отметить добычу строительных материалов для компаний, выполняющих работы по виду экономической деятельности «Строительство».

Таким образом, структурные диспропорции региональных комплексов закладываются на локальном уровне комплексообразования. Именно для локальных комплексов, формирующихся в пределах поселений, при достижении устойчивого развития территориально-отраслевой структуры характерна большая зависимость от сочетания факторов производства. В частности, преобладание в структуре локальных комплексов добывающих производств, в случае исчерпания природных ресурсов или колебания спроса на их продукцию на мировых и национальных рынках, может вызывать снижение объемов производства, сокращение числа занятых, миграцию населения.

Преодоление сложившихся диспропорций между элементами структуры ТПС разного ранга, формирование диверсифицированной структуры экономики являются важнейшими условиями устойчивого функционирования экономики регионов и достижения высокого качества жизни населения. Государственное регулирование в этом случае заключается в создании условий для формирования такой многоуровневой совокупности локальных и региональных ТПС, где существует эффективная кооперация взаимосвязанных производств, направленная на преодоление сложившихся структурных диспропорций.

Заключение

Территориально-производственное комплексообразование представляет собой непрерывный процесс формирования и развития территориально-производственных систем разного ранга в эффективный территориально-производственный комплекс за счет рационального использования территориальных сочетаний местных ресурсов, производственной и социальной инфраструктур, транспортной сети.

В процессе комплексообразования, под воздействием совокупности благоприятных и негативных факторов, формируются региональные и локальные территориально-производственные системы, в структуре экономики которых функционируют специализированные и обслуживающие виды экономической деятельности. Роль и место вида деятельности в структуре региональных и локальных ТПС определяются его положением в системе территориального труда, а также наличием на территории благоприятных и негативных факторов развития. Негативные факторы (дефицит ресурсов, низкий уровень социально-экономического развития территории, высокие издержки производства и пр.) ограничивают возможности пропорционального развития всех элементов территориально-отраслевых структур. В результате формируются пространственные структуры хозяйства с особыми региональными территориально-хозяйственными структурами, которые можно представить в виде широтных и меридиональных профилей. Отличительной чертой территориальной структуры региональных ТПС являются значительные диспропорции (между добывающими и обрабатывающими предприятиями, отраслями специализации и обслуживающими производствами и т. п.).

На территории дальневосточных регионов России сформировались зоны комплексообразования, отличающиеся сочетанием благоприятных и негативных факторов развития. Сложившиеся здесь территориальные сочетания благоприятных (богатейшие природные ресурсы суши и акватории, выгодное приморское экономико-географическое положение и др.) и негативных (сравнительно низкий уровень инфраструктурного освоения территории, сложные природно-климатические условия, большая удаленность от более развитых европейских регионов страны и др.) факторов определяют уровень развития и особенности отраслевой структуры локальных ТПС (промышленных узлов). При этом в структуре северных локальных ТПС (арктическая, горно-промышленная зоны) преимущественное развитие получили добывающие виды деятельности, а в южных (зона Транссиба, Приморская) – обрабатывающие производства, транспорт и логистика.

Развитие ТПС разного ранга в дальневосточных регионах России особенно важно для обеспечения экономической безопасности страны в условиях экономических санкций.

Список источников

- Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2022: Статистический сборник. Москва, Росстат, 460 с.
- Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023. Статистический сборник. Москва, Росстат, 1122 с.
- Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023. Статистический сборник, Москва, Росстат, 1126 с.
- Современная Россия: географическое описание нашего Отечества. Дальний Восток. 2020. Отв. редакторы В.М. Котляков, П.Я. Бакланов. Москва, Паулсен, 464 с.
- Шарыгин М.Д. 1975. Дробное районирование и локальные территориально-производственные комплексы. Пермь, Пермский университет, 139 с.

Список литературы

- Авдеев Ю.А., Арзамасцев И.С., Бакланов П.Я., Ганзей К.С., Егидарев Е.Г., Ермошин В.В., Каракин В.П., Корниенко О.С., Ланкин А.С., Ларин В.Л., Медведева И.А., Мошков А.В., Романов М.Т., Степанько Н.Г., Ткаченко Г.Г., Ушаков Е.А., Ушакова В.Л., Шведов В.Г. 2023. Пространственное развитие Тихоокеанской России: структурные особенности, факторы, основные направления. Владивосток, ТИГ ДВО РАН, 449 с. <https://doi.org/10.35735/9785604968321>
- Агафонов Н.Т. 1983. Территориально-производственное комплексообразование в условиях развитого социализма. Л., Наука, 188 с.
- Бакланов П.Я. 2007. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. Москва, Наука, 237 с.
- Бакланов П.Я. 2024. Пространственные структуры и территориальные системы в региональном развитии. Владивосток, Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, 464 с.
- Бакланов П.Я., Мошков А.В., Ткаченко Г.Г., Ушаков Е.А. 2024. Производственно-технические структуры в приморских поселениях Тихоокеанской России. Тихоокеанская география, 1(17): 5–19. https://doi.org/10.35735/26870509_2024_17_1
- Бакланов П.Я., Романов М.Т. 2009. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России. Владивосток, Дальнаука, 167 с.
- Бакланов П.Я., Романов М.Т. 2019. Направления долгосрочного развития Дальневосточного региона. Вестник Дальневосточного отделения РАН, 4(206): 6–18. <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.206.4.001>
- Бандман М.К. 1980. Территориально-производственные комплексы: теория и практика предплановых исследований. Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 254 с.
- Безруков Л.А. 2006. Сибирские ТПК на рубеже веков: делимитизация, значимость, эффективность. В кн.: Пространственная организация хозяйства: ТПК или кластера? Москва, ИГ РАН-МАРС: 120–131.

- Безруков Л.А. 2008. Континентально-оceanическая дилютомия в международном и региональном развитии. Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 369 с.
- Колосовский Н.Н. 1947. Производственно-территориальные сочетания (комплекс) в советской экономической географии. Вопросы географии, 6: 133–168.
- Космачев К.П. 1974. Пионерное освоение тайги (экономико-географические проблемы). Новосибирск, Наука, 144 с.
- Малов В.Ю., Бандман М.К., Есикова Т.Н., Трибис Д.Ю. 1997. Математические методы исследования территориально-производственных систем: учет условий переходного периода и изменения геополитического положения России. Информационный бюллетень РФФИ, 5(6): 136.
- Мошков А.В. 2001. Территориально-производственное комплексообразование на Дальнем Востоке. Владивосток, Дальнаука, 155 с.
- Саушкин Ю.Г. 1973. Экономическая география: история, теория, методы, практика. Москва, Мысль, 559 с.
- Хрущев А.Т. 1990. География промышленности СССР. Москва, Высшая Школа, 223 с.
- Чистобаев А.И. 1980. Развитие экономических районов: Теория и методы исследования. Ленинград, Наука, 128 с.
- Шерин Е.А. 2015. Экономико-географический анализ развития угольного цикла производств Кузбасса за пределами Кемеровской области. Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле», 14: 128–138.

References

- Avdeyev Yu.A., Arzamastsev I.S., Baklanov P.Ya., Ganzey K.S., Egidarev E.G., Ermoshin V.V., Karakin V.P., Korniyenko O.S., Larkin A.S., Larin V.L., Medvedeva I.A., Moshkov A.V., Romanov M.T., Stepansko N.G., Tkachenko G.G., Ushakov E.A., Ushakova V.L., Shvedov V.G. 2023. Prostranstvennoe razvitiye Tihookeanskoy Rossii: strukturnye osobennosti, faktory, osnovnye napravlenija [Spatial Development of Pacific Russia: Structural Features, Factors, Main Directions]. Vladivostok, TIG DVO RAN Publ., 449 p. <https://doi.org/10.35735/9785604968321>
- Agafonov N.T. 1983. Territorial'no-proizvodstvennoe kompleksoobrazovanie v uslovijah razvitetogo socializma [Territorial-Production Complex Formation in the Conditions of Developed Socialism]. Leningrad, Nauka Publ., 188 p.
- Baklanov P.Ya. 2007. Territorial'nye struktury hozjajstva v regional'nom upravlenii [Territorial Structures of the Economy in Regional Management]. Moscow, Nauka Publ., 237 p.
- Baklanov P.Ya. 2024. Prostranstvennye struktury i territorial'nye sistemy v regional'nom razvitiu [Spatial Structures and Territorial Systems in Regional Development]. Vladivostok, Pacific Geographical Institute of the FEB of RAS Publ., 464 p.
- Baklanov P.Ya., Moshkov A.V., Tkachenko G.G., Ushakov E.A. 2024. Industrial and Technical Structures in the Coastal Settlements of Pacific Russia. Pacific Geography, 1(17): 5–19 (in Russian). https://doi.org/10.35735/26870509_2024_17_1
- Baklanov P.Ya., Romanov M.T. 2009. Economic-Geographical and Geopolitical Situation of the Pacific Region of Russia. Vladivostok, Dalnauka Publ., 167 p. (in Russian).
- Baklanov P.Ya., Romanov M.T. 2019. Directions of the Long-Term Development of the Far Eastern Region of Russia. Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 4(206): 6–18 (in Russian). <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.206.4.001>
- Bandman M.K. 1980. Territorial'no-proizvodstvennye kompleksy: teoriya i praktika predplanovyh issledovanij [Territorial-Production Complexes: Theory and Practice of Pre-Planning Studies]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 254 p.
- Bezrukov L.A. 2006. Sibirskie TPK na rubezhe vekov: delimitizacija, znachimost', effektivnost' [Siberian TPCs at the Turn of the Century: Delimitation, Significance, Efficiency]. In: Prostranstvennaja organizacija hozjajstva: TPK ili klastera? [Spatial Organization of the Economy: TPC or Cluster?]. Moscow, IG RAN-MARS Publ.: 120–131.
- Bezrukov L.A. 2008. Kontinental'no-oceanicheskaja dihotomija v mezhdunarodnom i regional'nom razvitiu [The Continental-Oceanic Dichotomy in International and Regional Development]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo “Geo” Academic Publ., 369 p.

- Kolosovskiy N.N. 1947. Proizvodstvenno-territorial'nye sochetanija (kompleks) v sovetskoj jekonomiceskoy geografii [Production-Territorial Combinations (Complex) in Soviet Economic Geography]. Voprosy geografii, 6: 133–168.
- Kosmachev K.P. 1974. Pionernoje osvoenie tajgi (ekonomiko-geograficheskie problemy) [Pioneer Development of the Taiga (Economic and Geographical Problems)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 144 p.
- Malov V.Yu., Bandman M.K., Esikova T.N., Tribis D.Yu. 1997. Matematicheskie metody issledovanija territorial'no-proizvodstvennyh sistem: uchet uslovij perehodnogo perioda i izmenenija geopoliticheskogo polozhenija Rossii [Mathematical Methods of Studying Territorial-Production Systems: Taking into Account the Conditions of the Transition Period and Changes in the Geopolitical Position of Russia]. Informacionnyj bulleten' RFFI, 5(6): 136.
- Moshkov A.V. 2001. Territorial'no-proizvodstvennoe komplekssoobrazovanie na Dal'nem Vostoke [Territorial-Industrial Complex Formation in the Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 155 p.
- Saushkin Yu.G. 1973. Economic Geography: Theory and Methods. Moscow, Mysl Publ., 559 p.
- Khrushev A.T. 1990. Geografija promyshlennosti SSSR [Geography of Industry of the USSR]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 223 p.
- Chistobaev A.I. 1980. Razvitiye jekonomiceskikh rajonov: Teoriya i metody issledovaniya [Development of Economic Regions: Theory and Research Methods]. Leningrad, Nauka Publ., 128 p.
- Sherin E.A. 2015. Economic Geographical Analysis of the Development of Kuzbas Coal Production Cycle Outside the Kemerovo Region. The Bulletin of Irkutsk State University». Series “Earth Sciences”, 14: 128–138 (in Russian).

Поступила в редакцию 03.03.2025;
поступила после рецензирования 09.04.2025;
принята к публикации 20.06.2025

Received March 03, 2025;
Revised April 09, 2025;
Accepted June 20, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Мошков Анатолий Владимирович, доктор географических наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории Территориально-хозяйственных структур, Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anatolii V. Moshkov, Doctor of Geography, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Territorial and Economic Structures, Pacific Geographical Institute of the FEB RAS, Vladivostok, Russia.

УДК 911.3:30 (470.344)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-589-600
EDN XEMQPU

Анализ качества первичной медицинской помощи сельскому населению Чувашии на основе социологического опроса

¹Харитонов Ан.Ю., ¹Доронина К.А., ¹Никонорова И.В., ²Харитонов Ал.Ю.

¹Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
Россия, 428000, г. Чебоксары, Московский пр-т, 15

²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

andreykh97@mail.ru, kseniya_do@list.ru, niko-inna@yandex.ru, ComradeAlexander@yandex.ru

Аннотация. Исследование направлено на оценку удовлетворенности сельского населения Чувашской Республики качеством и доступностью первичной медицинской помощи. Задачи работы – оценка уровня удовлетворенности медицинским обслуживанием, выявление ключевых проблем в получении медицинской помощи и определение корреляции между доступностью услуг и удовлетворенностью пациентов. Для достижения задач в муниципальных округах Чувашии был проведен социологический опрос населения методом интервьюирования. Выборочная совокупность формировалась с учетом половозрастной структуры и численности населения каждого округа. В ходе исследования оценивались показатели: качество и доступность первичной медицинской помощи по месту жительства и в республиканских медицинских центрах, обеспеченность врачебными кадрами, а также основные трудности, с которыми сталкиваются пациенты при получении помощи. Дополнительно выполнен корреляционный анализ взаимосвязи между показателями доступности медицинской помощи и уровнем удовлетворенности населения. В результате исследования установлено, что большинство респондентов оценивают качество медицинской помощи как удовлетворительное, однако практически повсеместно отмечается дефицит узких специалистов. Ключевыми проблемами являются нехватка медицинских кадров в сельской местности, сложности с записью на прием, равнодушное и халатное отношение к лечению заболеваний со стороны медицинского персонала.

Ключевые слова: социологический опрос, первичная медицинская помощь, муниципальный округ, удовлетворенность населения, Чувашская Республика

Для цитирования: Харитонов Ан.Ю., Доронина К.А., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю. 2025. Анализ качества первичной медицинской помощи сельскому населению Чувашии на основе социологического опроса. Региональные геосистемы, 49(3): 589–600. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-589-600 EDN: XEMQPU

Quality of Primary Health Care for Chuvash Rural Population: A Survey-Based Analysis

¹Andrey Y. Kharitonov, ¹Ksenia A. Doronina, ¹Inna V. Nikonorova,

²Alexander Y. Kharitonov

¹I.N. Ulyanov Chuvash State University
15 Moskovsky Ave, Cheboksary 428000, Russia

²Kazan (Volga region) Federal University,
18 Kremlevskaya St, Kazan 420008, Russia

andreykh97@mail.ru, kseniya_do@list.ru, niko-inna@yandex.ru, ComradeAlexander@yandex.ru

Abstract. The study is aimed at assessing the satisfaction of the rural population in the Chuvash Republic with the quality and availability of primary health care. The objectives of the work are to assess the level

© Харитонов Ан.Ю., Доронина К.А., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю., 2025

of satisfaction with medical care, identify key problems in obtaining medical care and determine the correlation between the availability of services and patient satisfaction. To achieve the objectives, a sociological survey of the population was conducted using the interview method in the municipal districts of Chuvashia. The sample was formed taking into account the age and gender structure, and the population size of each district. The study assessed the following indicators: quality and availability of primary health care at the place of residence and in republican medical centers, staff sufficiency, as well as the main difficulties that patients face when receiving care. In addition, a correlation analysis was performed between the indicators of medical care accessibility and satisfaction level. According to the study findings, most respondents assess the quality of medical care as satisfactory, but almost everywhere there is a shortage of specialists. The key problems are the shortage of medical personnel in rural areas, difficulties with making appointments, and an indifferent and negligent attitude to the treatment of diseases.

Keywords: sociological survey, primary health care, municipal district, population satisfaction, Chuvash Republic

For citation: Kharitonov An.Y., Doronina K.A., Nikonorova I.V., Kharitonov Al.Y. 2025. Quality of Primary Health Care for Chuvash Rural Population: A Survey-Based Analysis. Regional Geosystems, 49(3): 589–600 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-589-600 EDN: XEMQPU

Введение

Уровень обеспеченности и доступности первичной медицинской помощи является одним из ключевых индикаторов социально-экономического благополучия населения региона. В работе представлены результаты социологического опроса сельских жителей Чувашской Республики, посвященного оценке качества и доступности медицинской помощи. Респонденты также высказали мнение об основных проблемах, с которыми сталкиваются при ее получении. Актуальность исследования обусловлена растущей проблемой кадрового дефицита в периферийных муниципальных округах, а также процессом оптимизации структуры здравоохранения, который особенно остро отразился на сельских жителях.

Социологические опросы играют важную роль в медицинских исследованиях, позволяя выявить влияние социальных, экономических и экологических факторов на здоровье населения. Они обеспечивают сбор данных о доступности медицинской помощи и уровне заболеваемости среди различных групп. Кроме того, такие опросы помогают выявить особенности состояния здоровья населения в разных регионах, которые необходимо учитывать при планировании и реализации программ в сфере здравоохранения.

В работе использованы современные подходы к организации социологических исследований в сфере здравоохранения. М.А. Татарников [2013] подчеркивает необходимость разработки стандартизованных методик социологических опросов в здравоохранении, поскольку отсутствие единых подходов затрудняет сопоставление результатов различных исследований. А.М. Гржибовский [2008] анализирует подходы к расчету объема выборки для корреляционного анализа в медицинских исследованиях, отмечая важность корректного определения ее размера для обеспечения статистической значимости. О.С. Кошевой и М.К. Карпова [2011] рассматривают классификацию типов выборки и методы ее формирования, включая требования к организации случайного отбора и возможности сокращения объема наблюдений без потери репрезентативности. Н.И. Курдалин [2023] предлагает методики расчета объема выборки для исследователей без специального математического образования, подчеркивая необходимость консультации со статистиками во избежание ошибок. А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов [2019] анализируют методы расчета минимального объема выборки для различных типов исследований, включая клинические и эпидемиологические. Б.К. Койчубеков, М.А. Сорокина, К.Э. Мхитарян [2014] рассматривают подходы к определению оптимального объема выборки при планировании научных исследований, давая рекомендации по выбору статистических показателей.

Работа опирается на труды, посвященные проблемам организации первичной медицинской помощи в сельской местности [Franco et al., 2021; Москвичева, Полинов, 2021; Gizaw et al., 2022; Oshkordina et al., 2024] и оценке удовлетворенности населения качеством медицинских услуг [Утеулин и др., 2018; Линденбратен, Коломийченко, 2021]. В географических исследованиях вопросы доступности здравоохранения часто рассматриваются в контексте качества жизни населения [Gellert, 1993; Brown et al., 2009; Meade, Emch, 2010] и географии сферы услуг. Среди отечественных географов можно назвать Ю.М. Зеленюк [2019], которая поднимает вопрос о значимости пространственного фактора при территориальном планировании медучреждений, а также М.Ю. Шерешеву с соавторами [2017], которая акцентирует внимание на особенностях оценки качества жизни, в т. ч. здравоохранения в малых городах.

Предметом исследования является организация и качество оказания первичной медицинской помощи в сельских муниципальных образованиях Чувашской Республики. Целью исследования является оценка доступности и качества организации первичной медицинской помощи в сельских муниципальных образованиях Чувашской Республики, основанная на социологическом опросе населения. В качестве основных задач выделены: определение уровня удовлетворенности медицинской помощью, выявление основных проблем при получении помощи и обеспеченность врачами, в которых нуждается население, а также анализ территориальных различий вышеперечисленных показателей в разрезе муниципальных округов Чувашии.

Статья является продолжением серии работ по оценке доступности первичной медицинской помощи сельскому населению Чувашии [Архипов, Харитонов, 2019; 2020; Архипов и др., 2024].

Объекты и методы исследования

К категории сельского населения авторы, на момент проведения социологического опроса, относят жителей всех населенных пунктов за исключением городов республиканского значения. Это связано с тем, что уровень медицинского обслуживания, инфраструктурная обеспеченность и доступность медицинской помощи для населения городов районного подчинения и сельских жителей фактически не отличается.

В системе здравоохранения выделяют четыре вида медицинской помощи, среди которых ключевое значение имеет первичная медико-санитарная помощь. Она включает профилактику, диагностику и лечение заболеваний, медицинскую реабилитацию, ведение беременности, а также мероприятия по формированию здорового образа жизни и санитарному просвещению населения. Под термином «доступность первичной медицинской помощи» подразумевается комплексный показатель, сочетающий кадровую обеспеченность и географическую доступность медицинской помощи.

Критическим моментом исследования является промежуток с 1 марта 2024 по 30 апреля 2024 года. Сбор данных произведен методом интервьюирования сельского населения. В данном исследовании генеральной совокупностью является население муниципальных округов Чувашской Республики в возрасте от 18 лет. Отбор респондентов осуществлялся случайным образом на основе выборочной совокупности, составленной с учетом половозрастного состава и численности населения муниципальных округов, которые получены в Министерстве здравоохранения Чувашской Республики. А также в качестве вспомогательного инструмента информации выступал Статистический ежегодник Чувашской Республики¹. Опрос состоял из 4 вопросов. Они звучали следующим образом: 1) довольны ли вы качеством и доступностью первичной медицинской помощи в республиканских медицинских центрах?; 2) довольны ли вы качеством и доступностью первич-

¹ Статистический ежегодник Чувашской Республики. 2024. Чебоксары, Чувашстат, 332 с.

ной медицинской помощи в местных медицинских центрах подчиненных Министерству здравоохранения Чувашской Республики?; 3) каких специалистов, по вашему мнению, не хватает в местных медицинских учреждениях?; 4) с какими проблемами вы сталкиваетесь при получении первичной медицинской помощи?

Определение числа участников социологического опросов состояло из нескольких этапов: определения допустимой ошибки выборки, расчета объема выборочной совокупности на основе данных по генеральной совокупности, распределение выборочной совокупности с учетом территориального и половозрастного разделения. Для оценки ошибки выборки был проведен анализ теоретических источников. В статьях по медицине и медицинской географии при проведении социологических вопросов ошибка выборки составляет не более 5 % [Татарников, 2013]. В связи с этим принято решение рассчитать выборочные совокупности для ошибок 1 %, 3 % и 5 %, после чего определялся оптимальный объем выборки, учитывая возможности исследовательской группы. По результатам анализа было принято решение остановиться на предельной ошибке 3 %, данный показатель сохранял баланс между репрезентативностью выборки и практической выполнимостью исследования.

При социологических опросах используется бесповторная случайная выборка. Формула расчета следующая:

$$n = \frac{t^2 * \sigma^2 * N}{\Delta^2 * N + t^2 * \sigma^2}$$

где: n – объем выборки; σ – дисперсия или мера рассеивания исследуемого признака, характеризующая величину отклонения от средних величин в генеральной совокупности; t – коэффициент доверия (критерий достоверности); Δ – предельная ошибка выборки; N – численность генеральной совокупности.

После определения числа участников социологического опроса было проведено их распределение. Первый этап включал территориальное распределение респондентов, общее число пропорционально разделено между 21 муниципальным округом Чувашии. Второй этап заключался в половозрастном распределении респондентов, в каждой территориальной единице выделены три возрастные группы среди мужчин и женщин, что в итоге составило 126 уникальных групп (21 округ \times 3 возрастные группы \times 2 пола). Для обеспечения целочисленного количества респондентов использовалось округление по стандартному арифметическому правилу. Однако в двух группах Порецкого муниципального округа из-за незначительной доли населения получился результат равный нулю, что нарушало принцип репрезентативности. В связи с этим в данном случае принято решение отойти от стандартного метода округления.

Результаты и их обсуждение

Удовлетворенность сельского населения качеством первичной медицинской помощи в республиканских центрах. В данном разделе рассматривается субъективная оценка сельского населения по вопросу об уровне доступности и качество медицинской помощи в республиканских медицинских центрах. На вопрос «довольны ли Вы качеством и доступностью первичной медицинской помощи в республиканских центрах» 51,58 % населения ответило «да», а ответ «нет» прозвучал в 25,35 % случаев, остальные предпочли воздержаться от ответа. Если посмотреть на результаты в разрезе муниципальных округов (МО), то выявлено, что в 6 МО, а именно в Аликовском, Батыревском, Канашском, Козловском, Красноармейском и Порецком, более 70% населения высказалось мнение об удовлетворенности и в 2 МО (Алатырский и Шумерлинский) о неудовлетворенности работой республиканских центров (табл. 1). Рассмотрим ответы респондентов в разрезе возрастно-половых групп. Высокий уровень удовлетворенности наблюдается в 2-х возрастных группах: 18–29 лет, 57 (62) лет и старше, где около 60 % опрошенных дали положительный

ответ. В то же время наиболее критичные оценки дали представители средней возрастной группы 30–57(62) лет. Такая возрастная дифференциация, вероятнее всего, обусловлена рядом факторов.

Для молодежи характерны относительно редкие обращения за медицинской помощью, тогда как пожилые пациенты, несмотря на более частые визиты в медицинские учреждения, демонстрируют большую лояльность к системе здравоохранения. Критичность же средневозрастной группы, наиболее активной в трудовом и социальном плане, объясняется более высокими требованиями к качеству и оперативности медицинского обслуживания, а также большей потребностью в различных видах медицинской помощи (табл. 2). Результаты опроса продемонстрированы в виде диаграмм на рис. 1.

Таблица 1
 Table 1

Удовлетворенность населения муниципальных округов качеством и доступностью медицинской помощи в республиканских центрах

Satisfaction of the population of municipal districts with the quality and availability of medical care in republican centers

Муниципальные округа	Ответы респондентов, в %		
	«Да»	«Нет»	«Затрудняюсь ответить»
Алатырский	5,26	94,74	0
Аликовский	83,33	5,56	11,11
Батыревский	90,7	2,33	6,98
Вурнарский	44,44	19,44	36,11
Ибресинский	40	44	16
Канашский	80,49	9,76	9,76
Козловский	72,73	9,09	18,18
Комсомольский	37,93	20,69	41,38
Красноармейский	76,47	5,88	17,65
Красночетайский	35,29	41,18	23,53
Мариинско-Посадский	43,48	21,74	34,78
Моргаушский	35,14	32,43	32,43
Порецкий	90	0	10
Урмарский	69,23	0	30,77
Цивильский	37,5	30	32,5
Чебоксарский	30,43	44,93	24,64
Шемуршинский	56,25	6,25	37,5
Шумерлинский	18,18	72,73	9,09
Ядринский	67,74	9,68	22,58
Яльчикский	40,91	50	9,09
Янтиковский	37,5	18,75	43,75

Таблица 2
 Table 2

Удовлетворенность медицинской помощью в республиканских центрах

в разрезе возрастно-половых групп

Satisfaction with medical care in republican centers by age and gender groups

Ответы	Возрастно-половые группы, в %								
	18–29 лет (женщины)	18–29 лет (мужчины)	18–29 лет	30–57 (62) лет (женщины)	30–57 (62) лет (мужчины)	30–57 (62) лет	57 (62) лет и старше (женщины)	57 (62) лет и старше (мужчины)	57 (62) лет и старше
«Да»	57,89	60,47	59,26	42,24	44	43,30	64,66	52,38	60,71
«Нет»	31,58	20,93	25,93	28,45	33,14	31,27	18,05	12,70	16,33
«Затрудняюсь ответить»	10,53	18,60	14,81	29,31	22,86	25,43	17,29	34,92	22,96

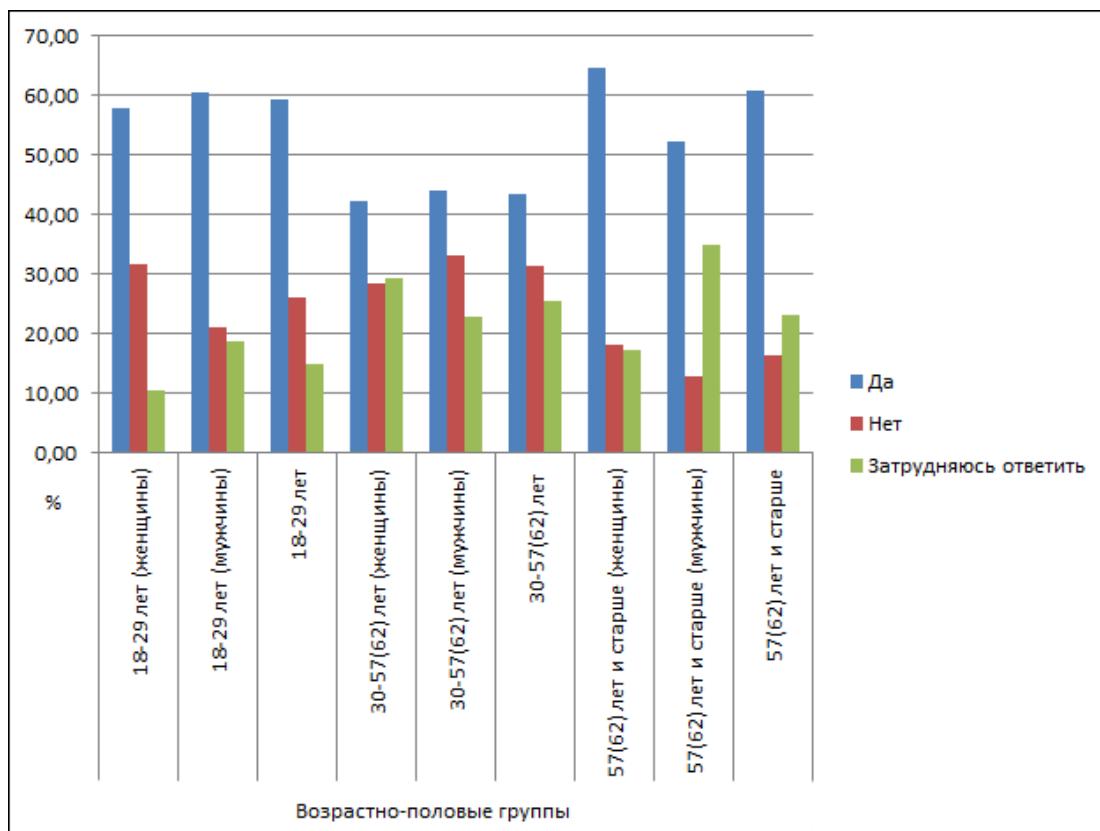


Рис. 1. Удовлетворенность представителей различных возрастно-половых групп медицинской помощью в республиканских центрах

Fig. 1. Satisfaction of representatives of different age and gender groups with medical care in republican centers

Оценка доступности и качества медицинской помощи в учреждениях местного уровня. Чаще всего крупнейшим медицинским центром является центральная районная больница (ЦРБ), но в Порецком МО таковым является участковая больница. На данный момент ЦРБ отсутствует в 2 МО, однако на момент исследования в Янтиковском МО ЦРБ являлась самостоятельным медицинским учреждением. Территории с высокой плотностью населения могут обслуживаться районными и участковыми больницами. Каждый район разделен на врачебные участки, которыми заведуют отделения общей врачебной практики и врачебные амбулатории. Труднодоступные и малозаселенные территории обслуживаются фельдшерско-акушерскими пунктами.

Результаты опроса позволяют классифицировать МО на 3 группы по уровню удовлетворенности: высокой, средней и низкой (рис. 2). В группе с высокой удовлетворенностью 6 МО: Аликовский, Батыревский, Канашский, Красноармейский, Козловский и Урмарский. Наибольший уровень удовлетворенности наблюдается в следующих МО: Аликовский, Батыревский, Канашский. В указанных МО доля респондентов, удовлетворенных качеством медицинского обслуживания, превышает 87 %. В остальных МО этот показатель находится в диапазоне 60–70 %. При анализе корреляционных связей между комплексной, географической доступностью, кадровой обеспеченностью и ответами респондентов, выявлена средняя обратная корреляция между ответом «нет» и кадровой обеспеченностью (коэффициент корреляции –0,39). Т. е. наблюдается закономерная связь, где при высоких значениях кадровой обеспеченности население реже дает отрицательный ответ. Результаты неудивительны, т. к. во всех МО наблюдается достаточно высокий уровень доступности медицинской помощи. А также данный показатель за последние 5 лет практически не изменился. Но исключением является Аликовский МО, где зафиксирована отрицательная динамика доступности, однако это не повлияло на ответы респондентов.

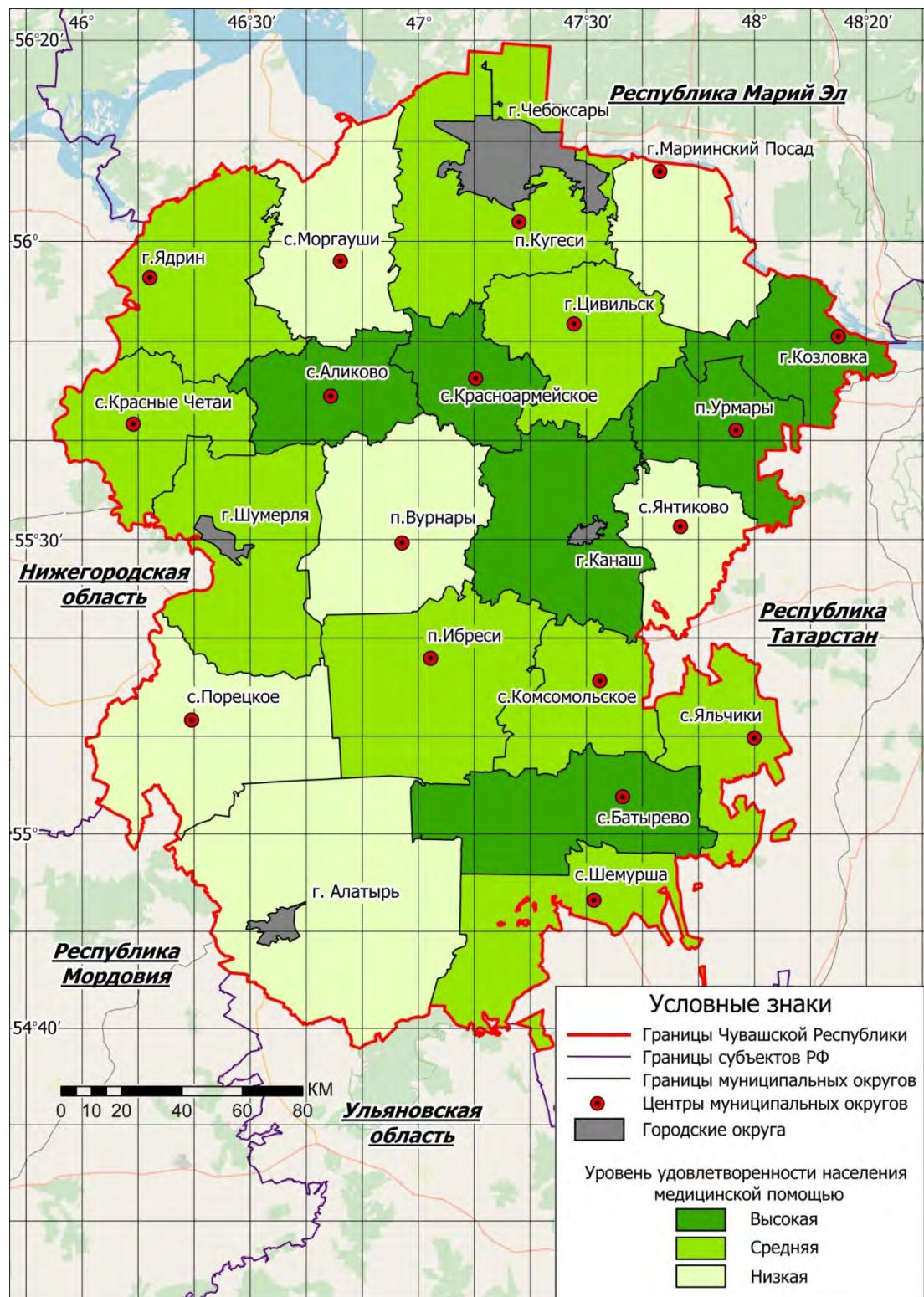


Рис. 2. Уровень удовлетворенности населения медицинской помощью в окружных центрах
Fig. 2. Level of population satisfaction with medical care in district centers

Перейдем к анализу группы МО со средними показателями удовлетворенности населения качеством медицинского обслуживания. Данная группа является наиболее многочисленной (9 МО): Ибресинский, Комсомольский, Красночетайский, Цивильский, Чебоксарский, Шемуршинский, Шумерлинский, Ядринский и Яльчикский. В данной группе МО наблюдается отсутствие единого мнения населения по рассматриваемому вопросу. Особенно выделяются Шемуршинский и Яльчикский МО. В Шемуршинском МО доля ответов «да» и «нет» аб-

согласно одинаковая. В Яльчикском МО положительную оценку работе местных медучреждений дали 50 % опрошенных. При этом в остальных округах данной группы преобладают негативные оценки качества медицинских услуг. Здесь наблюдается сильная прямая корреляция между ответом «да» и уровнем комплексной доступности (коэффициент корреляции 0,81). А также средняя корреляционная связь между географической доступностью и ответом «да» (коэффициент корреляции 0,55).

Низкие показатели удовлетворенности работой медицинских центров наблюдаются в 6 муниципальных округах: Алатырском, Вурнарском, Мариинско-Посадском, Моргаушском, Порецком, Янтиковском. Крайне негативно по данному показателю высказалось население Алатырского МО, где около 90 % опрашиваемых ответило «нет». В Мариинско-Посадском и Янтиковском МО подобный ответ был получен в 70–75 % случаев. Данные территории отличаются крайне низким уровнем доступности медицинской помощи, а также за 5-летний промежуток их население наиболее сильно ощутило падение уровня данного показателя. В остальных округах население высказалось менее резко. Рассмотрим корреляционные связи между результатами опросов и компонентами доступности медицинской помощи. Между показателем комплексной доступности и ответом «нет» зафиксирована средняя обратная связь (коэффициент корреляции –0,52). Такого же характера связь наблюдается между географической доступностью и ответом «нет» (коэффициент корреляции –0,41). А также средняя прямая связь между кадровой обеспеченностью и ответом «да» (коэффициент корреляции – 0,36). Подробные результаты опроса продемонстрированы в табл. 3.

Таблица 3
 Table 3

Удовлетворенность населения муниципальных округов медицинской помощью
 в окружных медицинских центрах

Satisfaction of the population of municipal districts with medical care in district medical centers

Муниципальные округа	Ответы респондентов, в %		
	«Да»	«Нет»	«Затрудняюсь ответить»
Алатырский	5,26	89,47	5,26
Аликовский	94,44	0	5,56
Батыревский	90,7	0	9,3
Вурнарский	11,11	66,67	22,22
Ибресинский	36	48	16
Канашский	87,8	9,76	2,44
Козловский	68,18	22,73	9,09
Комсомольский	27,59	51,72	20,69
Красноармейский	70,59	17,65	11,76
Красночетайский	29,41	58,82	11,76
Мариинско-Посадский	13,04	73,91	13,04
Моргаушский	16,22	64,86	18,92
Порецкий	20	60	20
Урмарский	61,54	19,23	19,23
Цивильский	35	48	17,5
Чебоксарский	30,43	55,07	14,49
Шемуршинский	43,75	43,75	12,5
Шумерлинский	45,45	54,55	0
Ядринский	38,71	51,61	9,68
Яльчикский	50	36,36	13,64
Янтиковский	18,8	75	6,25

Кадровый дефицит и проблемные аспекты медицинской помощи. Первоначально рассмотрим результаты анализа по вопросу о кадровом дефиците в МО. В ходе исследования респонденты называли не только дефицитные медицинские специальности, но и указали на недостаточную, по их субъективной оценке, эффективность работы специалистов. Наиболее часто по республике наблюдается нехватка таких специалистов, как кардиолог, онколог, акушер-гинеколог, уролог, хирург и терапевт. По вопросу об основных проблемах в состоянии здравоохранения МО, в подавляющем большинстве случаев звучал ответ о некомпетентности и отсутствии этики у специалистов, а также равнодушном и халатном отношении к лечению заболеваний. Кроме того, значительная часть опрошенных отметила острый дефицит медицинских кадров, особенно среди молодых специалистов. Значительная часть населения Канашского МО сталкивается с проблемами географической доступности медицинской помощи. Основная сложность заключается в необходимости добираться до медицинских учреждений, расположенных в селе Шихазаны, через транзитный пункт – город Канаш. При этом отмечается отсутствие прямого рейсового сообщения между населенными пунктами округа и селом Шихазаны, что существенно осложняет процесс получения медицинской помощи для сельских жителей. Однако качество самих специалистов в 87,8 % случаев их полностью удовлетворяет. Это один из немногих ЦРБ, где наблюдается полная лояльность к качеству работы местных врачей, выше показатель только в Аликовском и Батыревском МО.

Анализ выявил 3 МО с наиболее критической оценкой местной системы здравоохранения – Алатырский, Мариинско-Посадский и Янтиковский. В Алатырском МО население особенно остро ощущает нехватку терапевтов, онкологов и гинекологов, параллельно отмечая грубость персонала, халатное отношение к пациентам и случаи принуждения к платным услугам. Мариинско-Посадский МО сталкивается с дефицитом хирургов, отоларингологов и участковых терапевтов, проблемами с использованием устаревшего оборудования, сложностями записи на прием. В Янтиковском МО, помимо острой нехватки кардиологов, офтальмологов и терапевтов, респонденты указывают на неудовлетворительный уровень квалификации медицинских кадров и техническую отсталость лечебных учреждений. Общей для всех трех территорий стала системная проблема кадрового дефицита, усугубляемая низким качеством сервиса и недостаточным материально-техническим оснащением учреждений, что формирует комплексный кризис системы здравоохранения в вышеперечисленных МО.

Менее резко о недовольстве высказалось население Вурнарского, Моргаушского и Порецкого МО, где показатель в диапазоне от 60,0 % до 69,9 %. В Вурнарском МО основными проблемами стали дефицит кардиологов, урологов и онкологов, а также длительные очереди на прием. Население Моргаушского МО обеспокоено недостатком или отсутствием кардиологов, хирургов и урологов. Большинство недовольно качеством ремонта, а также уровнем обслуживания в больницах. Особый случай представляет Порецкий МО, где мнения разделились по возрастному признаку. Трудоспособное население высказалось практически единогласное мнение о неудовлетворенности качеством обслуживания, однако пожилая часть не разделяет его (50 % жителей высказали об удовлетворенности предоставлением первичной медицинской помощи). Большинство населения МО высказалось мнение о том, что наблюдается нехватка широкого ряда специалистов. В качестве основных проблем назвали: нехватку молодых специалистов, некомпетентность и отсутствие этики у врачей. Также стоит отметить, что в данном МО уже долгие годы отсутствует ЦРБ и основным медицинским учреждением является участковая больница, поэтому результаты не удивительны.

Заключение

Наиболее негативно о состоянии здравоохранения республики и МО высказываются представители возрастной группы 30–57(62) лет. Наибольшая удовлетворенность зафиксирована в Аликовском, Батыревском и Канашском МО. Анализ показал существенную разницу в уровне доверия населения к специалистам республиканских и местных медицинских центров.

Наиболее проблемными территориями по доступности и качеству медицинской помощи оказались Алатырский, Мариинско-Посадский и Янтиковский МО. В ходе исследования были зафиксированы средние корреляционные связи между показателями доступности и уровня удовлетворенности населения медицинской помощью. Значимые корреляционные связи между динамикой доступности и удовлетворенностью населения медицинской помощью наблюдаются лишь в округах с отрицательными значениями обоих показателей.

Жители наиболее часто жаловались на нехватку следующих специалистов: кардиолог, онколог, акушер-гинеколог, уролог, хирург и терапевт. Основные проблемы в состоянии здравоохранения МО подавляющее большинство отметило: некомпетентность и отсутствие этики у специалистов, а также равнодушное и халатное отношение к лечению заболеваний. Положительным исключением стали Батыревский и Канашский МО, где население отмечает высокую квалификацию специалистов.

Результаты имеют практическую значимость для совершенствования системы здравоохранения Чувашской Республики, в частности для разработки мер по ликвидации кадрового дефицита, оптимизации территориального размещения медицинских учреждений и повышения качества предоставляемых услуг. Выявленные территориальные различия в оценках населения позволяют дифференцированно подходить к решению проблем здравоохранения в различных муниципальных образованиях республики.

Список литературы

- Архипов Ю.Р., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю., Харитонов Ан.Ю. 2024. Анализ доступности первичной медицинской помощи для сельского населения Чувашской Республики. Региональные геосистемы, 48(4): 481–493. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-481-493>
- Архипов Ю.Р., Харитонов А.Ю. 2019. Территориальный анализ доступности первичной медицинской помощи населению муниципального района (на примере Чувашской Республики). В кн.: Геопространственные исследования общественных и природных систем: теория и практика. Чебоксары, ЧГУ им И.Н. Ульянова: 13–17.
- Архипов Ю.Р., Харитонов А.Ю. 2020. Территориальный анализ доступности медицинской помощи населению Чувашской Республики. В кн.: Науки о Земле: от теории к практике (Арчиковские чтения – 2020). Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 05–08 ноября 2020. Чебоксары, «Издательский дом «Среда»: 275–280.
- Гржибовский А.М. 2008. Выбор статистического критерия для проверки гипотез. Экология человека, 11: 48–57.
- Зеленюк Ю.М. 2019. Пространственный фактор в организации медицинского обслуживания населения Иркутской области. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 28: 48–61. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.48>.
- Койчубеков Б.К., Сорокина М.А., Мхитарян К.Э. 2014. Определение размера выборки при планировании научного исследования. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 4: 71–74.
- Кошевой О.С., Карпова М.К. 2011. Определение объема выборочной совокупности при проведении региональных социологических исследований. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки, 2(18): 98–104.
- Курдалин Н.И. 2023. Методики определения оптимального объема выборки для медицинских исследований. Молодой инновационный вестник, 12(2S): 498–501.
- Линденбратен А.Л., Коломийченко М.Е. 2021. Анализ результатов социологических исследований качества и доступности медицинского обслуживания. Медико-фармацевтический журнал Пульс, 23(6): 224–231. <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-6-225-231>.
- Москевичева М.Г., Полинов М.М. 2021. Анализ состояния первичной медико-санитарной помощи сельскому населению на региональном уровне. Уральский медицинский журнал, 20(1): 50–57. <https://doi.org/10.52420/2071-5943-2021-20-1-50-57>
- Наркевич А.Н., Виноградов К.А. 2019. Методы определения минимально необходимого объема выборки в медицинских исследованиях. Социальные аспекты здоровья населения, 65(6): 10.

- Татарников М.А. 2013. Зачем нужна стандартизованная методика социологического опроса в здравоохранении? Социология медицины, 2(23): 11–22.
- Утеулин М., Ошибаева А.Е., Уалиева А.Е., Нурбакыт А.Н. 2018. Оценка удовлетворенности пациентов и медицинских работников качеством оказываемых услуг. Вестник Казахского национального медицинского университета, 3: 344–347.
- Шерешева М.Ю., Оборин М.С., Костанян А.А. 2017. Особенности оценки качества жизни населения малых городов. *Ars Administrandi* (Искусство управления), 9(2): 289–311. <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2017-2-289-311>.
- Brown T., McLafferty S., Moon G.A. 2009. Companion to Health and Medical Geography. Chichester, Wiley-Blackwell, 640 p.
- Franco C.M., Lima J.G., Giovanella L. 2021. Primary Healthcare in Rural Areas: Access, Organization, and Health Workforce in an Integrative Literature Review. *Cadernos de Saude Publica*, 37(7): e00310520. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00310520>.
- Gellert G.A. 1993. The Importance of Quality of Life Research for Health Care Reform in the USA and the Future of Public Health. *Quality of Life Research*, 2: 357–361. <https://doi.org/10.1007/BF00449431>.
- Gizaw Z., Astale T., Kassie G.M. 2022. What Improves Access to Primary Healthcare Services in Rural Communities? A Systematic Review. *BMC Prim Care*, 23: 313. <https://doi.org/10.1186/s12875-022-01919-0>
- Meade M.S. 2010. Medical Geography. New York, Guilford, 498 p.
- Oshkordina A., Goncharova N., Makarova E., Esina E. 2024. Organization of primary health care as a factor in the effective development of rural areas. *E3S Web of Conferences*, 537: 09006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453709006537>

References

- Arkhipov Yu.R., Nikonorova I.V., Kharitonov A.I.Yu., Kharitonov An.Yu. 2024. Analysis of Primary Health Care Availability for the Rural Population of the Chuvash Republic. *Regional Geosystems*, 48(4): 481–493 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-4-481-493>
- Arkhipov Yu.R., Kharitonov A.Yu. 2019. Territorial'nyj analiz dostupnosti pervichnoj medicinskoj pomoshchi naseleniju municipal'nogo rajona (na primere Chuvashkoj Respubliki) [Territorial Analysis of the Availability of Primary Health Care to the Population of a Municipal District (Using the Chuvash Republic as an Example)]. In: *Geoprostanstvennye issledovaniya obshhestvennyh i prirodnyh sistem: teoriya i praktika* [Geospatial Studies of Social and Natural Systems: Theory and Practice]. Cheboksary, Pabl. Chuvash State University named after I.N. Ulyanov: 13–17.
- Arhipov J.R., Kharitonov A.J. 2020. Territorial Analysis of Access to Medical Care for the Population of the Chuvash Republic. In: *Earth Sciences: From Theory to Practice* (Archikov Readings – 2020). Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Cheboksary, 5–8 November 2020. Cheboksary, Pabl. Sreda: 275–280.
- Grjibovski A.M. 2008. Choosing a Statistical Test for Hypothesis Testing. *Human Ecology*, 11: 48–57 (in Russian).
- Zelenyuk Ju.M. 2019. Spatial Factor in the Organization of Medical Services Sphere of the Population of Irkutsk Region. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences, 28: 48–61 (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.48>
- Koichubekov B.K., Sorokina M.A., Mkhitaryan X.E. 2014. Sample Size Determination in Planning of Scientific Research. *International journal of applied and fundamental research*, 4: 71–74 (in Russian).
- Koshevoi O.S., Karpova M.K. 2011. Opredelenie ob"ema vyborochnoj sovokupnosti pri provedenii regional'nyh sociologicheskikh issledovanij [Determining the Size of the Sample Population in Conducting Regional Sociological Research]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Obshchestvennye nauki*, 2(18): 98–104.
- Kurdalin N.I. 2023. Metodiki opredeleniya optimal'nogo ob"ema vyborki dlya medicinskikh issledovanij [Methods for Determining the Optimal Sample Size for Medical Research]. *Molodoj innovacionnyj vestnik*, 12(2S): 498–501.
- Lindenbraten A.L., Kolomiychenko M.E. 2021. Analysis of the Results of Sociological Studies of the Quality and Availability of Health Care. *Medical & Pharmaceutical Journal «Pulse»*, 23(6): 224–231 (in Russian). <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-6-225-231>.

- Moskvicheva M.G., Polinov M.M. 2021. Analysis of the primary health care state for the rural population at the regional level. *Ural Medical Journal*, 20(1): 50–57 (in Russian). <https://doi.org/10.52420/2071-5943-2021-20-1-50-57>
- Narkevich A.N., Vinogradov K.A. 2019. Methods for Determining the Minimum Required Sample Size in Medical Research. *Social Aspects of Population Health*, 65(6): 10 (in Russian).
- Tatarnikov M.A. 2013. Why the Standardized Technique of Sociological Survey is Needed in Public Health? *Sociology of Medicine*, 2(23): 11–22 (in Russian).
- Uteulin M., Oshibaeva A.E., Ualieva A.E., Nurbakyt A.N. 2018. Satisfaction Scores Patients and Healthcare Professionals the Quality of Services. *Vestnik KazNMU*, 3: 344–347 (in Russian).
- Sheresheva M.Yu., Oborin M.S., Kostanyan A.A. 2017. Osobennosti ocenki kachestva zhizni naseleniya malyh gorodov [Features of Assessing the Quality of Life of the Population of Small Towns]. *Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya)*, 9(2): 289–311. <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2017-2-289-311>.
- Brown T., McLafferty S., Moon G.A. 2009. Companion to Health and Medical Geography. Chichester, Wiley-Blackwell, 640 p.
- Franco C.M., Lima J.G., Giovanella L. 2021. Primary Healthcare in Rural Areas: Access, Organization, and Health Workforce in an Integrative Literature Review. *Cadernos de Saude Publica*, 37(7): e00310520. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00310520>.
- Gellert G.A. 1993. The Importance of Quality of Life Research for Health Care Reform in the USA and the Future of Public Health. *Quality of Life Research*, 2: 357–361. <https://doi.org/10.1007/BF00449431>.
- Gizaw Z., Astale T., Kassie G.M. 2022. What Improves Access to Primary Healthcare Services in Rural Communities? A Systematic Review. *BMC Prim Care*, 23: 313. <https://doi.org/10.1186/s12875-022-01919-0>
- Meade M.S. 2010. Medical Geography. New York, Guilford, 498 p.
- Oshkordina A., Goncharova N., Makarova E., Esina E. 2024. Organization of primary health care as a factor in the effective development of rural areas. *E3S Web of Conferences*, 537: 09006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453709006537>

Поступила в редакцию 25.03.2025;

Received March 25, 2025;

поступила после рецензирования 28.04.2025;

Revised April 28, 2025;

принята к публикации 23.05.2025

Accepted May 23, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харитонов Андрей Юрьевич, ассистент кафедры природопользования и геоэкологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Доронина Ксения Андреевна, старший преподаватель кафедры социально-экономической географии и туризма, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Никонорова Инна Витальевна, кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Харитонов Александр Юрьевич, магистр кафедры географии и картографии, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey Y. Kharitonov, Assistant of the Department of Nature Management and Geoecology, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Ksenia A. Doronina, Senior Lecturer, Department of Social and Economic Geography and Tourism, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Inna V. Nikonorova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Geography and Geomorphology, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Alexander Y. Kharitonov, Master's student at the Department of Geography and Cartography, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

УДК 911.3
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-601-617
EDN YYHAMK

Оставленные места как неопериферии современности: основные направления исследований

Кузин В.Ю.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Россия, 677013, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48
vadim-13.06@yandex.ru

Аннотация. В современном мире диспропорции социально-экономического развития не уменьшаются, а, напротив, растут. При этом отстающие территории получили негативный импульс за счёт процесса глобализации и его последствий, а также решений властей в ключе глобализации. Подобные территории получили наименование «оставленные места» – «left behind places». Целью статьи является проведение анализа теоретических основ оставленных мест и выявление основных направлений их исследования. Это было осуществлено благодаря анализу современных и ретроспективных материалов. В результате были определены теоретические основы, основные показатели, сходства и различия с перифериями вообще. Выделено семь основных тематик исследования «оставленных мест»: теоретическое направление, методика определения и типологии, проблемы внутреннего (неоэндогенного) развития, связи оставленных мест с ростом политического популизма и оппозиционных сил, политические меры для решения проблемы оставленных мест, оставленные места Глобального Юга, отдельные темы исследования.

Ключевые слова: оставленные места, развитие, пространство, глобализация, периферия, маргинализация, общество

Для цитирования: Кузин В.Ю. 2025. Оставленные места как неопериферии современности: основные направления исследований. Региональные геосистемы, 49(3): 601–617. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-601-617 EDN: YYHAMK

Left Behind Places as Neo-Peripheries of Modernity: Main Research Directions

Vadim Yu. Kuzin

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
48 Kulakovsky St, Yakutsk 677013, Russia,
vadim-13.06@yandex.ru

Abstract. The multidimensional impact of globalization has greatly changed spatial development around the world. As a result, many territories have fallen behind the leading ones. Contemporary science describes them as “left behind places”. The purpose of this paper is to analyze their theoretical foundations, as well as to identify the main directions of their research. The study made it possible to single out two large groups of factors in the formation of “left behind places”, including the situational and fundamental ones, and to trace the connection with the “geography of discontent”. The multiscale manifestation of “left behind places” is associated with the combined influence of such spatial processes as polarization, metropolization, and peripheralization. The author stresses that “left behind places” are not renamed peripheries, but neo-peripheries of modernity that emerged as a result of various factors. The paper provides a visualization of the “left behind places” use frequency, demonstrating their increasing relevance. Seven main themes of the research are discussed in detail: theory, methodologies of definition and typology; problems of internal (neo-endogenous) development; the relationship of “left behind places” to the rise of political populism and opposition forces; policy measures to solve the issue of “left behind places”; “left behind places” of the Global South; and selected research topics.

© Кузин В.Ю., 2025

Keywords: ‘left behind places’, development, space, globalization, periphery, marginalization, society

For citation: Kuzin V.Yu. 2025. Left Behind Places as Neo-Peripheries of Modernity: Main Research Directions. *Regional Geosystems*, 49(3): 601–617 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-601-617 EDN: YYHAMK

Введение

Социально-экономическое развитие под влиянием глобализации, вопреки многим оптимистичным прогнозам (основанными на наблюдавшейся в 1950–60-х гг. дивергенции), не только не уменьшило, а, напротив, увеличило диспаритеты пространственного развития. Всё отчётливей стал проявляться многоаспектный и многовекторный «разрыв» центров (глобальных городов, обучающих регионов и т. п. наименований) и периферий. Он, наряду с разнородными количественными показателями, был во многом качественным, закрепившим и трансформировавшим различия между первыми и вторыми территориями в новых условиях мирового рынка, распада социалистической системы, ускоренного внедрения инноваций и формирования новых организационных форм производства. Периферийные территории приобрели новый – импульс своего антиразвития в результате совокупного влияния многих факторов, основные из которых (но не единственные) – глобализация и решения властей в её контексте. Последствием этого стало изменение «старых» и формирование «новых» периферийных зон в новом качестве, получивших широко распространившееся наименование *«left behind places»* – «оставленные места» (и синонимы на других языках, о которых ниже). Их исследование не только стало актуальным направлением работ зарубежных (в первую очередь западных) учёных, но и многоаспектным, охватывающим социально-экономические, политические, культурологические, экологические, демографические, политические аспекты.

Объекты и методы исследования

Цель исследования – провести анализ теоретических основ «оставленных мест» и выявить основные направления их исследования. Для её выполнения были отобраны исследования по данной тематике, включая статьи, монографии, материалы конференций без ограничения временного интервала (при этом отмечено, что большинство таких публикаций относятся к 2022–2024 гг.). Использовались работы специалистов (в основном иностранных) по тематике «оставленных мест» с основным фокусом на социально-экономические (общественно-географические) исследования.

Сам анализ включает: краткую историю, объяснение сущности «оставленных мест», выделение факторов формирования, существующие теоретические проблемы, основные используемые показатели, однотипные и специфические свойства в сравнении с перифериями, визуализацию частоты использования по запросу *«left behind places»* с помощью сервисов *Google Ngram* и *Google Trends*.

После этого «оставленные места» на основе методов анализа и синтеза обобщены для выделения основных направлений. Каждое из них также отдельно анализировалось с выделением характерных и специфических особенностей. Всего было отмечено семь основных исследовательских направлений (теоретическое, методики определения и типология, проблемы внутреннего (неоэндогенного) развития, связи «оставленных мест» с ростом политического популизма и оппозиционных сил, политические меры для решения проблемы «оставленных мест»; оставленные места Глобального Юга; отдельные темы исследования). Также отмечаются возможности практического использования и исследовательские перспективы изучения тематики «оставленных мест».

Результаты и их обсуждение

В географическом аспекте термин «оставленные места» впервые использовался в американских исследованиях 1970-х гг. для обозначения сельской бедности [Fuguit, 1971], а позже – в 1980-1990-е гг. – деградирующих в экономическом и социальном плане американских городов [Thomas, 1991]. После этого на достаточно долгое время термин был фактически забыт. Однако целый ряд масштабных экономических и политических событий 2000–2020-х гг. – мировой финансовый кризис 2008–2009 гг., *Brexit*, пандемия *COVID-19*, обострение международной обстановки после начала СВО в 2022 году – актуализировали изучение периферийных зон на новой, политико-глобалистской, основе. Стало ясно, что анализ и изучение их специфики на уже существовавшей базе понимания отстающих территорий не имманентны современному миру. В этой связи подходы к изучению «оставленных мест» оказались органичны противоречиям и трендам глобализирующегося мира. Они логично дополнили ранее использованный теоретический ряд «разрывов», «дисбалансов», «разделений» [MacKinnon et al., 2022]. Подтверждением этого может служить рост как числа публикаций по тематике, так и организация специальных секций конференций [Special Session 66..., 2024] и выпусков научных журналов [*Cambridge Journal of Regions...*, 2024].

Общепринятой формулировки «оставленные места» не сформировалось, однако на основе анализа существующих исследований можно предложить следующую: «оставленные места» – это новые периферийные или бывшие центральные территории, трансформированные под влиянием разнородных процессов глобализации, рыночных колебаний, технологических изменений, продолжительных центростремительных процессов, геополитических и внутриполитических событий.

Генерализовано можно выделить две большие группы факторов формирования «оставленных мест»: ситуативные и фундаментальные. К первым относятся факторы, оказывающие прямое и сильное влияние на конкретную территорию, а именно: исчерпание запасов полезных ископаемых, колебание цен на сырьё и продукцию, закрытие предприятий, их перенос или перепрофилирование, новые технологии и инновации, сокращение дотаций и выплат и т. п. К фундаментальным относятся: глобализация и её последствия, решения властей в контексте глобализации, смена административно-командной экономической системы на рыночную (стоит оговориться, что зарубежные исследователи оставляют примат исключительно за глобализацией, что верно для стран западных, и в какой-то мере – для развивающихся, но не для постсоциалистических, для которых только её явно недостаточно). Они создают основу проявления уже ситуативных факторов, закрепляя «оставленность».

Именно она выражено переформатирует пространство, создавая новые конкурентные преимущества и концентрируя ресурсы (равно как и технологии) в небольшом числе центров, ускоряющих своё развитие и неизбежно опережая территории-аутсайдеры. Притом данное отставание имеет не только социально-экономический аспект (что логично), но и культурный, политический, демографический. Многоаспектность отставания оставленных мест одновременно указывает на их принадлежность к периферийным (мargинальным, сжимающимся и т. п.) территориям, и в то же время – на их особенность, выражющуюся в объективно-субъективных факторах формирования. Это расширяет рамки исследования неравенства в географическом плане [Pike et al., 2023].

Следствием этого стало формирование так называемой географии недовольства [Essletzbichler et al., 2018; McCann, 2020; Ruyter et al., 2021] вместе с изучением «коллективной озлобленности» [MacKinnon et al., 2024] и политической поляризации² [Pruitt, 2024].

² Отдельной темой является отзыв «оставленных мест» в политическом плане – именно они отдают свои голоса (притом весьма активно) за популистские антисистемные партии и политиков. Существует значительное количество работ по данной тематике, однако они скорее политологического характера и в данной статье не рассматриваются, если не имеют выраженного общественно-географического аспекта.

Вместе с тем необходимо отметить существующую теоретическую неопределенность понимания и лимитации «оставленных мест» как с точки зрения концептуальной (что собой представляют?), так и количественной (какие показатели их характеризуют?). К настоящему времени отмечают как минимум временную, реляционную, многомерную, дискурсивную концепции данных территорий, особо подчёркивая, что этот негативный статус не является предопределенным [Tups et al., 2023; Benner et al., 2024]. Неопределенность подчёркивается и разномасштабным (от наднационального до локального) территориальным проявлением в совокупности с одновременным влиянием таких процессов, как метрополизация [MacKinnon et al., 2022], периферизация [Tups et al., 2023], поляризация (которые практически всегда протекают одновременно).

В количественном отношении для лимитации оставленных мест чаще всего ориентируются на такие показатели, как: экономическое развитие, уровень безработицы, производительность труда, уровень образования и квалификации, уровень бедности, миграция, старение населения, депопуляция, уровень здоровья населения, уровень развития инфраструктуры, количество предоставляемых услуг [MacKinnon et al., 2022; Velthuis et al., 2024], расовый состав, доля коренного (родившегося в стране) населения [Rodríguez-Pose et al., 2023].

Сами же «оставленные места» являются неотъемлемой частью периферии – территории, заметно отстающей от наиболее развитых локалитетов по социально-экономическим показателям и имеющую длительный негативно-направленный тренд развития. Им также свойственны: экономическая деградация вместе с социальной маргинализацией, полимасштабность, повсеместность и относительность, миграционный отток, отсутствие возможностей для саморазвития [Анохин, Кузин, 2019]. Однако «оставленные места» это вовсе не переименованные периферии в угоду сомнительной идеи изменения старого на новый лад, а неопериферии современности (притом именно в силу импульса формирования).

В этой связи отметим специфические черты «оставленных мест»:

- значительное влияние глобализации – сам термин «оставленные места» предполагает, что из-за глобализации эти территории начинают отставать в экономическом развитии, в то время как немногочисленные центры активно развиваются;
- относительно недавний старт формирования этих мест (в сравнении с традиционными перифериями);
- применяется в основном в отношении стран Глобального Севера, в меньшей степени – для стран Глобального Юга [Tups et al., 2023; Martins, 2024; Mpungose, Myeni, 2025];
- рост влияния в них и благодаря им оппозиционных и популистских политических сил, провозглашающих преодоление заброшенности в пику антинациональным элитам (сюда же можно отнести «политизированные» наименования таких мест – например, Брекситлэнд [Sobolewska, Ford, 2020] и Трамплэнд [Daniel, Whalan, 2021]);
- сложность для преодоления статуса – с одной стороны «заброшенность» не закреплена навсегда [Tups et al., 2023; Benner et al., 2024], а с другой – для её преодоления требуются длительные меры поддержки, на которые из-за короткого горизонта планирования (соответствующего избирательным циклам) власти не идут;
- большая возможность интеграции в теорию новой экономической географии;
- мейнстримность употребления – это новое наполнение исследования периферий и периферизации.

Необходимо отметить, что в отечественной науке сам термин «оставленные места» фактически не используется [Кузин, 2024]. Однако использование сути термина в исследованиях происходило неоднократно – как в общественной географии и региональной экономике [Мартынов, 2001; Кузин, 2024; Мельникова, 2024], так и в политологии [Удалов, Колобов, 2012]. Можно отметить несколько специфических черт изучения «оставленных мест» в отечественной социально-экономической географии:

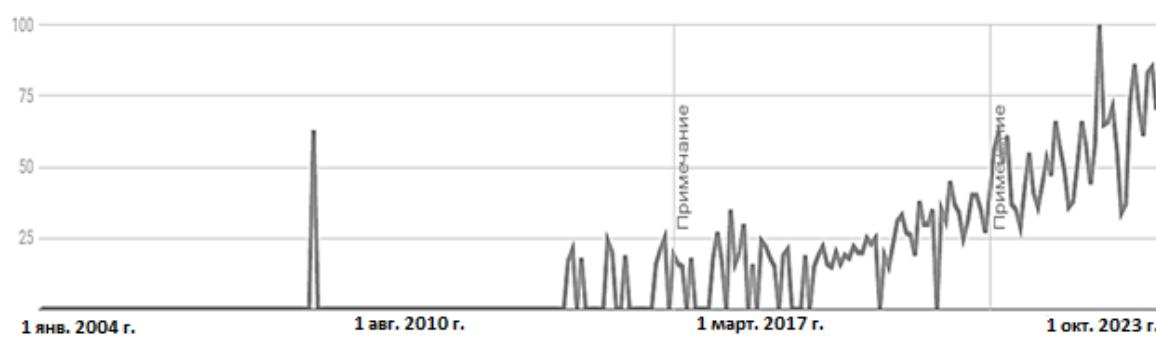
- упор на сущность, а не иноязычное именование;
- большее внимание на фундаментальные факторы формирования;
- фокус на изучение внутренней дифференциации – притом ещё с конца 1980-х – начала 1990-х гг. [Родоман, 1987; Грицай и др., 1991; Каганский, 2012; Родоман, 2012; Лапин, Кутергина, 2016; Кайбичева, 2017; Казаков, 2020; Тагирова, 2020 и др.];
- изучение в контексте периферизации как комплиментарного постсоветскому пространству страны процессу [Нефедова, 2008; Дружинин, 2014; Анохин, Кузин, 2019; и др.];
- большее внимание на комплексно-взаимосвязанный характер – т. е. рассмотрение в неразрывной связи с поляризацией, регионополизацией, метрополизацией [Дружинин, 2013; Лукин, 2014; Исянбаев, 2017; Кузин, 2019; Нефедова и др., 2022а; Нефедова и др., 2022б; и др.].

Исследовательский интерес к проблематике «оставленных мест» достаточно высок. Для подтверждения этого были использованы сервисы *Google Ngram* (доступные данные сейчас ограничиваются 2022 годом) [Google Ngram, 2025] и *Google Trends* (данные доступны с 2004 по 2025 год) [Google Trends, 2025] – в обоих случаях поиск осуществлялся по запросу «left behind places» (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Частота запроса *left behind places* по данным *Google Ngram* в 1970–2022 гг.
(точный запрос в общем числе запросов)

Fig. 1. Frequency of the ‘left behind places’ query according to *Google Ngram* data in 1970–2022
(the exact query in the total number of queries)



Примечания: разбивка данных по месяцам; отметки «примечание» на графике нанесены в периоды изменения системы сбора данных, частота запросов изменяется от 0 (минимальная) до 100 (максимальная).

Рис. 2. Частота запроса *left behind places* по данным *Google Trends* в 2004–2025 гг.
Fig. 2. Frequency of the ‘left behind places’ query according to *Google Trends* in 2004–2025

Взрывной рост интереса к тематике можно выразить не только в количественном росте, но и в качественном – в формировании направлений исследования, различающихся между собой. Применительно к «оставленным местам» на основе анализа основных целей, объектов и предметов исследований, а также получаемых результатов можно выделить следующие основные направления:

- теоретическое;
- методики определения и типологии;
- проблема внутреннего (неоэндогенного) развития;
- связь «оставленных мест» с ростом политического популизма и оппозиционных сил;
- политические меры для решения проблемы оставленных мест;
- оставленные места Глобального Юга;
- отдельные темы исследования (социально-экономическая стагнация и экологические угрозы, устойчивое и инклюзивное развитие).

Рассмотрим каждое из направлений подробнее.

Теоретическое направление – количественно лидирует среди прочих. Это вполне объяснимо – ведь ещё полностью не сформировалась теория и методология, без которых, в свою очередь, практические исследования малорезультативны (если возможны вообще). Термин «оставленные места» способствует изменению понимания современного географического неравенства и развития, переосмысливает его вне исключительно экономического контекста. Наиболее широко распространён англоязычный термин *left behind places*, но также имеются и аналогичные термины на других языках – “*La France peripherique*” («периферийные области») во Франции, “*abgehängte Regionen*” («отстраненные регионы») в Германии, “*Aree Interne*” («внутренние области») в Италии, “*Kimpgebieden*” («сокращающиеся области») в Нидерландах, “*La Espana vaciada*” («упустившая Испания») в Испании. Подчёркивается разномасштабность проявления, а также теоретическая опора на идеи 1960-х гг. о политической и социальной ответственности (никто не должен оставаться позади, никто не должен быть забыт и оставлен). Активизация исследований способствует растущее в глобальном масштабе неравенство, когда наиболее социально-экономически развитые города и регионы (верхний 10-% квартиль) всё сильнее опережают в своём развитии остальные, особенно наименее развитые территории (нижний 10–25-% квартиль), которые и становятся «оставленными». Отмечается, что локалитеты могут быть как давно оставленными, так и недавно оставленными. Отмечаются важные нерешённые теоретические вопросы: этимологии термина, точного определения дефиниции, лимитации, внутреннего содержания, концептуальной основы (правда это способствует исследованию разными науками и частому использованию политиками). В исследованиях подчёркивается, что причины «оставленности» чаще всего формируются не на месте, а являются проекцией национальных и глобальных процессов, противостоять которым на локальном уровне крайне сложно. Причины же отставания неодинаковы, равно как и показатели её характеризующие. Однако происходит выраженное отставание по социально-экономическим показателям от средненациональных – как объективное, так и субъективное (оценка со стороны жителей). Население сталкивается с многочисленными социальными проблемами (рост безработицы, снижение качества рабочих мест, ухудшение качества социальной инфраструктуры и городской среды, снижение качества и доступности медицины, рост наркомании и алкоголизма и т. д.), неизбежно возникающими на фоне экономических, что формирует оторванность и исключённость жителей этих территорий из жизни общества и государства в целом, и, негативную трансформацию их образа жизни. Они считают себя брошенными, особенно на фоне динамично развивающихся национальных центров. Фактически происходит территориальная стигматизация этих мест. Результатом в социальном плане становится «голосование ногами» – устойчивая миграция из «оставленных мест». Отмечается сложность географии «оставленных мест», которые не всегда формируют территориально-выраженные структуры (что особенно характерно

для развитых стран и менее характерно для развивающихся). Они хуже адаптируются к современным изменениям вследствие низких (относительно потребностей) возможностей, потому происходит их своеобразная консервация в таком статусе: однажды возникнув, географическое неравенство в экономическом развитии и росте само по себе вряд ли будет самокорректирующимся, а скорее самовоспроизводящимся. Также отмечается связь с пространственными процессами периферизации, метрополизации, поляризации [Дружинин, 2014; Исянбаев, 2017; Казаков, 2020; Тагирова, 2020; Pike et al., 2023; Tierney et al., 2023; Tomaney et al., 2023; Comim et al., 2024; Connor et al., 2024; Eisenberg, 2024; Fikri, 2024; Fiorentino et al., 2024; Jessen, 2024; MacKinnon et al., 2024].

Методики определения и типологии – как отмечено выше, вопрос лимитации «оставленных мест» продолжает оставаться теоретически окончательно нерешённым, что актуализирует разработку различных методик их определения, а также типологий. Хотя работ, посвящённых этой тематике пока немного, они вносят существенный вклад в анализ и изучение «оставленных мест». В работе [Velthuis et al., 2024] на примере стран ЕС-15 на уровне *NUTS3* с использованием ряда экономических, социальных, демографических показателей за 1991–2018 гг., объединённых с использованием кластерного анализа, выделены три типа «оставленных регионов». Для них типичны: экономический и демографический спад, деиндустриализация, старение населения, высокий уровень бедности. И в то же время между ними существуют различия, указывающие на разные типы «оставленности»: падение конкурентоспособности экономики при относительной стабилизации населения (вследствие миграции и доступности жилья); длительный демографический спад (в сочетании со старением населения и слабой миграционной привлекательностью); депопуляция и низкий уровень доходов [Velthuis et al., 2024]. Для изучения «оставленных мест» Великобритании в работе [Davenport, Zaranko, 2020] использовалась комбинация четырёх наиболее значимых показателей: уровня занятости, заработной платы, здравоохранения (доля получающих пособие по нетрудоспособности), уровня образования (высшее образование) на местном уровне. Затем, чтобы объединить информацию по каждому показателю в единый, был составлен индекс «оставленности» на основе индекса Андерсона (высокие значения которого демонстрируют отставание и наоборот). Цель индекса состоит в том, чтобы объединить информацию, полученную из различных показателей, придавая при этом больший вес новой информации за счет меньшего веса переменным, которые коррелируют друг с другом. В результате были выявлены четыре категории оставленных мест: крупные поселения и города, удалённые от Лондона и Юго-Восточной Англии, бывшие промышленные регионы, прибрежные поселения и регионы, изолированные сельские районы [Davenport, Zaranko, 2020]. С учётом важности не только экономических, но и социальных и культурных показателей в работе [Bolton et al., 2019] был разработан индекс общественных потребностей (*Community Needs Index – CNI*). Этот новый индекс определяет районы Англии, в которых отсутствует гражданская инфраструктура (места для встреч, зелёные насаждения и возможности для отдыха), связь – физическая и цифровая, и низко участие местного общества в решении локальных вопросов. Исследование указывает на многогранный характер проблем в этих районах и на важность инфраструктуры, связи и вовлечения сообщества в качестве защитного фактора, который помогает предотвратить укоренение «оставленности» [Bolton et al., 2019].

Проблема внутреннего (неоэндогенного) развития – актуализируется в связи с экономическим отставанием и социальной отчуждённостью. Оставленные места долгое время не исследовались, в отличие от мейнстримных новой экономической географии и эволюционной экономической географии. В их контексте развитие ориентируется на экономический рост, обрекая территории с низким уровнем развития на отставание с неясной перспективой успеха. Потому концепция «развитие» для «оставленных мест» должна быть расширена политическими, социальными, экологическими аспектами в их сложной взаимосвязи. Кроме того, ориентация на наиболее конкурентоспособные отрасли приво-

дит к существенному игнорированию отраслей и видов экономической деятельности с более низкой добавленной стоимостью (например, социальная помощь, досуг, общественные услуги, розничная торговля) в которых занята значительная часть работников в отстающих регионах. Политика поощрения трудовой мобильности не способствует решению проблем отстающих территорий, а скорее ретуширует их, потому в исследованиях стало уделяться внимание поддержке местной экономики через развитие инфраструктуры, повышение квалификации, поддержке инноваций и бизнес-инициатив. Развитие «оставленных мест» требует, наряду с экономическими, и социальными мерами, чтобы население не чувствовало себя брошенным и ненужным. В этой связи большое внимание необходимо уделять проблеме эндогенного (точнее – неоэндогенного) развития, предполагающего использование собственного потенциала и возможностей. Неоэндогенное развитие, изначально использовавшееся для исследования сельской местности, в настоящее время применимо для «оставленных мест» в целом и основывается на вере в местный потенциал при признании высокого значения национальных и наднациональных сил. Немаловажную роль при этом играет социальная сплочённость, часто отличающая эти места [Каганский, 2012; Кайбичева, 2017; Flint, Powell, 2021; MacKinnon et al., 2022].

Связь «оставленных мест» с ростом политического популизма и оппозиционных сил – длительный негативный тренд экономического развития неизбежно маргинализирует социум, порождая очевидное недовольство нынешним состоянием и устойчивое ощущение ещё и политической «оставленности». В такой ситуации неудивительным становится достаточно активно выраженное протестное голосование жителей территорий-аутсайдеров за оппозиционные, в том числе и популистские, политические силы. При этом в исследованиях отмечается выраженная связь между уровнем доходов, расовым составом и долей некоренных (не родившихся здесь) жителей, уровнем безработицы (однако отмечается и некоторое несходство этой схемы для европейских стран и США). Также отмечается, что один из важнейших факторов роста оппозиционного голосования – растущая поляризация доходов и межтерриториальное неравенство, высокие градиенты которых усиливают данный рост. В контексте «оставленных мест» это особенно актуально, потому что подобные факты имеют высокую географическую привязку именно к ним. Нельзя также не отметить фактор растущей иммиграции, отношение к которой часто негативное, притом этот негатив продуцируется из «оставленных мест» и конвертируется в голоса за антисистемные партии и политиков. Для оценки роста популизма, в зависимости от уровней межличностного и межтерриториального неравенств (на уровне *NUTS3* для европейских стран и округов в США), применялись эконометрические модели, которые в целом показали согласованность этой зависимости. Также проводились исследования по географическим особенностям голосования за *Brexit*. «Оставленные места» характеризуются высоким социальным капиталом (вкупе с выраженной идентичностью), а, соответственно, и сплочённостью, что в политическом плане позволяет им быть услышанными, компенсируя относительно небольшое число голосов высокой активностью. Во многом именно такие территории («Ржавый пояс», «Соляная кромка» и т. п.) обеспечивают существенную поддержку идеям евроскептицизма и трампизма [Gordon, 2018; Ulrich-Schad, Duncan, 2018; Iammarino et al., 2019; Rodríguez-Pose et al., 2021; Özatağan, Eraydin, 2023; Rodríguez-Pose et al., 2023].

Политические меры для решения проблемы оставленных мест – укоренение оставленных мест в пространстве неизбежно ставит задачу выработки политических мер по их поддержке с перспективой развития. Рост регионального неравенства с 1980-х гг. и особенно влияние глобализации привели к ускоренному росту регионального и внутрирегионального неравенств. Этот рост не корректировался региональной политикой, что ставит на повестку дня разработку её новых механизмов и методов. В этой связи применительно к «оставленным местам» предлагается трансформировать эту политику, делая её более пространственно ориентированной и дифференцированной, с большими полномочиями

местных властей. Однако это предложение вызывает заслуженную критику – как за не самую новую идею, так и из-за слабости местного потенциала, на базе которого местные власти вряд ли смогут добиться значимых результатов (несмотря на любые полномочия). Справедливо отмечено, что, несмотря на определённую общность выделения и функционирования «оставленные места» разных стран требуют разных подходов к их развитию. Это связано как с региональной и национальной спецификами, так и с разными подходами властей к пониманию «оставленных мест». Например, в Великобритании они связываются с проблемой низкой производительности, интерпретируемой с точки зрения шести форм капитала (человеческого, финансового, социального, физического, нематериального, институционального). «Отставленные места» рассматриваются как не имеющие качества или доступности одной или нескольких из этих форм капитала, что приводит к тому, что они попадают в порочный круг низкой производительности, низкого благосостояния, социального отчуждения и низкого качества жизни. В США – это населённые пункты, испытывающие длительную социально-экономическую деградацию, развитие которых требует восстановления их экономики и роста качества человеческого капитала. Решение проблемы «оставленных мест» требует не только экономических, но и социальных, экологических решений, развития инфраструктуры и транспорта. Для развития «оставленных мест» были сформированы национальные программы: *Build Back Better Regional Challenge* (2021 год, США), *Cohesion Policy* (изменялась неоднократно, старт – 1989 год, ЕС), *La Strategia Nazionale per le Aree Interne* (2019 год, Италия) [Лапин, Кутергина, 2016; Martin at al., 2021; Нефёдова и др., 2022а; Martin at al., 2022; Strategia Nazionale..., 2023; Fiorentino at al., 2024].

Оставленные места Глобального Юга – абсолютное большинство исследований по тематике «оставленных мест» сосредоточено на территориях Глобального Севера, однако разнородные последствия глобализации сказываются и на территории Глобального Юга. Здесь исследования подчёркивают ускорение процессов неравномерности социально-экономического развития с нарастанием их градиентов и быстрым формированием «оставленных мест». Между тем, здесь «оставленность» – явление относительно новое, потому присутствует оптимизм по её преодолению в неотдалённой перспективе как в целом в обществе, так и среди представителей власти. Была разработана типология путей регионального развития «оставленных мест» (на примере Замбии). Также отмечается необходимость проведения политики нивелирования негативных последствий глобализации с учётом местной специфики [Tups at al., 2023, Martins, 2024; Mpungose, Myeni, 2025].

Отдельные темы исследования – в это направление объединены исследовательские тематики, которые на данный момент представлены единичными работами. Отмечены следующие темы: социально-экономическая стагнация и экологические угрозы, устойчивое и инклюзивное развитие. Первая сосредоточена на изучении прибрежных районов Великобритании, одновременно оказавшихся в «двойных тисках» социально-экономических проблем вследствие их «оставленности» и нарастающих негативных последствиях климатических изменений в экологическом аспекте. Парадоксально, но их совокупное негативное влияние способствует ускорению развития здесь «зелёной экономики» – однако она на данный момент весьма ограничена и отношение к ней на локальном уровне довольно скептическое [Fiorentino at al., 2024]. Устойчивое и инклюзивное развитие в контексте «оставленных мест» пока остаётся крайне малоизученным вопросом, который тем не менее видится вполне актуальным в свете продолжающейся глобализации и изменения климата. В то же время вопрос социальной справедливости и возможностей применительно к таким местам является актуальным и однозначно нерешённым на данный момент. К нему же можно отнести и развитие «зелёной экономики», потенциальной основы будущего устойчивого и инклюзивного социально-экономического развития подобных территорий [Benner at al., 2024].

Необходимо отметить, что концептуальной основой для всех других выступают теоретическое направление исследований и проблемы внутреннего (неоэндогенного) развития. Осевым направлением, проникающим во все и используемым всеми, выступают методики определения и типологии – небольшое же число созданных методик объяснимо незавершённым характером теории. В тесном единстве с вышеотмеченными направлениями (и между собой находится связь «оставленных мест» с ростом политического популизма, оппозиционных сил и политических мер для решения проблем «оставленных мест»). При этом первое из них способствует формулированию политico-географических выводов и рекомендаций, а второе – корректировке и перестройке под условия современного мира региональной политики, обеспечивая выход на практическое применение всех исследований по *left behind places*. На основании всех предшествующих направлений, но с выраженной географической спецификой складывается направление «оставленные места Глобального Юга». Наконец, как результат диалектического единства дифференциации и синтеза формируются отдельные темы исследования, представленные пока что лишь изучением социально-экономической стагнации и экологических угроз, а также устойчивого и инклузивного развития.

Исследование «оставленных мест» помимо теоретического аспекта имеет и вполне выраженный практический, в первую очередь заключающийся в возможностях создания методик мониторинга пространственного развития регионального и внутрирегионального уровней, позволяющих как выделять «оставленные» локалитеты, так и типологизировать их и отмечать «оставленность» в зародыше. В сочетании с теоретическими знаниями это позволит корректировать и при необходимости создавать заново региональную и муниципальную политику, направленную на сглаживание возникающих диспропорций в социально-экономическом развитии и способствующую нивелированию возможного негативного спектра последствий. Практическое применение на внутрирегиональном и региональном уровнях позволит разрабатывать и реалистичную методику уже национального уровня. Ряд программ с подобным подходом уже реализуется (*La Strategia Nazionale per le Aree* и др.), но изменчивость современного мира, возрастание его взаимосвязанности и взаимозависимости делает необходимым их дальнейшее совершенствование, базой для которого должны быть многосторонние исследования «оставленных мест».

Помимо практических перспектив, направленных на региональную политику, можно отметить также несколько других в рамках изучения «оставленных мест». Так, интересной задачей видится анализ соотношения факторов, генерирующих «оставленность» с её анализом как неравновесной открытой системы. Другим перспективным моментом является анализ положительного и отрицательного влияния агентов (акторов), порождающих такие субъективные процессы, как административная рента, метрополизация в целом, политические решения популистского толка. К ним же необходимо отнести и более глубокое изучение роли экстерриториальности в формировании и функционировании «оставленных мест», особенно влияния крупнейших ТНК и глобальных межгосударственных организаций. Географическое расширение исследований с включением государств и отдельных территорий Глобального Юга и постсоциалистических стран – следующая перспектива в исследовании *left behind places*: ведь они имеют своеобразную специфику, в силу которой «механический» перенос подходов, отработанных для стран Глобального Севера, даст малорезультативный итог и будет непродуктивен.

Заключение

Две группы факторов – ситуативные (оказывающие прямое и сильное влияние на конкретную территорию) и фундаментальные (глобализация и её последствия, смена административно-командной экономической системы на рыночную; решения властей в контексте глобализации) в совокупности приводят к формированию «оставленных мест», вы-

ступающих социально-экономическими аутсайдерами в сравнении с «уходящими вперёд» немногочисленными центрами. Это отставание перманентно закрепляется как многоаспектное. Это одновременно указывает на их принадлежность к периферийным территориям, и в то же время – на их собственную специфику, выражющуюся в объективно-субъективных факторах формирования, усиленных глобальными политико-экономическими событиями.

Именно они (финансовый кризис 2008–2009 гг., *Brexit*, СВО) актуализировали и ревитализировали исследование оставленности, уходящее своими корнями в 1970-е гг. Подходы к изучению «оставленных мест» оказались органичны противоречиям и трендам глобализирующегося мира, о чём свидетельствует быстрый рост числа исследований данной тематики.

В настоящее время «оставленные места» являются одной из востребованных и исследуемых тем, не подменяя «традиционные» периферии, но наполняя их новым содержанием глобализованного мира возможностей и проблем. Наряду с количественным ростом публикаций по тематике происходит и её качественный рост.

Последний подтверждается выделением семи тематик исследования «оставленных мест»: теоретической, методики определения и типологии, проблемы внутреннего (неоэндогенного) развития, связи «оставленных мест» с ростом политического популизма и оппозиционных сил, политических мер для решения проблемы «оставленных мест», «оставленных мест» Глобального Юга, отдельные темы исследования. Это свидетельство исследовательской дифференциации и синтеза с одновременной актуализации изучаемой проблемы.

Исследование «оставленных мест» имеет очевидный практический аспект, заключающийся в создании методик мониторинга пространственного развития разных уровней и последующей разработке документов пространственного развития. Они должны быть направлены на уменьшение диспропорций при поддержке эндогенного роста «оставленных мест» для недопущения их дальнейшей деградации.

Исследовательские перспективы изучения «оставленных мест» в настоящее время охватывают: анализ соотношения факторов, генерирующих «оставленность», анализ положительного и отрицательного влияния агентов (акторов), более глубокое изучение роли экстерриториальности в формировании и функционировании «оставленных мест», более подробное исследование государств и отдельных территорий Глобального Юга и постсоциалистических стран в контексте «оставленных мест».

Изучение «оставленных мест» в рамках социально-экономических исследований является не просто мейнстримной зарубежной идеей, а ещё и качественно, и количественно развивающимся направлением, комплиментарным глобализирующему миру, испытывающему разнонаправленные воздействия и кризисы.

Список источников

- Cambridge Journal of Regions, Economy and Society. 2024. Electronic resource. URL: <https://academic.oup.com/cjres/issue/17/1> (date of access: 10.03.2025).
- Google Ngram. Electronic resource. URL: https://books.google.com/ngrams/graph?content=left+behind+places&year_start=1970&year_end=2022&corpus=en&smoothing=10&case_insensitive=true (date of access 14.03.2025).
- Google Trends. Electronic resource. URL: <https://trends.google.ru/trends/explore?date=2004-01-01%202025-03-14&q=left%20behind%20places&hl=ru> (date of access 14.03.2025).
- Special Session 66 Spatial Policy and Governance for Left-behind Places. 2024. Electronic resource. URL: https://www.researchgate.net/publication/377874363_Special_Session_66_Spatial_Policy_and_Governance_for_Left-behind_Places (date of access: 10.03.2025).
- Strategia Nazionale Aree Interne. Electronic resource. URL: <https://www.agenziacoesione.gov.it/strategia-nazionale-aree-interne/> (date of access: 21.03.2025).

Список литературы

- Анохин А.А., Кузин В.Ю. 2019. Подходы к выделению периферии и периферизация в пространстве современной России. *Известия Русского географического общества*, 151(1): 3–16. <https://doi.org/10.31857/S0869-607115113-16>
- Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И. 1991. Центр и периферия в региональном развитии. М., Институт географии АН СССР, 168 с.
- Дружинин А.Г. 2013. Пространственные возможности и барьеры постиндустриального развития региональной метрополии (на примере Ростова-на-Дону). *Региональные исследования*, 2(40): 25–32.
- Дружинин А.Г. 2014. Полизависимость в центро-периферийной стратификации территориальной организации общества: основы концепции. *Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов*, 3: 29–40.
- Исянбаев М.Н. 2017. Депрессивные территории: сущность, формирование, принципы выделения. *Вестник ВЭГУ*, 4(90): 51–57.
- Каганский В.Л. 2012. Внутренняя периферия – новая растущая зона культурного ландшафта России. *Известия РАН. Серия географическая*, 6: 23–34.
- Казаков М.Ю. 2020. Пространственно-экономические системы «центр-периферия»: теоретические основы, диагностика проблем, стратегические направления развития. Ставрополь, АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 608 с.
- Кайбичева Е.И. 2017. Такая многоликая периферия, или к вопросу о типологии периферийных регионов. *Вестник Самарского государственного экономического университета*, 7(153): 23–29.
- Кузин В.Ю. 2019. Процесс метрополизации современной России в контексте поляризации. *Псковский регионологический журнал*, 1(37): 33–45.
- Кузин В.Ю. 2024. Центро-периферийная теория в пространственном развитии: критический анализ. *Вестник БФУ. Естественные и медицинские науки*, 2: 57–67. <https://doi.org/10.5922/vestniknat-2024-2-4>
- Лапин А.В., Кутергина Г.В. 2016. Идентификация и моделирование развития депрессивных территорий: отечественный и зарубежный опыт. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 1(28): 98–109.
- Лукин Е.В. 2014. Тенденции развития социально-экономического пространства России. *Вопросы территориального развития*, 7(17): 1–10.
- Мартынов В.Л. 2001. Коммуникационная среда мира и общественное развитие. *Мировая экономика и международные отношения*, 1: 27–33. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2001-1-27-33>
- Мельникова Л.В. 2024. «Ядро-периферия» и периферийность в региональной науке. *Пространственная экономика*, 20(1): 144–162. <https://doi.org/10.14530/se.2024.1.144-162>
- Нефедова Т.Г. 2008. Российская периферия как социально-экономический феномен. *Региональные исследования*, 5(20): 14–30.
- Нефёдова Т.Г., Стрелецкий, В.Н., Трейвиш А.И. 2022а. Поляризация социально-экономического пространства современной России: принципы, направления и последствия. *Вестник РАН*, 92(6): 551–563. <https://doi.org/10.31857/S0869587322060093>
- Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И., Шелудков А.В. 2022б. Полимасштабный подход к выявлению пространственного неравенства в России как стимула и тормоза развития. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 86(3): 289–309. <https://doi.org/10.31857/S2587556622030128>
- Родоман Б.Б. 1987. Экспрессный транспорт, расселение и охрана природы. В кн.: *Методы изучения расселения*. М., Ин-т географии АН СССР: 44–54.
- Родоман Б.Б. 2012. Российская внутренняя периферия: взгляд в разных приближениях, на разных уровнях. В кн.: *Российская глубинка – модели и методы изучения*. М., Эслан: 41–48.
- Тагирова Э.И. 2020. Критерии отнесения регионов к депрессивным территориям. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 10–3: 309–313. <https://doi.org/10.17513/vaael.1380>
- Удалов В.С., Колобов О.А. 2012. Система «центр – периферия» в современном политическом процессе. *Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского*, 2–1: 297–301.
- Benner M., Tripli M., Hassink R. 2024. Sustainable and Inclusive Development in Left-Behind Places. *Review of Regional Research*, 44: 237–249. <https://doi.org/10.1007/s10037-024-00216-w>

- Bolton M, Day R., Leach M. 2019. England's Overlooked Neighbourhoods: Defining, Understanding and Regenerating 'Left Behind' Communities. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 13(2): 116–123. <https://doi.org/10.69554/SWRD8747>
- Comim Fl., Abreu M., Guinesi M.B.C. 2024. Defining Left Behind Places: an Internationally Comparative Poset Analysis. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 163–180. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad038>
- Connor D.S., Berg Al.K., Kemeny T., Kedron P.J. 2024. Who Gets Left Behind by Left Behind Places? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 37–58. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad031>
- Daniel Z., Whalan R. 2021. Greetings from Trumpland: How an Unprecedented Presidency Changed Everything. Sydney, ABC Books, 361 p.
- Davenport A., Zaranko B. 2020. Levelling Up: Where and How. In: *IFS Green Budget*. London, Institute for Fiscal Studies: 315–371.
- Eisenberg A.M. 2024. What does It Mean to be 'Left Behind?' *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 425–430. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae008>
- Essletzbichler J., Disslbacher F., Moser M. 2018. The Victims of Neoliberal Globalisation and the Rise of the Populist Vote: a Comparative Analysis of Three Recent Electoral Decisions. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 11(1): 73–94. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx025>
- Fikri K. 2024. Persistently Poor, Left-Behind and Chronically Disconnected. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 249–258. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad048>
- Fiorentino S., Glasmeier A.K., Lobao L., Martin R., Tyler P. 2024. 'Left Behind Places': What can be Done about Them? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 259–274. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae012>
- Fiorentino S., Glasmeier A.K., Lobao L., Martin R., Tyler P. 2024. 'Left Behind Places': What are They and Why do They Matter? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 1–16. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad044>
- Fiorentino S., Sielker F., Tomaney J. 2024. Coastal Towns as 'Left-Behind Places': Economy, Environment and Planning. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 103–116. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad045>
- Flint J., Powell R. 2021. Beyond the Noosphere? Northern England's 'Left Behind' Urbanism. In: *Global Urbanism: Knowledge, Power and the City*. London, Routledge: 80–88.
- Fuguit G. 1971. The Places Left Behind: Population Trends and Policy for Rural America. *Rural Sociology*, 36(4): 449–470.
- Gordon I.R. 2018. In What Sense Left Behind by Globalisation? Looking for a Less Reductionist Geography of the Populist Surge in Europe. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 11(1): 95–113. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx028>
- Iammarino S., Rodriguez-Pose A., Storper M. 2019. Regional Inequality in Europe: Evidence, Theory and Policy Implications. *Journal of Economic Geography*, 19(2): 273–298. <https://doi.org/10.1093/jeg/lby021>
- Jessen S. 2024. The Role of Time and Space in the Identification of Left Behind Regions: a Case Study of Denmark. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 201–218. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad047>
- MacKinnon D., Béal V., Leibert T. 2024. Rethinking 'Left-Behind' Places in a Context of Rising Spatial Inequalities and Political Discontent. *Regional Studies*, 58(6): 1161–1166. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2291581>
- MacKinnon D., Kempton L., O'Brien P., Ormerod E., Pike A., Tomaney J. 2022. Reframing Urban and Regional 'Development' for 'Left Behind' Places. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 15(1): 39–56. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab034>
- 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. London, Routledge, 140 p.
- Martin R., Martinelli F., Clifton J. 2022. Rethinking Spatial Policy in an Era of Multiple Crises. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 15(1): 3–21. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab037>
- Martins H. 2024. Left Behind Places in Brazil: the Dynamics of Regional Inequalities and Public Policies in the Early 21st Century. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 235–248. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad035>

- McCann P. 2020. Perceptions of Regional Inequality and the Geography of Discontent: Insights from the UK. *Regional Studies*, 54(2): 256–267. <https://doi.org/10.1080/00343404.2019.1619928>
- Mpungose A., Myeni S.L. 2025. Regional Development and the Challenge of ‘Left Behind’ Places in South Africa. In: *Contemporary South Africa and the Political Economy of Regional Development*. Eds. Mdlalose M., Khambule I., Khalema N.E. London, Routledge: 93–115.
- Özatağan G., Eraydin A. 2023. Political Twists and Turns in Left-Behind Places: Reactions of an Extractive Heartland to Changing State Strategies. *Regional Studies*, 58(6): 1251–1263. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2249505>
- Pike A., Béal V., Cauchi-Duval N., Franklin R., Kinossian N., Lang Th., Leibert T., MacKinnon D., Rousseau M., Royer J., Servillo L., Tomaney J., Velthuis S. 2023. ‘Left Behind Places’: a Geographical Etymology. *Regional Studies*, 58(6): 1167–1179. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2167972>
- Pruitt L.R. 2024. Mustering the Political Will to Help Left-Behind Places in a Polarized USA. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 407–416. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae014>
- Rodríguez-Pose A., Lee N., Lipp C. 2021. Golfing with Trump. Social Capital, Decline, Inequality, and the Rise of Populism in the US. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 14(3): 457–481. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab026>
- Rodríguez-Pose A., Terrero-Dávila J., Lee N. 2023. Left-Behind Versus Unequal Places: Interpersonal Inequality, Economic Decline and the Rise of Populism in the USA and Europe. *Journal of Economic Geography*, 23(5): 951–977. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbad005>
- Ruyter A. De, Martin R., Tyler P. 2021. Geographies of Discontent: Sources, Manifestations and Consequences. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 14(3): 381–393. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab025>
- Sobolewska M., Ford R. 2020. *Brexitland: Identity, Diversity and the Reshaping of British Politics*. Cambridge, Cambridge University Press, 410 p.
- Thomas J.M. 1991. The cities left behind. *Built Environment*, 17(3/4): 218–231.
- Tierney J., Weller S., Barnes T., Beer A. 2023. Left-Behind Neighbourhoods in Old Industrial Regions. *Regional Studies*, 58(6): 1192–1206. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2234942>
- Tomaney J., Blackman M., Natarajan L., Panayotopoulos-Tsiros D., Sutcliffe-Braithwaite F., Taylor M. 2023. Social Infrastructure and ‘Left-Behind Places’. *Regional Studies*, 58(6): 1237–1250. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2224828>
- Tups G., Sakala E.N., Dannenberg P. 2023. Hope and Path Development in ‘Left-Behind’ Places – a Southern Perspective. *Regional Studies*, 58(6): 1219–1236. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2235396>
- Ulrich-Schad J.D., Duncan C.M. 2018. People and Places Left Behind: Work, Culture and Politics in the Rural United States. *The Journal of Peasant Studies*, 45(1): 59–79.
- Velthuis S., Royer J., Le Petit-Guerin M., Cauchi-Duval N., Franklin R., Leibert T., MacKinnon D., Pike A. 2024. Regional Varieties of ‘Left-Behindness’ in the EU15. *Regional Studies*, 59(1): 2417704. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2417704>

References

- Anokhin A.A., Kuzin V.Yu. 2019. Approaches to the Allocation of Periphery and Peripheralization in the Spatial Development of Modern Russia. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 151(1): 3–16 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-607115113-16>
- Gritsai O.V., Ioffe G.V., Treivish A.I. 1991. *Centre and Periphery in Regional Development*. Moscow, Pabl. Institut geografii AN SSSR, 168 p. (in Russian)
- Druzhinin A.G. 2013. *Prostranstvennye vozmozhnosti i baryery postindustrialnogo razvitiya regionalnoy metropolii (na primere Rostova-na-Donu)* [Spatial Opportunities and Barriers to Post-Industrial Development of a Regional Metropolis (Using Rostov-on-Don as an Example)]. *Regional'nye issledovaniya*, 2(40): 25–32.
- Druzhinin A.G. 2014. *Polizavisimost v tsentro-periferiynoy stratifikatsii territorialnoy organizatsii obshchestva: osnovy kontseptsii* [Polydependence in the Center-Periphery Stratification of the Territorial Organization of Society: the Basic of Concepts]. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya. Vestnik Assotsiatsii rossiyskikh geografov-obshchestvovedov*, 3: 29–40.

- Isyanbaev M.N. 2017. Depressive Territories: Essence, Formation, Principles of Identification. *Vestnik VEGU*, 4(90): 51–57 (in Russian).
- Kaganski V.L. 2012. Inner Periphery – New Growing Zone of the Cultural Landscape of Russia. *Regional Research of Russia. Geographic series*, 6: 23–34 (in Russian).
- Kazakov M.Yu. 2020. Prostranstvenno-ekonomicheskiye sistemy «tsentr-periferiya»: teoreticheskiye osnovy. diagnostika problem. strategicheskiye napravleniya razvitiya [Spatial and Economic Systems "Center-Periphery": Theoretical Foundations, Diagnosis of Problems, Strategic Directions of Development]. Stavropol', Pabl. AGRUS Stavropol'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 608 p.
- Kaibicheva E.I. 2017. Takaya mnogolikaya periferiya. ili k voprosu o tipologii periferiynykh regionov [Such a Diverse Periphery or to the Question of the Typology of Peripheral Regions]. *Vestnik of Samara State University of Economics*, 7(153): 23–29.
- Kuzin V.Yu. 2019. Metropolisation Process of Contemporary Russia in the Context of Polarization. *Pskov Journal of Regional Studies*, 1(19): 33–45 (in Russian).
- Kuzin V.Yu. 2024. Center-periphery theory in spatial development: a critical analysis. *IKBFU's Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences*, 2: 57–67 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/vestniknat-2024-2-4>
- Lapin A.V., Kutergina G.V. 2016. Identification of Depressed Areas and Their Development Modeling: Russian and Foreign Experience. *Perm University Herald. Economy*, 1(28): 98–109 (in Russian).
- Lukin E.V. 2014. Trends to Develop Socio-Economic Space in Russia. *Territorial development issues*, 7(17): 1–10 (in Russian).
- Martynov V.L. 2001. Kommunikatsionnaya sreda mira i obshchestvennoye razvitiye [Communications' Environment of the World and Social Development]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, 1: 27–33. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2001-1-27-33>
- Melnikova L.V. 2024. Core-Periphery and Peripherality in Regional Science. *Prostranstvennaya ekonomika*, 20(1): 144–162 (in Russian). <https://doi.org/10.14530/se.2024.1.144-162>
- Nefedova T.G. 2008. Rossiyskaya periferiya kak sotsialno-ekonomicheskiy fenomen [Russia's Periphery as a Socio-Economic Phenomenon]. *Regionalnye issledovaniya*, 5(20): 14–30.
- Nefedova T.G., Streletsy V.N., Treivish A.I. 2022a. Polaryzatsiya sotsialno-ekonomicheskogo prostranstva sovremennoy Rossii: printsipy. napravleniya i posledstviya [Polarization of the Socioeconomic Space of Modern Russia: Causes, Directions and Consequences]. *Vestnik RAN*, 92(6): 551–563. <https://doi.org/10.31857/S0869587322060093>
- Nefedova T.G., Treivish A.I., Sheludkov A.V. 2022b. A Multi-Scale Approach to Identifying Spatial Inequality in Russia as Incentive and Obstacle in Development. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 86(3): 289–309 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622030128>
- Rodoman B.B. 1987. Jekspresnyj transport, rasselenie i ohrana prirody [Express Transport, Resettlement and Nature Conservation]. In: *Metody izuchenija rasselenija* [Methods for Studying Settlement]. Moscow, Pabl. Institute of Geography SA USSR: 44–54.
- Rodoman B.B. 2012. Rossijskaja vnutrennjaja periferija: vzgljad v raznyh priblizhenijah, na raznyh urovnjah [Russian Inner Periphery: a Glance in Different Approximations, at Different Levels]. In: *Rossijskaja glubinka – modeli i metody izuchenija* [Russian Province – Models and Methods of Studying]. Moscow, Pabl. Eslan: 41–48.
- Tagirova E.I. 2020. Criteria for Assigning Regions to Depressive Territories. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*, 10–3: 309–313 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/vaael.1380>
- Udalov V.S., Kolobov O.A. 2012. The Center – Periphery System in the Contemporary Political Process. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2–1: 297–301 (in Russian).
- Benner M., Tripli M. Hassink R. 2024. Sustainable and Inclusive Development in Left-Behind Places. *Review of Regional Research*, 44: 237–249. <https://doi.org/10.1007/s10037-024-00216-w>
- Bolton M, Day R., Leach M. 2019. England's Overlooked Neighbourhoods: Defining, Understanding and Regenerating 'Left Behind' Communities. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 13(2): 116–123. <https://doi.org/10.69554/SWRD8747>
- Comim Fl., Abreu M., Guinesi M.B.C. 2024. Defining Left Behind Places: an Internationally Comparative Poset Analysis. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 163–180. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad038>

- Connor D.S., Berg Al.K., Kemeny T., Kedron P.J. 2024. Who Gets Left Behind by Left Behind Places? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 37–58. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad031>
- Daniel Z., Whalan R. 2021. Greetings from Trumpland: How an Unprecedented Presidency Changed Everything. Sydney, ABC Books, 361 p.
- Davenport A., Zaranko B. 2020. Levelling Up: Where and How. In: IFS Green Budget. London, Institute for Fiscal Studies: 315–371.
- Eisenberg A.M. 2024. What does It Mean to be ‘Left Behind?’ *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 425–430. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae008>
- Essletzbichler J., Disslbacher F., Moser M. 2018. The Victims of Neoliberal Globalisation and the Rise of the Populist Vote: a Comparative Analysis of Three Recent Electoral Decisions. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 11(1): 73–94. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx025>
- Fikri K. 2024. Persistently Poor, Left-Behind and Chronically Disconnected. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 249–258. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad048>
- Fiorentino S., Glasmeier A.K., Lobao L., Martin R., Tyler P. 2024. ‘Left Behind Places’: What can be Done about Them? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 259–274. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae012>
- Fiorentino S., Glasmeier A.K., Lobao L., Martin R., Tyler P. 2024. ‘Left Behind Places’: What are They and Why do They Matter? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 1–16. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad044>
- Fiorentino S., Sielker F., Tomaney J. 2024. Coastal Towns as ‘Left-Behind Places’: Economy, Environment and Planning. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 103–116. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad045>
- Flint J., Powell R. 2021. Beyond the Noosphere? Northern England’s ‘Left Behind’ Urbanism. In: *Global Urbanism: Knowledge, Power and the City*. London, Routledge: 80–88.
- Fuguitt G. 1971. The Places Left Behind: Population Trends and Policy for Rural America. *Rural Sociology*, 36(4): 449–470.
- Gordon I.R. 2018. In What Sense Left Behind by Globalisation? Looking for a Less Reductionist Geography of the Populist Surge in Europe. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 11(1): 95–113. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx028>
- Iammarino S., Rodriguez-Pose A., Storper M. 2019. Regional Inequality in Europe: Evidence, Theory and Policy Implications. *Journal of Economic Geography*, 19(2): 273–298. <https://doi.org/10.1093/jeg/lby021>
- Jessen S. 2024. The Role of Time and Space in the Identification of Left Behind Regions: a Case Study of Denmark. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 201–218. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad047>
- MacKinnon D., Béal V., Leibert T. 2024. Rethinking ‘Left-Behind’ Places in a Context of Rising Spatial Inequalities and Political Discontent. *Regional Studies*, 58(6): 1161–1166. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2291581>
- MacKinnon D., Kempton L., O’Brien P., Ormerod E., Pike A., Tomaney J. 2022. Reframing Urban and Regional ‘Development’ for ‘Left Behind’ Places. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 15(1): 39–56. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab034>
- 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. London, Routledge, 140 p.
- Martin R., Martinelli F., Clifton J. 2022. Rethinking Spatial Policy in an Era of Multiple Crises. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 15(1): 3–21. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab037>
- Martins H. 2024. Left Behind Places in Brazil: the Dynamics of Regional Inequalities and Public Policies in the Early 21st Century. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(1): 235–248. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsad035>
- McCann P. 2020. Perceptions of Regional Inequality and the Geography of Discontent: Insights from the UK. *Regional Studies*, 54(2): 256–267. <https://doi.org/10.1080/00343404.2019.1619928>
- Mpungose A., Myeni S.L. 2025. Regional Development and the Challenge of ‘Left Behind’ Places in South Africa. In: *Contemporary South Africa and the Political Economy of Regional Development*. Eds. Mdlalose M., Khambule I., Khalema N.E. London, Routledge: 93–115.

- Özatağan G., Eraydin A. 2023. Political Twists and Turns in Left-Behind Places: Reactions of an Extractive Heartland to Changing State Strategies. *Regional Studies*, 58(6): 1251–1263. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2249505>
- Pike A., Béal V., Cauchi-Duval N., Franklin R., Kinossian N., Lang Th., Leibert T., MacKinnon D., Rousseau M., Royer J., Servillo L., Tomaney J., Velthuis S. 2023. ‘Left Behind Places’: a Geographical Etymology. *Regional Studies*, 58(6): 1167–1179. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2167972>
- Pruitt L.R. 2024. Mustering the Political Will to Help Left-Behind Places in a Polarized USA. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 17(2): 407–416. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsae014>
- Rodríguez-Pose A., Lee N., Lipp C. 2021. Golfing with Trump. Social Capital, Decline, Inequality, and the Rise of Populism in the US. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 14(3): 457–481. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab026>
- Rodríguez-Pose A., Terrero-Dávila J., Lee N. 2023. Left-Behind Versus Unequal Places: Interpersonal Inequality, Economic Decline and the Rise of Populism in the USA and Europe. *Journal of Economic Geography*, 23(5): 951–977. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbad005>
- Ruyter A. De, Martin R., Tyler P. 2021. Geographies of Discontent: Sources, Manifestations and Consequences. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 14(3): 381–393. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab025>
- Sobolewska M., Ford R. 2020. *Brexitland: Identity, Diversity and the Reshaping of British Politics*. Cambridge, Cambridge University Press, 410 p.
- Thomas J.M. 1991. The cities left behind. *Built Environment*, 17(3/4): 218–231.
- Tierney J., Weller S., Barnes T., Beer A. 2023. Left-Behind Neighbourhoods in Old Industrial Regions. *Regional Studies*, 58(6): 1192–1206. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2234942>
- Tomaney J., Blackman M., Natarajan L., Panayotopoulos-Tsiros D., Sutcliffe-Braithwaite F., Taylor M. 2023. Social Infrastructure and ‘Left-Behind Places’. *Regional Studies*, 58(6): 1237–1250. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2224828>
- Tups G., Sakala E.N., Dannenberg P. 2023. Hope and Path Development in ‘Left-Behind’ Places – a Southern Perspective. *Regional Studies*, 58(6): 1219–1236. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2235396>
- Ulrich-Schad J.D., Duncan C.M. 2018. People and Places Left Behind: Work, Culture and Politics in the Rural United States. *The Journal of Peasant Studies*, 45(1): 59–79.
- Velthuis S., Royer J., Le Petit-Guerin M., Cauchi-Duval N., Franklin R., Leibert T., MacKinnon D., Pike A. 2024. Regional Varieties of ‘Left-Behindness’ in the EU15. *Regional Studies*, 59(1): 2417704. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2417704>

Поступила в редакцию 26.03.2025;
поступила после рецензирования 24.04.2025;
принята к публикации 03.06.2025

Received March 26, 2025;
Revised April 24, 2025;
Accepted June 03, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кузин Вадим Юрьевич, кандидат географических наук, доцент эколого-географического отделения, Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vadim Yu. Kuzin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Geography, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

УДК 910.27:796.5

DOI10.52575/2712-7443-2025-49-3-618-632

EDN ZJJNQK

Картографические подходы к отражению туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря

Яковенко И.М., Позаченюк Е.А.

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4
yakovenko-tnu@ya.ru, pozachenyuk@gmail.com

Аннотация. Картографическое моделирование территориальной дифференциации туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря включало четыре этапа: разработку ландшафтной карты, картографическое отражение природного потенциала; оценку социокультурного потенциала, разработку итоговой карты дифференциации побережья по объему туристско-рекреационного ресурсного потенциала с учетом результатов сопряженного анализа двух карт. Карта оценки ландшафтов по степени благоприятности ландшафтных условий к использованию в туристско-рекреационных целях получена на основе предварительной разработки картографической модели 84 видов ландшафтов. Для их выделения учитывались две группы критериев: а) прибрежные сухопутные территории (форма рельефа, ширина пляжей, высота и активность клифов, литологический состав, уровень грунтовых вод, степень проявления абразионных процессов, степень подтопления и заболачивания); б) прибрежные акватории (тип прилегающих вод – море, лиман, дельта реки, наличие или отсутствие водно-болотных комплексов). Анализ культурно-исторического ресурсного потенциала Приазовья осуществлялся с помощью комплексной полигоналитической карты с показом числа, структуры и плотности культурно-исторических объектов, включая культурное наследие регионов Приазовья. Синтетическая карта отражала результаты оценивания объема природного ресурсного потенциала и культурно-исторического ресурсного потенциала побережья; для показа различных комбинаций оценок была применена матричная форма легенды. Визуализация авторских оценок выявила высокую степень территориальной дифференциации туристско-рекреационного ресурсного потенциала регионов Приазовья. Западная часть побережья Азовского моря в целом отличается более высоким объемом и качеством природных туристско-рекреационных ресурсов, в то время как восточные и юго-восточные участки располагают большим числом общественно значимых культурно-исторических ресурсов. Наиболее благоприятные условия для актуализации ресурсного потенциала для целей рекреации и туризма сложились на побережье Херсонской и Запорожской областей, побережье Керченского полуострова Республики Крым, в устьевой части реки Дон в Ростовской области.

Ключевые слова: картографическое моделирование, рекреация, туристско-рекреационный ресурсный потенциал, побережье Азовского моря, ландшафт, ГИС

Благодарности: исследование выполнено в рамках договора № 26/06/2024 и финансовой поддержки Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество».

Для цитирования: Яковенко И.М., Позаченюк Е.А. 2025. Картографические подходы к отражению туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря. Региональные геосистемы, 49(3): 618–632. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-618-632 EDN: ZJJNQK

Cartographic Approaches to Reflecting the Tourist and Recreational Resource Potential of the Azov Sea Coast

Irina M. Yakovenko, Ekaterina A. Pozachenyuk

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4 Academician Vernadsky Av, Simferopol 295007, Russia
yakovenko-tnu@ya.ru, pozachenyuk@gmail.com

Abstract. The article presents cartographic modeling of the territorial differentiation of the tourist and recreational resource potential of the Azov Sea coast. The process included four stages: development of a

© Яковенко И.М., Позаченюк Е.А., 2025

landscape map; cartographic reflection of natural potential; assessment of the socio-cultural potential, and compilation of a final differentiation map of the coast based on the volume of tourist and recreational resource potential. Preliminary development of a cartographic model reflecting 84 landscape types allowed compiling a landscape assessment map in terms of the degree of favorable landscape conditions for tourism and recreation. Two groups of criteria were taken into account: a) coastal land areas (relief shape, width of beaches, height and activity of cliffs, lithological composition, groundwater level, degree of manifestation of abrasive processes, degree of flooding and waterlogging; b) coastal water areas (type of adjacent waters – sea, estuary, river delta, presence or absence of wetland complexes). The cultural and historical resource potential of the Azov Sea regions was analyzed out using a comprehensive multianalytical map showing the number, structure, and density of cultural and historical objects, including the cultural heritage. The synthetic map reflected the results of estimating the volume of natural resource potential and the cultural and historical resource potential of the coast; the matrix form of the legend was used to show various combinations of estimates. Visualization of the authors' estimates revealed a high degree of territorial differentiation of the tourist and recreational resource potential of the Azov Sea regions. The western part of the Azov Sea coast is generally characterized by a larger volume and higher quality of natural tourist and recreational resources, while the eastern and southeastern sections have numerous socially significant cultural and historical resources. The most favorable conditions for updating the resource potential for recreation and tourism have developed on the coast of the Kherson and Zaporozhye regions, the coast of the Kerch Peninsula of the Republic of Crimea, and the mouth of the Don River in the Rostov region.

Keywords: cartographic modeling, recreation, tourist and recreational resource potential, coast of the Azov Sea, landscape, GIS

Acknowledgements: the study was carried out under the agreement No. 26/06/2024 and the financial support of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society".

For citation: Yakovenko I.M., Pozachen'yuk E.A. 2025. Cartographic Approaches to Reflecting the Tourist and Recreational Resource Potential of the Azov Sea Coast. *Regional Geosystems*, 49(3): 618–632 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-618-632 EDN: ZJJNQK

Введение

Стратегической задачей современного этапа развития туристско-рекреационного комплекса Российской Федерации является усиление интеграционных процессов в рамках создания национального туристского продукта с учетом природного и этнокультурного разнообразия регионов России. Залогом эффективного формирования и продвижения региональных туристских продуктов должно стать рациональное использование туристско-рекреационного ресурсного потенциала каждого региона на принципах комплексности и социально-экономической и экологической сбалансированности.

Регион Приазовья, до недавнего времени находившийся в тени популярных курортных и туристских районов Российского Причерноморья, обладает природной и социокультурной уникальностью, благоприятным сочетанием разнообразных ресурсов и условий для успешного развития многих массовых и специализированных видов рекреации и туризма [Приазовье ..., 2024]. При этом важным фактором проявления интереса к Приазовскому региону стало присоединение к России новых регионов и превращение Азовского моря во внутреннее море страны. Государственная политика в сфере туризма направлена на интегрирование новых регионов в единое туристское пространство Приазовья на основе актуализации их туристско-рекреационных потенциалов и поддержки межрегионального взаимодействия.

Рекреационно-географическое изучение побережья Азовского моря началось в 1960–1970 гг., в том числе в рамках обоснования архитектурно-планировочных решений по курортному освоению новых районов Юга СССР. Направления ресурсно-оценочных работ давались программами характеристики преимущественно природных компонентов ландшаф-

тов [Лиханов, Ступина, 1975]. Большинство научных публикаций были посвящены оценке перспектив организации в Приазовье лечения и кратковременной рекреации [Рыбалов, 1969], оценке физико-географических условий рекреационной деятельности, проведению инженерно-технических, в первую очередь, берегоукрепительных, мероприятий [Беляев, 1973] и др. Комплексное описание рекреационного ресурсного потенциала, состояния рекреации и туризма и направлений дальнейшего освоения Азовского рекреационного района было предпринято при подготовке монографии Института географии Академии наук СССР «География рекреационных систем СССР» [1980]. Исследование продемонстрировало резкие диспропорции в обеспеченности рекреационных районов Приазовья пляжными, бальнеогрязевыми, ландшафтными и культурно-историческими ресурсами, а также выявило отчетливо выраженную неоднородность процесса рекреационного освоения побережья.

Одной из первых диссертаций в области рекреационной географии побережья Азовского моря стала работа Н.М. Сажневой [1988], посвященная территориальной организации приморских рекреационных систем оазисного типа освоения на примере Западного Приазовья. Оценка и картографирование ресурсной составляющей потенциала в данной диссертации отсутствовали.

Постсоветский период ознаменовался усилением роли ресурсного подхода в отечественных рекреационно-географических исследованиях [Санин, 2023]. По нашим оценкам, из 206 диссертаций на соискание географической степени, защищенных в России с 2010 по 2024 год, 38,1 % были связаны с вопросами оценки туристско-рекреационного ресурсного потенциала территории. В исследуемом регионе изучение природного и культурно-исторического потенциала российского побережья Азовского моря осуществлялось как отдельными учеными, так и научными коллективами [Андреев, 2011; Ивлиева, Кушнир, 2017; 2019; Волкова и др., 2018; Миненкова, Потапова, 2021; Кушнир, 2023]. При этом отмечается неоднородность в степени изученности отдельных участков Приазовья: детально описан туристско-рекреационный ресурсный потенциал побережья Таганрогского и Темрюкского заливов [Веселов и др., 2005; Голубничая, Мишечкин, 2016; Ирисова и др., 2016; Оценка степени использования..., 2016] и сравнительно слабо – крымского участка побережья Азовского моря [Яковенко, Стручкова, 2023] и приморских районов новых российских регионов [Савенко, 2000].

Картографический метод выступает одним из ведущих в рекреационно-географических исследованиях, являясь не только приемом визуализации, но и полноценным средством научного поиска [Бочковская, 1979; Солпина, 2017]. Он незаменим для выявления территориальной структуры туристско-рекреационных ресурсов разного типа, фиксирования пространственных проявлений их внутренних и внешних связей, формулирования на основе установленных пространственных закономерностей стратегических целей по туристско-рекреационному освоению территории и совершенствованию функциональной и территориальной структуры туристско-рекреационного комплекса регионов разного иерархического уровня.

Комплексное картографирование туристско-рекреационного потенциала побережья Азовского моря до недавнего времени не проводилось. Следует упомянуть отдельные карты распределения культурно-исторических ресурсов по территории Краснодарского края с показателями насыщенности туристско-рекреационных районов памятниками федерального, регионального и местного значения и плотности культурно-исторических объектов [Миненкова, Потапова, 2021]. Авторские карты О.В. Ивлиевой и К.В. Кушнир [2017] иллюстрируют результаты балльной оценки отдельных видов ресурсов; на итоговой карте отражена типология муниципальных районов Ростовской области, Краснодарского края и Республики Крым по интегральному показателю туристско-рекреационного потенциала. Вместе с тем использование в качестве единицы картографирования всей территории муниципальных образований не позволило отразить различия в структуре и рекреационной ценности природных и культурно-исторических ресурсов непосредственно в приморской части Азовского моря.

Из актуальных задач комплексного туристско-рекреационного освоения регионов Приазовья вытекает необходимость обоснования перспективной функциональной и территориальной структуры рекреации и туризма на основе сопряженного анализа и оценки природных и культурно-исторических ресурсов на уровне микрорегионов.

Целью данного исследования явилась разработка и апробация методики и алгоритма картографического отражения туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря.

Объекты и методы исследования

Теоретико-методологической основой исследования явились труды отечественных ученых-географов, посвященные изучению физико-географических, ландшафтных, социально-экономических особенностей Приазовья и проблемам рекреационного освоения региона; материалы научно-исследовательских организаций, проводивших проектные, архитектурно-планировочные и инженерно-технические изыскания, документы стратегического планирования социально-экономического развития муниципальных образований Приазовья.

Источником первичной информации для проведения аналитических и оценочных работ стали результаты, полученные авторами в ходе полевого этапа комплексной исследовательской экспедиции на побережье Азовского моря в рамках проекта Русского географического общества «Туристско-рекреационный ресурсный потенциал побережья Азовского моря и перспективные направления его использования» (апрель – октябрь 2024 г.). В ходе экспедиции был проведен анализ около 3000 км береговой линии, описано с фото- и видеофиксацией 530 ключевых точек по 31 показателю.

В исследовании применен ландшафтно-карографический подход в оценке туристско-рекреационного ресурсного потенциала. Выделение видов ландшафтов базировалось на собственных полевых исследованиях, а также использовании методических подходов к изучению компонентов ландшафта [Чекунов и др., 1976; Мамыкина, Хрусталев, 1980; Косян, Крыленко, 2007; Дроздов, 2010; Горячkin, 2015; Ивлиева и др., 2015; Подымов, Подымова, 2017; Бердников и др., 2022;] и методов комплексных ландшафтных исследований [Выработка приоритетов..., 1999; Матишов и др., 2014].

Разработка подходов к исследованию территориальной дифференциации и картографическому отражению туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря осуществлялась впервые, но опиралась на результаты предыдущих научных и научно-прикладных работ авторов. На основе ранее предложенной И.М. Яковенко комплексной картографической модели регионального рекреационного природопользования [Яковенко, 2003] были определены тематика карт, система показателей для оценки природных и культурно-исторических ресурсов, сформулированы критерии типологизации ресурсов разного типа и разработаны адекватные способы картографического отражения.

В рамках данного исследования использован комплекс современных общенаучных и специальных методов исследования, среди которых, помимо картографического, важная роль отводилась аэрокосмическому методу и ГИС-технологиям. Широко использовались данные управлений Федеральной службы государственной статистики РФ и информация официальных сайтов муниципальных образований шести регионов РФ, выходящих к побережью Азовского моря.

Результаты и их обсуждение

Картографическое моделирование туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря проходило в четыре этапа:

1) разработка ландшафтной карты, отражающей сухопутные и аквальные ландшафты побережья;

2) картографирование и оценка природного туристско-рекреационного ресурсного потенциала;

3) картографирование и оценка социокультурного (культурно-исторического) ресурсного потенциала;

4) сопряженный анализ карт и составление синтетической карты дифференциации побережья по объему туристско-рекреационного ресурсного потенциала.

На первом этапе в основу разработки *ландшафтной карты* была положена типизация ландшафтов по двум группам критериев: а) прибрежные сухопутные территории: форма рельефа, активность клифа (активный или отмерший), литологический состав, уровень грунтовых вод, степень подтопления и заболачивания; б) прибрежные акватории: тип прилегающих вод (море, лиман, дельта реки), наличие или отсутствие водно-болотных комплексов.

В оценке геоморфологических условий использовались критерии: а) ширина пляжей: до 10 м – узкие; 10–30 м – средние; более 30 м – широкие; б) высота клифов: менее 3 м – низкие; 3–10 м – средние; 10–30 и более метров – высокие; в) степень проявления абразионных процессов: менее 1 м/год – слабая; 1,0–2,0 м/год – средняя; 2,0–4,0 м/год – сильная; более 4 м/год – очень сильная. К абразионным ландшафтам были отнесены ландшафты, абразия клифов которых отличается сильной и очень сильной интенсивностью. Учитывалась также степень проявления негативных процессов (абразионно-обвальных, абразионно-осыпных, абразионно-оползневых, аккумулятивных, аккумулятивно-абразионных, а также процессов заболачивания, подтопления, затопления). Всего было выделено 84 вида ландшафтов побережья Азовского моря (рис. 1, отражено цифрами).

На втором этапе исследования производилась оценка степени благоприятности ландшафтных условий приморских территорий для использования в туристско-рекреационных целях (рис. 1, выделено цветом). Анализ полученных результатов показал, что из 84 участков побережья Азовского моря 27 оцениваются высокой степенью благоприятности (38 %), 21 участок – средней (25 %), 23 участка – низкой (27 %) и очень низкой – 13 участков (16 %). Большая часть побережья пригодна к использованию в рекреационных целях (48 %). Территория остальных участков (36 %) подвержена интенсивным негативным процессам и нуждается либо в нестандартных подходах к рекреационному освоению, либо в сложных и затратных мероприятиях по инженерной подготовке территории.

Третий этап посвящен исследованию степени обеспеченности регионов Приазовья культурно-историческими ресурсами и оценке социокультурного потенциала региона (рис. 2). Результаты исследования свидетельствуют о неоднородности в пространственном распределении как культурно-исторических ресурсов в целом, так и объектов культурного наследия. По общему числу входящих в Единый государственный реестр объектов культурного наследия народов РФ с большим отрывом лидируют Неклиновский (538 объектов) и Темрюкский (537 объектов) муниципальные районы [Единый государственный реестр ..., 2015]. Минимальное количество объектов зарегистрировано в Щербиновском (41) и Приморско-Ахтарском (54) районах. Удельный вес объектов с федеральным статусом изменяется от 0 % (Щербиновский район) до 96,7 % (Неклиновский район). Следует заметить, что число и структура объектов культурного наследия регионов Приазовья в составе новых субъектов России определялись в соответствии с версией 2014 года. Согласно Федеральному закону от 18.03.2023 № 63-ФЗ, принято решение до 1 января 2026 г. об отнесении объектов культурного наследия в новых регионах, включенных в реестр, к объектам федерального значения.

Густота объектов культурного наследия варьирует от 2 до 27 на 100 км², но в Керчи количество объектов превышено – 80 на 100 км². Важную роль играет комбинаторность объектов разного типа. Подавляющее число объектов культурного наследия представлено археологическими объектами (в Азовском, Темрюкском, Каневском и Неклиновском районах их удельный вес составляет от 78 до 96 %, а в Геническом, Мелитопольском и Бердянском районах он равен 100 %).

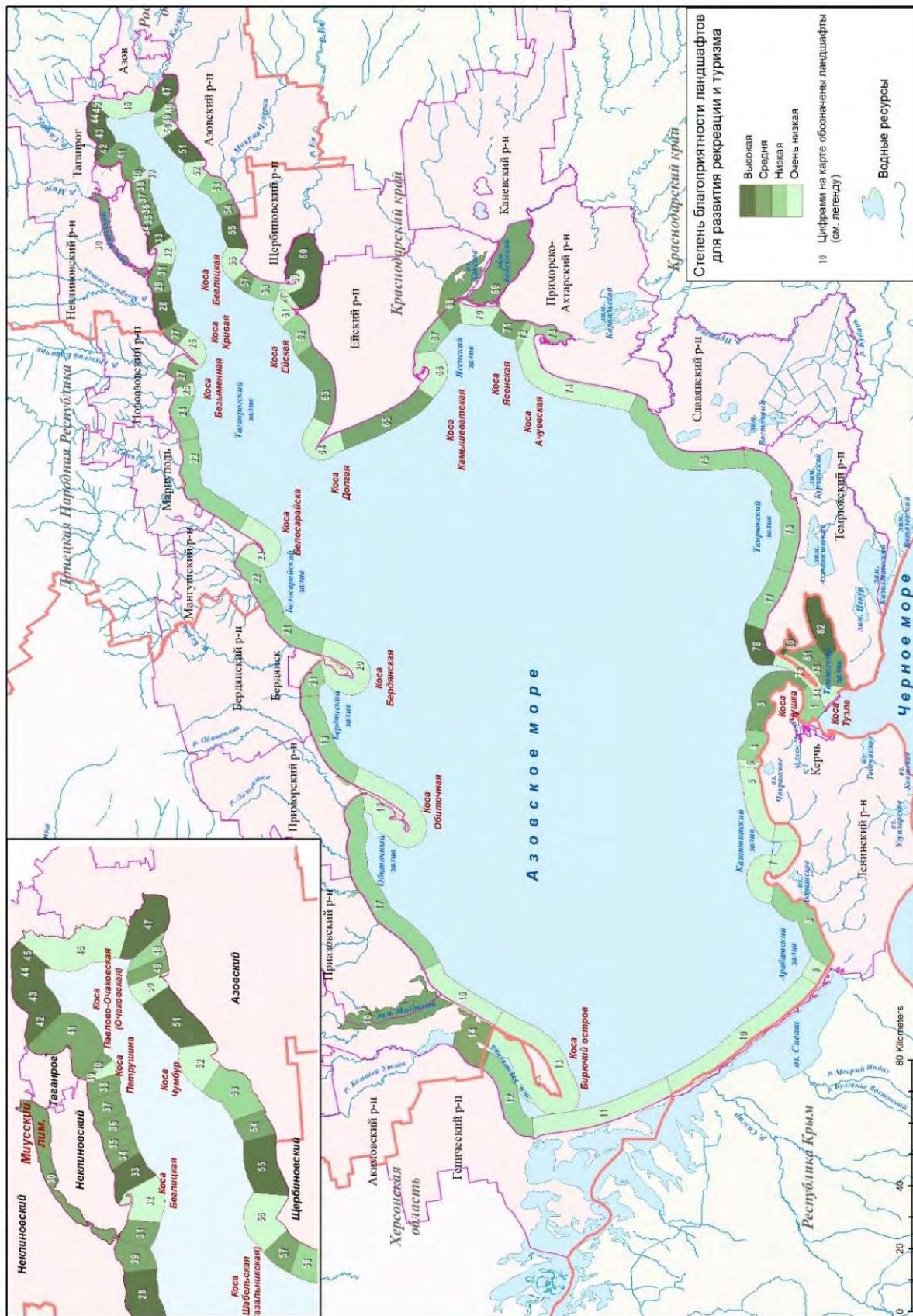


Рис.1. Ландшафты побережья Азовского моря и степень их благоприятности для развития рекреации и туризма

Fig. 1. Landscapes of the Azov Sea coast and their degree of favorability for the development of recreation and tourism

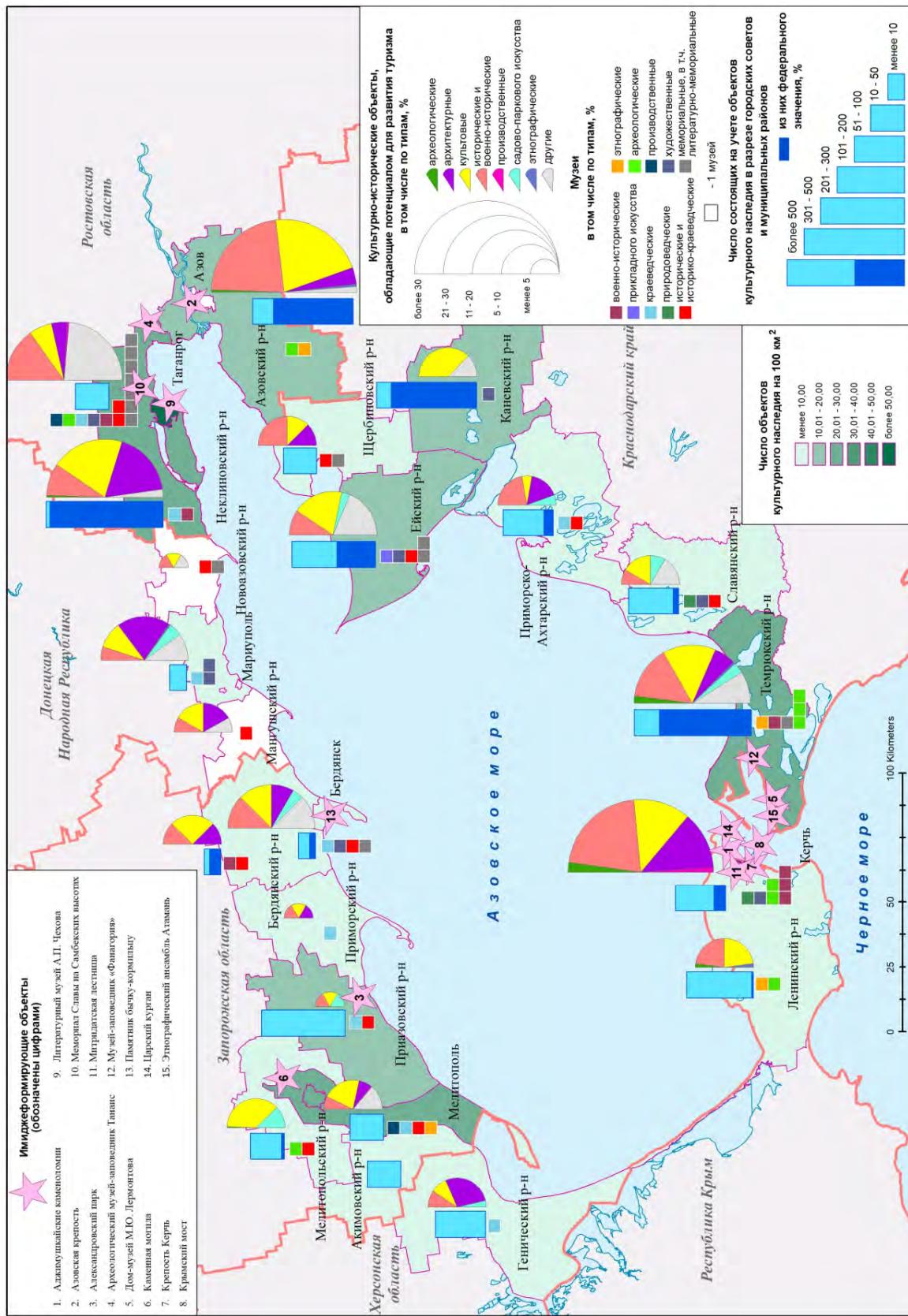


Рис. 2. Территориальная структура культурно-исторического ресурсного потенциала регионов Приазовья, 2024 год

Fig. 2. Territorial structure of cultural and historical resource potential of the Azov Sea regions, 2024

Необходимо учитывать, что в силу плохой сохранности и невыраженности в рельефе большинство археологических объектов (курганы, стоянки, поселения, могильники) редко рассматриваются как объекты, непосредственно вовлекаемые в туристский оборот, или их актуализация требует значительных капитальных затрат. Керчь и Темрюкский район могут позиционироваться как регионы с наиболее благоприятным сочетанием культурно-исторических объектов разного типа; Неклиновский, Ленинский и Темрюкский районы – как регионы с благоприятным сочетанием объектов культурного и природного наследия.

В данном исследовании проведена поликритериальная типология городских советов и муниципальных районов Приазовья по уровню обеспеченности и актуализации объектов культурного наследия (см. таблицу).

Типология городских округов и муниципальных районов Приазовья
по уровню обеспеченности и актуализации объектов культурного наследия
Typology of urban districts and municipal districts of the Azov Sea region
by the level of provision and actualization of cultural heritage

Типология городских округов		Тип				
		I	II	III	IV	V
Плотность объектов КН	B	+	+			
	C			+		
	H			+	+	
Удельный вес объектов КН федерального значения	B	+		+		
	C			+		
	H				+	
	нет		+		+	
Преобла- дающий тип объектов КН	истории	+		+		
	археологии	+		+	+	
	Архитек- туры		+			
	культовые		+			
	Биосо- циальные		+			
Степень локализации объектов разного типа	B	+	+			
	C					
	H			+	+	
Степень актуализации объектов КН	B	+	+			
	C	+	+			
	H			+	+	
Городские округа и муниципальные районы		Неклиновский, Темрюкский, Азовский, Ейский, г. Керчь	Таганрог, Мелитополь	Каневской, Славянский, Приморско-Ахтарский, Бердянский, г. Бердянск	Акимовский, Генический, Мелитопольский, Приазовский, Ленинский, Щербиновский	Приморский, Мангушский, Новоазовский, г. Мариуполь

Примечание: КН – культурное наследие, В – высокий, С – средний, Н – низкий.

К I типу районов с высокой плотностью объектов культурного наследия, высоким удельным весом объектов федерального значения (23,3–96,7 %), преобладанием исторических и археологических объектов, высокой локализацией объектов разного типа и высокой или средней актуализацией в системе туризма отнесены Неклиновский, Темрюкский, Азовский, Ейский районы и г. Керчь.

II тип районов характеризуется высокой плотностью объектов культурного наследия, отсутствием объектов федерального значения, преобладанием архитектурных, культовых и биосоциальных объектов, средней локализацией объектов разного типа, высокой или средней актуализацией в системе туризма. К нему отнесены городские округа Таганрог и Мелитополь.

III тип районов (Каневской, Славянский, Приморско-Ахтарский, Бердянский муниципальные районы, г. Бердянск) имеет среднюю или низкую плотность объектов культурного наследия, высокий или средний удельный вес объектов федерального значения, преобладание объектов истории и археологии, низкую локализацию объектов разного типа и низкую актуализацию в системе туризма.

IV тип районов включает районы с низкой плотностью объектов культурного наследия, низким удельным весом или отсутствием объектов федерального значения, преобладанием археологических объектов, низкой локализацией объектов разного типа и низкой актуализацией в системе туризма – Акимовский, Генический, Мелитопольский, Приазовский, Ленинский, Щербиновский муниципальные районы.

V тип районов отличается отсутствием официально зарегистрированных объектов культурного наследия или их утратой в силу ряда факторов. Данному типу соответствуют Приморский, Мангушский, Новоазовский районы, г. Мариуполь.

Наличие значительной дифференциации Приазовья по уровню обеспеченности и актуализации культурного наследия определяет различный организационно-управленческий механизм в программах развития туристско-рекреационного комплекса регионов. Региональные реестры объектов культурного наследия в новых регионах РФ должны быть уточнены с учетом действующего нормативно-правового обеспечения, а также инициировано включение объектов с высокой исторической ценностью в государственный реестр. В регионах с бедным социокультурным ресурсным потенциалом актуально создание искусственных (неогенетических) ресурсов.

На четвертом, завершающем этапе изучения условий развития рекреации и туризма в Приазовье была проведена дифференциация прибрежных районов Азовского моря по объему туристско-рекреационного ресурсного потенциала с учетом сопряженной оценки его природной и культурно-исторической составляющих (рис. 3).

Были установлены заметные различия между регионами Приазовья по объему, структуре и качеству туристско-рекреационного ресурсного потенциала. Западная часть побережья Азовского моря в целом отличается более высоким объемом и качеством природных туристско-рекреационных ресурсов, в то время как восточные и юго-восточные участки располагают большим числом общественно значимых культурно-исторических ресурсов. В восточной части Приазовья сосредоточены общественно значимые музеи и действуют инновационные туристские маршруты (например, «Золотое кольцо Боспорского царства») [Золотое кольцо..., 2024]. В новых регионах Западного Приазовья отмечается неудовлетворительное состояние многих объектов культурного наследия, музейные фонды нуждаются в реконструкции [Снеговская, 2024]. Наиболее благоприятные условия для актуализации ресурсного потенциала для целей рекреации и туризма сложились на побережье Херсонской и Запорожской областей, побережье Керченского полуострова Республики Крым, в устьевой части реки Дон в Ростовской области.

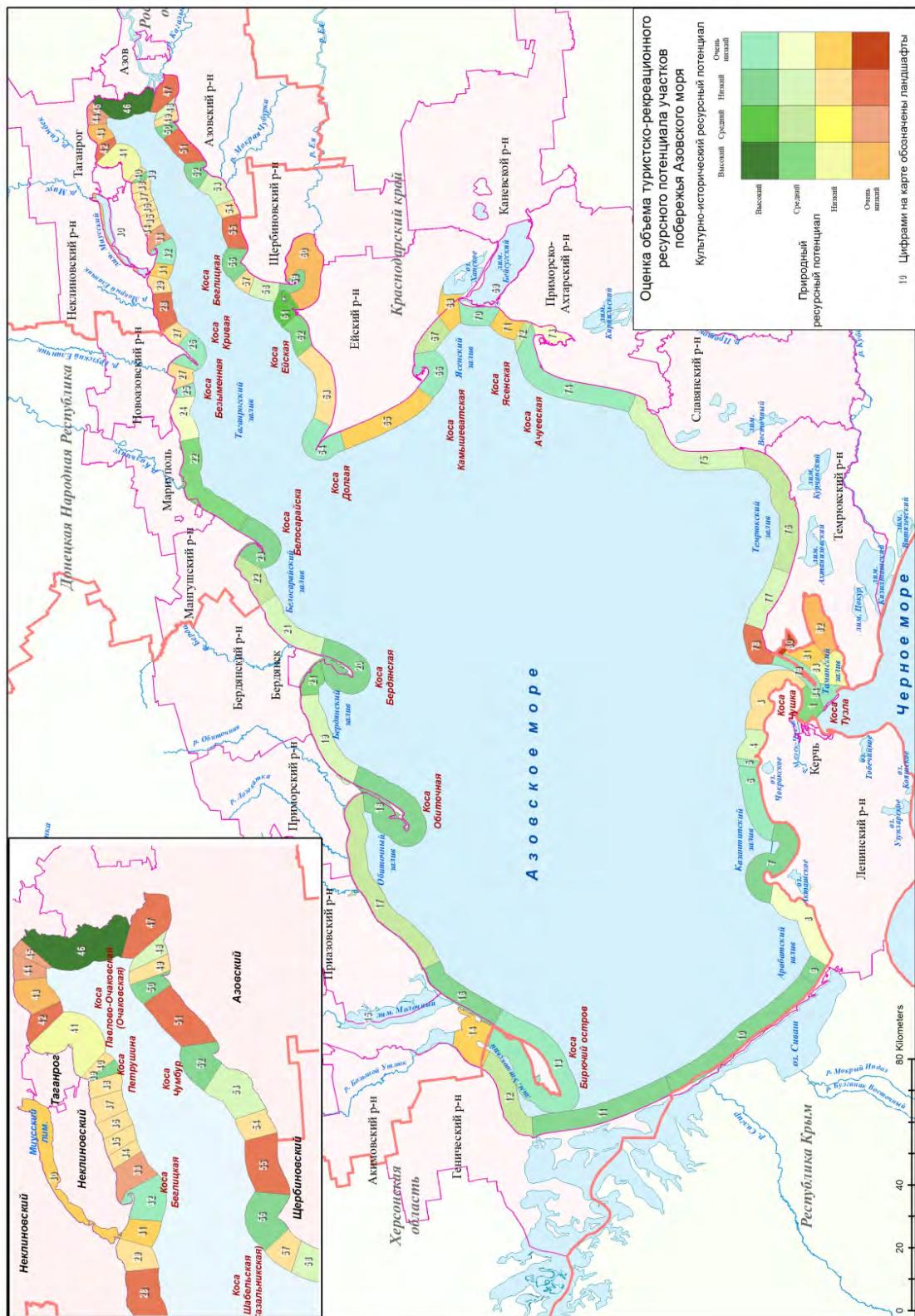


Рис. 3. Дифференциация побережья Азовского моря по объему туристско-рекреационного ресурсного потенциала, 2024 год
Fig. 3. Differentiation of the coast of the Azov Sea in terms of tourist

Fig. 3. Differentiation of the coast of the Azov Sea in terms of tourist and recreational resource potential, 2024 (compiled by the authors)

Заключение

Алгоритм картографического отражения туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря имел следующую структурно-логическую последовательность: от построения ландшафтной карты к оценке ландшафтных условий для целей рекреации туризма; от построения комплексной карты культурно-исторического ресурсного потенциала региона к его туристско-рекреационной оценке. Прием сопряженного анализа данных тематических карт позволил разработать итоговую синтетическую карту территориальной дифференциации туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря. Использование матричной легенды дало возможность одновременно представить оценку объема природной и культурно-исторической составляющих ресурсного потенциала в градациях «высокий», «средний», «низкий» и «очень низкий».

Картографическое моделирование туристско-рекреационного ресурсного потенциала побережья Азовского моря выявило резкие диспропорции в пространственном распределении природных и культурно-исторических ресурсов. Это создает проблему неравномерности процесса туристско-рекреационного освоения Приазовья: участки со значительным объемом и высоким качеством ресурсов являются наиболее аттрактивными для туристских потоков и часто характеризуются избыточными рекреационными нагрузками, в то время как участки с низким туристско-рекреационным потенциалом остаются невостребованными.

Интерпретация результатов картографического моделирования может использоваться в обосновании планов перспективной пространственной организации приморских туристско-рекреационных систем региона.

Список источников

- Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. 2015. Электронный ресурс. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/> (дата обращения 04.04.2025).
- Золотое кольцо Боспорского царства. 2024. Электронный ресурс. URL: <https://livingheritage.ru/brand/krasnodarskij-kraj/zolotoe-kolco-bosporskogo-carstva> (дата обращения 28.03.2025).
- Оценка степени использования рекреационного потенциала Азово-Черноморского побережья Краснодарского края на основе учета динамических природных и антропогенных факторов в новых геоэкономических условиях. 2016. Отчет НИР: Краснодар, Кубанский государственный университет. Электронный ресурс. <https://www.kubsu.ru/ru/geo/nauchnaya-rabota-kafedry-mezhdunarodnogo-turizma-i-menedzhmenta> (дата обращения 28.03.2025).
- Приазовье станет брендом межрегионального туризма. 2024. Электронный ресурс. URL: <https://zonews.ru/news/priazove-stanet-brendom-mezhregionalnogo-turizma/> (дата обращения 04.04.2025).

Список литературы

- Андреев С.С. 2011. Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного Федерального округа России. СПб., РГГМУ, 302 с.
- Беляев В.Б. 1973. Решение вопросов инженерной подготовки территории в районной планировке Азовского побережья Краснодарского края. Вопросы районной планировки и расселения. Киев, Будивельник, 102 с.
- Бердников С.В., Беспалова Л.А., Хаванский А.Д., Хорошев О.А., Магаева А.А., Мисиров С.А., Меринова Ю.Ю., Кулыгин В.В., Цыганкова А.Е., Иошпа А.Р., Сорокина В.В., Лихтанская Н.В., Булышева Н.И., Шохин И.В., Савикин А.И., Оганесян А.А., Смирнова Е.А. 2022. Опасные абразионные и оползневые процессы в береговой зоне Азовского моря и социально-экономические последствия их проявлений. Ростов на Дону, ЮНЦ РАН, 288 с.

- Бочковская А.И. 1979. Картографирование природных рекреационных возможностей территории для обоснования проектно-планировочных работ. В кн.: Картографическое обеспечение отдельных видов планирования. Киев, Наукова думка: 170–179.
- Веселов Д.С., Рябошапко О.В., Сергеева И.С. 2005. Темрюкский район как перспективная зона развития рекреационной сферы на Азово-Черноморском побережье. В кн.: Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития. 2 региональная научно-практическая конференция, Краснодар, 22 апреля 2005. Краснодар, Просвещение-Юг: 39–44.
- Волкова Т.А., Пономаренко А.А., Кондрашина М.К. 2018. Ресурсный потенциал Приазовской туристской зоны Краснодарского края. В кн.: Сервису и туризму – инновационное развитие. X международная научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 23 марта 2018. Санкт-Петербург, Ленинградский государственный университет: 81–86.
- Выработка приоритетов: новый подход к сохранению биоразнообразия в Крыму. 1999. Вашингтон, BSP, 257 с.
- География рекреационных систем СССР. 1980. Под ред. В.С. Преображенского, В.М. Кривошеева. М, Наука, 219 с.
- Голубничая С.Н., Мишечкин Г.В. 2016. Природный туристический потенциал Донецкого региона. В кн.: Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции, Пицунда, 13–16 апреля 2016. Краснодар, Кубанский государственный университет: 148–151.
- Горячкин Ю.Н. 2015. Современное состояние береговой зоны Крыма. Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, 252 с.
- Дроздов В.В. 2010. Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 15: 155–176.
- Ивлиева О.В., Беспалова Е.В., Шевердяев И.В., Сушко К.С., Матишов Г.Г., Бердников С.В., Хартиев С.М., Цыганкова А.Е., Кропянко Л.В., Иошпа А.Р., Беспалова Л.А., Архипова О.Е. 2015. Современные опасные экзогенные процессы в береговой зоне Азовского моря. Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, 321 с.
- Ивлиева О.В., Кушнир К.В. 2017. Природный и историко-культурный туристско-рекреационный потенциал российского побережья Азовского моря. Вестник Национальной академии туризма, 2(42): 38–41.
- Ивлиева О.В., Кушнир К.В. 2019. Геоморфологическая оценка рекреационного потенциала российского побережья Азовского моря в целях развития туризма. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 4: 218–222. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-218-222>
- Ирисова Т.А., Колотова Е.В., Денисова Д.В. 2016. Проблемы и перспективы рекреационного освоения Азовского побережья России. Индустрия туризма: возможности, приоритеты, проблемы и перспективы, 9(1): 74–87.
- Косьян Р.Д., Крыленко М.В. 2007. Комплексная характеристика современного состояния берегов Азовского моря в пределах Краснодарского края. Экосистемные исследования Азовского, Черного и Каспийского морей и их побережий, 9: 50–68.
- Кушнир К.В. 2023. Опорный туристско-рекреационный каркас Российского Приазовья и перспективы его развития. Современные проблемы сервиса и туризма, 17(2): 110–119. DOI: 10.5281/zenodo.7997374
- Лиханов Б.Н., Ступина Н.М. 1975. Программа характеристики природных компонентов ландшафтов при проектировании рекреационных комплексов. Географические проблемы туризма и отдыха, 1: 30–43.
- Мамыкина В.А., Хрусталев Ю.П. 1980. Береговая зона Азовского моря. Ростов-на-Дону, Издательство Ростовского университета, 176 с.
- Матишов Г.Г., Коломийчук В.П., Польшина Т.Н. 2014. Флористическое районирование береговой зоны Азовского моря. Вестник Южного научного центра, 10(1): 55–59.

- Миненкова В.В., Потапова А.Е. 2021. Оценка культурно-исторических ресурсов как составляющей туристско-рекреационного потенциала территории (на материалах Краснодарского края). Географический вестник, 4(59): 130–148. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-4-130-148>
- Подымов И.С., Подымова Т.М. 2017. Геоэкологическая оценка развития опасных природных процессов побережий Азовского и Черного морей в Таманском регионе. Научно-методический электронный журнал «Концепт», Т31: 1086–1098.
- Рыбалов Л.Г. 1969. Архитектурно-планировочная организация курортной местности побережья Азовского моря. В кн.: Проектирование курортов и зон отдыха. В помощь проектировщику-градостроителю. Киев, Будивельник: 78–109.
- Сажнева Н.М. 1988. Территориальная организация приморских рекреационных систем оазисного типа освоения (на материалах Западного Приазовья). Автореф. дис...канд. геогр. наук. Ленинград, 17 с.
- Савенко В.Н. 2000. Возможности развития туристической отрасли в Северном Приазовье. В кн.: Проблемы информатизации рекреационной и туристической деятельности в Украине: перспективы культурного и экономического развития. Трускавец: 238–243.
- Санин А.Ю. 2023. К вопросу об оценке рекреационного потенциала прибрежных территорий Российской Федерации. Геополитика и экогеодинамика регионов, 9(1): 169–183.
- Снеговская Е.А. 2024. Музейные коллекции с военно-исторической тематикой в новых субъектах Российской Федерации (Запорожская область). Культурологический журнал, 2: 78–83.
- Солнина Н.Г. 2017. Картографирование рекреационного потенциала территории. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 22: 124–134.
- Чекунов А.В., Веселов А.А., Гилькман А.И. 1976. Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба. Киев, Наукова Думка, 155 с.
- Яковенко И.М. 2003. Рекреационное природопользование: методология и методика исследований. Симферополь, Таврия, 335 с.
- Яковенко И.М., Стручкова Н.В. 2023. Концептуальная модель развития приморских туристско-рекреационных систем Ленинского района Республики Крым. Геополитика и экогеодинамика регионов, 9(1): 105–120.

References

- Andreev S.S. 2011. Integralnaya otsenka klimaticheskoy komfortnosti na primere territorii Yuzhnogo Federalnogo okruga Rossii [Integral Assessment of Climatic Comfort on the Example of the Territory of the Southern Federal District of Russia]. St. Petersburg, Pabl. Russian State Medical University, 302 p.
- Belyaev V.B. 1973. Resheniye voprosov inzhenernoy podgotovki territorii v rayonnoy planirovke Azovskogo poberezhia Krasnodarskogo kraya. Voprosy rayonnoy planirovki i rasseleniya [Solving Issues of Engineering Preparation of the Territory in the Regional Planning of the Azov Coast of the Krasnodar Territory. Issues of District Planning and Settlement]. Kiev, Pabl. Budivelnik, 102 p.
- Berdnikov S.V., Bespalova L.A., Khovansky A.D., Khoroshev O.A., Magaeva A.A., Misirov S.A., Merinova Yu.Yu., Kulygin V.V., Tsygankova A.E., Ioshpa A.R., Sorokina V.V., Likhtanskaya N.V., Bulysheva N.I., Shokhin I.V., Savikin A.I., Oganesyan A.A., Smirnova E.A. 2022. Hazardous Abrasion and Landslide Processes in the Sea of Azov Coastal Zone and Socio-Economic Consequences of Their Impact. Rostov-on-Don, Pabl. YUNTS RAS, 288 p. (in Russian).
- Bochkovskaya A.I. 1979. Kartografirovaniye prirodnykh rekreatsionnykh vozmozhnostey territorii dlya obosnovaniya proyektno-planirovchnykh rabot [Mapping of Natural Recreational Opportunities of the Territory to Substantiate Design and Planning Works]. In: Kartograficheskoye obespecheniye otdelnykh vidov planirovaniya [Cartographic Support of Certain Types of Planning]. Kiev, Pabl. Naukova dumka: 170–179.
- Veselov D.S., Ryaboshapko O.V., Sergeyeva I.S. 2005. Temryukskiy rayon kak perspektivnaya zona razvitiya rekreatsionnoy sfery na Azovo-Chernomorskem poberezhye [Temryuk District as a Promising Area for the Development of the Recreational Sector on the Azov-Black Sea Coast]. In: Kurortno-rekreatsionnyy kompleks v sisteme regionalnogo razvitiya [Resort and Recreation Complex in the System of Regional Development]. 2nd Regional Scientific and Practical Conference, Krasnodar, 22 April 2005. Krasnodar, Pabl. Prosveshchenie-Yug: 39–44.

- Volkova T.A., Ponarenko A.A., Kondrashina M.K. 2018. Resursnyy potentsial Priazovskoy turistskoy zony Krasnodarskogo kraya [The Resource Potential of the Azov Tourist Zone of the Krasnodar Territory]. In: Servisu i turizmu – innovatsionnoye razvitiya [Service and Tourism – Innovative Development]. X International Scientific and practical Conference. St. Petersburg, 23 March 2018. Saint Petersburg, Pabl. Leningrad State University: 81–86.
- Setting priorities: a new approach to biodiversity conservation in Crimea. 1999. Washington, BSP, 257 p. (in Russian).
- Geografiya rekreatsionnykh sistem SSSR [Geography of Recreational Systems of the USSR]. 1980. Ed. by V.S. Preobrazhensky, V.M. Krivosheev. Moscow, Pabl. Nauka, 219 p.
- Golubnichaya S.N., Mishechkin G.V. 2016. Prirodnyy turisticheskiy potentsial Donetskogo regiona [Natural Tourism Potential of the Donetsk Region]. In: Kurortno-rekreatsionnyy kompleks v sisteme regionalnogo razvitiya: innovatsionnyye podkhody [Resort and Recreational Complex in the System of Regional Development: Innovative Approaches]. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference, Pitsunda, 13–16 April 2016. Krasnodar, Pabl. Kuban State University: 148–151.
- Goryachkin Yu.N. 2015. Sovremennoye sostoyaniye beregovoy zony Kryma [The Current State of the Coastal Zone of Crimea]. Sevastopol, Pabl. ECOSI-Hydrophysics, 252 p.
- Drozdov V.V. 2010. Features of Long-Term Dynamics of an Ecosystem of Sea of Azov Under the Influence of Climatic and Anthropogenous Factors. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University, 15: 155–176 (in Russian).
- Ivlieva O.V., Bespalova E.V., Sheverdyaev I.V., Sushko K.S., Matishov G.G., Berdnikov S.V., Hartiev S.M., Tsygankova A.E., Kropânsko L.M., Ioshpa A.R., Bespalova L.A., Arkhipova O.E. 2015. Modern Hazardous Exogenous Processes in the Coastal Zone of Azov Sea. Rostov-on-Don, Pabl. Southern Federal University, 321 p. (in Russian).
- Ivlieva O.V., Kushnir K.V. 2017. Natural, Historical and Cultural Tourist and Recreational Potential of the Russian Azov Sea Coast. Vestnik of National Tourism Academy, 2(42): 38–41 (in Russian).
- Ivlieva O.V., Kushnir K.V. 2019. Geomorphological Estimation of the Recreational Potential of the Russian Coast of Azov Sea for Purposes the Development of the Tourism. Ecology. Economy. Computer science. Series: Geoinformation Technologies and Space Monitoring, 4: 218–222 (in Russian). <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-218-222>
- Irisova T.A., Kolotova E.V., Denisova D.V. 2016. Problems and Prospects of the Recreational Development of the Azov Coast of Russia. The Tourism Industry: Opportunities, Priorities, Problems and Prospects, 9(1): 74–87 (in Russian).
- Kosyan R.D., Krylenko M.V. 2007. Kompleksnaya kharakteristika sovremennoy sostoyaniya beregov Azovskogo morya v predelakh Krasnodarskogo kraya [A Comprehensive Description of the Current State of the Shores of the Sea of Azov within the Krasnodar Territory]. Ecosystem Studies of the Azov, Black and Caspian Seas and their coasts, 9: 50–68.
- Kushnir K.V. 2023. The Basic Tourist and Recreational Framework of the Russian Azov region and the prospects for its development. Modern problems of service and education, 2: 110–119 (in Russian).
- Likhmanov B.N., Stupina N.M. 1975. Programma kharakteristiki prirodnykh komponentov landshaftov pri proyektirovaniyu rekreatsionnykh kompleksov [The Program Characterizes the Natural Components of Landscapes in the Design of Recreational Complexes]. Geograficheskiye problemy turizma i otdykh, 1: 30–43.
- Mamykina V.A., Khrustalev Yu.P. 1980. Beregovaya zona Azovskogo morya [The Coastal Zone of the Sea of Azov]. Rostov-on-Don, Publ. Rostov University, 176 p.
- Matishov G.G., Kolomiychuk V.P., Polshina T.N. 2014. Floristic Zonation of the Sea of Azov Coastal Area. Bulletin of the Southern Scientific Center, 10(1): 55–59 (in Russian).
- Minenkova V.V., Potapova A.E. 2021. Assessment of Cultural And Historical Resources as a Component of the Tourist-Recreational Potential of the Territory (a Case Study of the Krasnodar Region). Geographical Bulletin, 4(59): 130–148 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-4-130-148>
- Podymov I.S., Podymova T.M. 2017. Geoekologicheskaya otsenka razvitiya opasnykh prirodnykh protsessov poberezhiy Azovskogo i Chernogo morey v Tamanском regione [Geoecological Assessment of the Development of Dangerous Natural Processes Along the Coasts of the Azov and Black Seas in the Taman Region]. Scientific and methodological electronic journal "Koncept", T31: 1086–1098.

- Rybalov L.G. 1969. Arkhitekturno-planirovochnaya organizatsiya kurortnoy mestnosti poberezhia Azovskogo morya [Architectural and Planning Organization of the Resort Area of the Coast of the Sea of Azov]. In: Proyektirovaniye kurortov i zon otdykh. V pomoshch proyektirovshchiku-gradostroitel'yu [Designing Resorts and Recreation Areas. To Help an Urban Planner]. Kiev, Pabl. Budivelnik: 78–109.
- Sazhneva N.M. 1988. Territorialnaya organizatsiya primorskikh rekreatsionnykh sistem oazisnogo tipa osvoyeniya (na materialakh Zapadnogo Priazovia) [Territorial Organization of Coastal Recreational Oasis-Type Development Systems (Based on the Materials of the Western Azov Region)]. Abstract dis. ...cand. geogr. sciences. Leningrad, 17 p.
- Savchenko V.N. 2000. Vozmozhnosti razvitiya turisticheskoy otrassli v Severnom Priazovye [Opportunities for the Development of the Tourism Industry in the Northern Azov Region]. In: Problemy informatizatsii rekreatsionnoy i turisticheskoy deyatel'nosti v Ukraine: perspektivy kulturnogo i ekonomicheskogo razvitiya [Problems of Informatization of Recreational and Tourism Activities in Ukraine: Prospects for Cultural and Economic Development]. Truskavets: 238–243.
- Sanin A.Yu. 2023. On the Issue of Assessing the Recreational Potential of the Coastal Territories of the Russian Federation. Geopolitics and Ecogeodynamics of regions, 9(1): 169–183 (in Russian).
- Snegovskaya E.A. 2024. Memorial Collections in Museums of New Regions of the Russian Federation (Zaporozhye Region). Journal of Cultural Research, 2: 78–83 (in Russian).
- Solpina N.G. 2017. Mapping the Recreational Potential of the Territory. The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences», 22: 124–134 (in Russian).
- Chekanov A.V., Veselov A.A., Gilman A.I. 1976. Geologicheskoye stroyeniye i istoriya razvitiya Prichernomorskogo progiba [The Geological Structure and History of the Development of the Black Sea Throughout]. Kiev, Pabl. Naukova Dumka, 155 p.
- Yakovenko I.M. 2003. Rekreatsionnoye prirodopolzovaniye: metodologiya i metodika issledovaniy [Recreational Nature Management: Methodology and Research Methodology]. Simferopol, Pabl. Tavria, 335 p.
- Yakovenko I.M., Strachkova N.V. 2023. Conceptual Model of Developing Seaside Tourist and Recreational Systems of the Leninsky District of the Republic of Crimea. Geopolitics and Ecogeodynamics of regions, 9(1): 105–120 (in Russian).

Поступила в редакцию 09.05.2025;
поступила после рецензирования 14.06.2025;
принята к публикации 28.07.2025

Received May 09, 2025;
Revised June 14, 2025;
Accepted July 28, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Яковенко Ирина Михайловна, доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой туризма, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Позаченюк Екатерина Анатольевна, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и геоморфологии, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina M. Yakovenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Ekaterina A. Pozachen'yuk, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography and Geomorphology, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

УДК 911
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-633-646
EDN ZZORNG

Периферия мезо- и микроуровня: факторы фрагментации и разнообразия пространства

Преображенский Ю.В., Папилин Д.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
topofag@yandex.ru, dmitrypapillinv@mail.ru

Аннотация. Отношения в связке «центр-периферия» накапливают всё многообразие социально-экономических, социокультурных и экологических противоречий современного общества. Выявление периферии как проблемной территории, требующей специальных решений в рамках пространственного планирования, является важной теоретической и прикладной задачей. Изучение сложного характера процессов в системе «центр-периферия» требует полимасштабного подхода, который в современных исследованиях по данной проблематике носит скорее отрывочный характер. Большинство работ посвящены какому-то отдельному таксону, в результате чего отсутствует вертикальная структуризация фиксируемых пространственных различий. На микроуровне делимитации периферии возникают проблемы недостатка статистических данных на низовом уровне, что требует подхода, основанного на применении ГИС и использования геопространственных данных по характеру и мозаичности природопользования. Целью настоящего исследования является обоснование подхода к описанию периферии как сложной многокомпонентной зоны пространственной общественно-природной системы, требующей для делимитации на разных таксономических уровнях применения критерии фрагментации и разнообразия территории (как сочетания естественных и антропогенных ландшафтов). Исследование проводилось на уровнях макро-, мезо- и микрорайонов (в пределах Волго-Уральского макрорегиона, Саратовской области и Аткарского района соответственно) на основе программной обработки данных OpenStreetMap. Применялась гексагональная пространственная модель для локализации различий в проявлении признаков фрагментации и разнообразия природопользования на основе соответствующих индексов. Результатом исследования стала делимитация зоны внутренней периферии в пределах Волго-Уральского макрорегиона – территории за пределами базовой транспортной доступности по отношению к центральным местам – центрам обслуживания населения. На мезо- и микроуровне на основе предложенной методики были прослежены и проанализированы территориальные различия в степени фрагментации и разнообразия территории исследования. Используемая методика исследования неравномерности пространственного развития прежде всего на микроуровне (на основе различий в уровне разнообразия и фрагментированности землепользования) позволяет достаточно конкретно делимитировать периферию. Применённый полимасштабный подход в выделении зоны периферии может быть использован для целей пространственного планирования.

Ключевые слова: система центр-периферия, периферия, гексагональная пространственная модель, фрагментация, разнообразие, пространственная общественно-природная система, Саратовская область, Аткарский район

Для цитирования: Преображенский Ю.В., Папилин Д.В. 2025. Периферия мезо- и микроуровня: факторы фрагментации и разнообразия пространства. Региональные геосистемы, 49(3): 633–646. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-633-646 EDN: ZZORNG

The Periphery of the Meso- and Microlevel: Factors of Fragmentation and Diversity of Geospace

Yuri V. Preobrazhenskiy, Dmitry V. Papilin

Saratov State University

83 Astrakhanskaya St, Saratov 410012, Russia

topofag@yandex.ru, dmitrypapillinv@mail.ru

Abstract. The center-periphery relationship encompasses the entire range of socio-economic, socio-cultural, and environmental contradictions in modern society. Identifying the periphery as an area requiring special attention within the framework of spatial planning is a significant theoretical and practical task. Studying the intricate nature of processes within the center-periphery system necessitates a multi-scale approach, which is often lacking in current research on this subject. Most studies focus on a particular aspect, resulting in a lack of vertical structuring of recorded spatial differences. At the micro-level, delineating the periphery presents challenges due to a lack of statistical data at the grassroots level. This requires an approach that utilizes GIS and geospatial data to analyze environmental management patterns. The aim of this study is to support the approach to understanding the periphery as a complex, multi-component area of a spatial socio-natural system, which requires the use of criteria for the fragmentation and diversity of the territory (a combination of natural and human-made landscapes) for delineation at different taxonomic levels. The study was carried out at three levels: macro, meso, and micro-districts, within the Volga-Ural macroregion, the Saratov region, and the Atkarsky district, respectively. The data were processed using the OpenStreetMap software. A hexagonal spatial model was employed to analyze differences in the signs of fragmentation and environmental management diversity, based on relevant indices. The study resulted in the delineation of the inner peripheral zone within the Volga-Ural macroregion, which is the area beyond the basic transportation accessibility to the central cities and public service centers. Based on the proposed methodology, we traced and analyzed territorial differences in the level of fragmentation and diversity at the meso- and micro- levels. The methodology used to analyze the unevenness of spatial development, particularly at the micro level (based on differences in the diversity and fragmentation of land use) enables a fairly specific definition of the periphery. A multi-scale approach to the identification of the peripheral area can be applied for spatial planning purposes.

Keywords: center-periphery system, periphery, hexagonal spatial model, fragmentation, diversity, spatial socio-natural system, Saratov region, Atkarsky district

For citation: Preobrazhenskiy Yu.V., Papilin D.V. 2025. The Periphery of the Meso- and Microlevel: Factors of Fragmentation and Diversity of Geospace. Regional Geosystems, 49 (3): 633–646 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-633-646 EDN: ZZORNG

Введение

Сложный, многоаспектный характер проявления феномена периферийности происходит от комплекса диахотомий (оппозиций, одной из которых выступает периферия) и их многоуровневости. Полимасштабные проявления периферии эпизодически поднимаются в исследованиях, но, насколько известно авторам, данный феномен не в полной мере описан именно в процессе перехода с верхнего таксона на нижний (или наоборот). Недостаёт и точных, абсолютных критериев делимитации периферии по разным признакам: как правило, периферия маркируется относительно центра, соответственно, слабый центр подразумевают слабую периферию и наоборот. В результате периферии одних систем не сопоставимы с перифериями других систем.

В рамках настоящего исследования предлагаются подходы к выявлению центр-периферийных различий на мезо- и микроуровне, что соответствует масштабу региона-субъекта РФ и муниципального района (или двух-трёх районов). В основе подходов лежит представление о различии зон центра и периферии по степени фрагментации и разно-

образия. Полимасштабный характер центр-периферийных систем определил характер исследования на нескольких пространственных уровнях. Он изучается в пределах трёх таксонов: макро-, мезо- и микрорайона. Им соответствуют Волго-Уральский макрорегион, правобережье Саратовской области (из соображений технического характера (удобство визуализации) регион взят не целиком) и отдельный её район. Цель работы состоит в обосновании выделения периферии как сложного природно-хозяйственного пространственного образования, имеющего полимасштабный характер и требующего применения различных методик для выявления на разных тексномических уровнях. На макроуровне решается задача выделения внутренней периферии на основе оконтуривания зон транспортной доступности городов (центральных мест); на мезо- и микроуровне производится анализ степени фрагментации и разнообразия участков территории в пределах гексагональной сетки, демонстрируются и обсуждаются различия по двум данным показателям.

Объекты и методы исследования

Среди подходов к выделению центра и периферии можно выделить две различные группы. Первая связана с качественными и количественными различиями между зоной центра и зоной периферии (в том числе, и в динамике [Грицай и др., 1991; Ридевский, 2023; Кузин, 2024]). В этом случае между ними можно проследить определённый континуальный градиент. И центр, и периферия являются в такой конструкции именно зонами, характеризующимися некоторой интенсивностью проявления какого-то процесса. Вторая группа объединяет подходы, для которых определяющими являются характер, направление и интенсивность трансляций между зонами, в том числе перемещение населения (маятниковая миграция) и пр.

Именно с ориентацией на последнее направление всё большее внимание в исследованиях уделяется не сравнительным показателям между районами, а характеристикам связности между основными узлами, потоками трансляций, внешним эффектам развития (перетокам знания и др.). Сама морфология центр-периферийной системы может рассматриваться как предпосылка и в то же время как результат взаимодействия между составляющими её зонами. В рамках территории исследования по данной проблематике можно назвать работы [Сомов и др., 2018; Преображенский, Молочки, 2019; Казаков, 2020; Бляхер, Григорьев, 2023; Шпенглер и др., 2023]. Центростремительный характер организации пространства (ориентированный на взаимодействие, прежде всего обслуживание центра) предопределяет формирование специализаций отдельных зон социально-экономического пространства при приближении к центру, разнообразие видов деятельности (природопользования и экономики в целом). При этом конкуренция за оптимальное положение вблизи центра обуславливает мелкоконтурность прицентальных зон, их дисперсное положение. Границы между такими зонами вместе с инфраструктурой разного типа, по которой осуществляются трансляции в центр и из центра, в той или иной степени фрагментируют прицентальное пространство. В самом центре степень фрагментации ещё больше, однако на городском уровне она оценивается при помощи показателей разнообразия функциональных зон и барьерности городской среды (см., например, [Волков и др., 2025]).

Таким образом, процессы увеличения разнообразия и фрагментации взаимно определяют и обуславливают друг друга. Эти показатели могут быть использованы для анализа центр-периферийного градиента территории. Нужно отметить, что измерение разнообразия и фрагментации ландшафтов представляет собой отработанную методику в ландшафтоведении, в частности, предложены и успешно опробованы индексы, позволяющие описывать дробность, мозаичность и другие характеристики естественных ландшафтов (см., например, работы по применению данных индексов на примере Астраханской области в работе [Занозин и др., 2024]). В общественогеографических исследованиях подобный подход более уязвим, поскольку необходимо анализировать как естественные, так и техногенные (в той или иной степени трансформации) ландшафты как сопоставимые единицы. Тем не менее,

мы полагаем, что процессы периферизации носят сложный общественно-природный характер и должны рассматриваться относительно комплексных пространственных общественно-природных систем (ПОПС), поэтому считаем такой подход оправданным.

Полимасштабный характер системы «центр-периферия» выражается в том, что периферийность проявляется себя от макроуровня до локального уровня, причём на каждом уровне можно фиксировать определённые её маркеры. Ключевыми показателями её делимитации являются геометрическая удалённость от центров обслуживания, сравнительно низкая плотность населения (причём во внутренней периферии она определённо выше, чем у периферии внешней), транспортная обеспеченность и относительные стоимостные показатели (ВРП на единицу площади или на одного человека). При этом применение разных методик показывает разные результаты, хотя прослеживаются стабильные ядра внутренней периферии (см., например, [Царев, 2019]). Если на макро- и мезоуровне обеспеченность транспортной инфраструктурой вполне достаточно оценивать с помощью известных коэффициентов Энгеля, Гольца, Успенского, то на микроуровне морфология транспортной сети оказывается не менее важна, чем её удельная протяжённость.

Отдельной проблемой является дискретный характер периферии, это касается локальных зон и зон микроуровня (общественно-географических микрорайонов), зачастую представляющих собой мозаику с большим разбросом площади и формы выдела (структурной единицы). В результате возникают сложности при «собирании» периферии в направлении снизу вверх: локальные внутренние периферии не поддаются генерализации и «затмеваются» центрами. Только внешняя периферия, гомогенная в отношении крайне низкой плотности населения и дисперсного характера природопользования на макроуровне, делимитируется достаточно уверенно. Исходя из сказанного, очевидно, на наш взгляд, что изучение центр-периферийных процессов должно идти как сверху, так и снизу, что позволит если не избавиться от сложностей дискретно-таксономического перехода, то хотя бы смягчить его.

Если на верхних уровнях идеальная модель «центр-периферия» представляет собой правильные концентрические круги, то на локальном уровне она имеет скорее сложный лепестковый характер. Периферия здесь наблюдается как зона, примыкающая к структурам преимущественно треугольной формы, образованным транспортными и пешеходными линиями, исходящими из центра. Б.Б. Родоман называет такую структуру урбосентрической розеткой [Родоман, 1999]. Ниже приведена часть этого фигуры – псевдолист (рис.1).

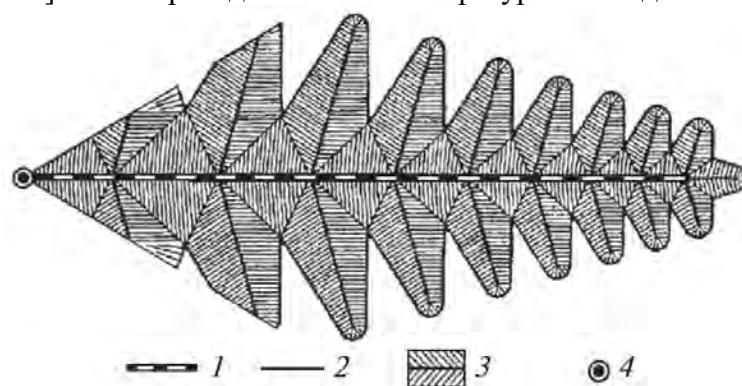


Рис.1. Изохронный псевдолист (1 – радиальная магистраль; 2 – субрадиали и граничная изохона; 3 – пути сообщения третьего класса, границы сектора и субареалов; 4 – центр ареала);
 Fig.1. Isochronous pseudo leaf (1 – radial highway; 2 – subradials and boundary isochron; 3 – third class communication routes, sector boundaries and subareas; 4 – area center)

Периферия начинается там, где кончается граничная изохона, т. е. в просветах между выступами листа, здесь начинают проявляться явления и процессы, характерные для «глубинки» (см., например, [Безруков, Корытный, 2012; Смирнова и др., 2024]). Раз-

мер листа, время, определяющее изохрону, различно для масштаба анализа. На локальном уровне можно согласиться с Т.Г. Нефедовой [2008], которая полагает, что «глубинную» территорию можно сократить до 5 км от автодорог, что соответствует часовой пешеходной доступности территории от дороги. Вероятно, на локальном уровне устройства внутренней периферии это так, но в пределах макрорегиона мы увеличили с запасом это расстояние до 30 минут езды до дороги.

В целом полимасштабный характер периферии предполагает рассмотрение ПОПС разных таксонов как слоёв луковицы. В настоящем исследовании фокус анализа направлен на выявление центр-периферийных различий на мезо- и микроуровне.

Методология исследования предполагает применение комплекса программных средств и методов, обеспечивающих эффективный сбор, обработку и анализ геопространственных данных. Источником первичных данных для определения границ административных районов и загрузки пространственных объектов (транспортная сеть, объекты землепользования и земного покрова) выбран *OpenStreetMap (OSM)*. Для автоматизации процессов извлечения и первичной обработки данных *OSM*, а также для пространственного анализа и операций с геоданными, применялись специализированные библиотеки языка *Python*. Визуализация результатов осуществлялась с использованием соответствующего программного обеспечения.

Для построения карты транспортной доступности городов Волго-Уральского макрорегиона использовались данные дорожной сети из указанного ранее источника. В качестве узловых центров, от которых производился расчет зон охвата, были выбраны населенные пункты, соответствующие определенным категориям по численности населения. Эти категории были соотнесены с целевыми временными интервалами доступности – 30, 60, 90 и 120 минут (для городов людностью до 50 тыс. жителей, 50–100 тыс. жителей, 100–250 тыс. жителей, более 250 тыс. жителей соответственно). Время в пути по каждому сегменту дорожной сети рассчитывалось на основе его протяженности и скорости движения. При определении скорости приоритет отдавался значениям, указанным в теге *maxspeed OSM*, которые интерпретировались с учетом различных форматов, включая специфические для страны коды (в нашем случае – *RU: urban*, *RU: rural*) и числовые значения. В случае отсутствия данных *maxspeed*, применялись скорости по умолчанию, дифференцированные по классу дороги (тег *highway OSM*) и типу покрытия, при этом учитывались категории дорог с твёрдым покрытием. К расчетному времени прохождения участков добавлялась нормативная задержка на преодоление сложных перекрестков, чтобы сымитировать замедление транспорта при подъезде к ним. На основе этих временных затрат с использованием алгоритма Дейкстры для каждого из выбранных центров и соответствующего ему временного порога строились полигоны изохрон.

Пространственный анализ реализован с использованием метода *geopandas.sjoin_nearest*, который обладает следующими ключевыми характеристиками: оптимизированный алгоритм поиска ближайших объектов, обеспечивающий эффективную обработку масштабных наборов геоданных, интеграция с библиотекой *geopandas*, предоставляющей инструменты для комплексного анализа различных типов пространственных данных. Визуализация результатов осуществляется средствами библиотеки *matplotlib*, которая обеспечивает: настройку параметров отображения пространственных объектов, многослойное картографирование, создание читаемых картографических материалов.

Для мезо- и микроуровней исследования был проведён анализ ландшафтной фрагментации территории с использованием данных о землепользовании и земном покрове (*Land Use/Land Cover – LULC*), полученных из ранее указанного источника. Для каждой ячейки регулярной сетки рассчитывался индекс фрагментации как отношение числа выделенных контуров с различными типами землепользования (*LULC*) в пределах одной ячейки.

Исследуемая территория была разделена на совокупность равных по площади элементарных участков – гексагонов, формирующих регулярную сетку. Размер этих участков

подбирался таким образом, чтобы соответствовать масштабу изучаемых явлений. Для карты по правобережью Саратовской области площадь гексагона составила 34 км², для района области – 8 км².

Для каждого элементарного участка сетки были рассчитаны показатели фрагментации территории и индекс относительного богатства (разнообразия).

Методика расчета фрагментации ландшафта направлена на оценку степени его разделенности на изолированные участки, что, как правило, является следствием воздействия линейных антропогенных объектов, таких как автомобильные и железные дороги. Это направление исследований (процесс фрагментации ландшафта и его последствий) присутствует преимущественно в работах зарубежных экологов и биогеографов [Скачкова, Ящухно, 2016; Romanillos et al., 2024]. Полагаем, что можно заимствовать данный подход для оценки ячеистых структур, возникающих в ходе развития транспортной сети. В этом случае количество ячеек, образовавшихся в результате членения территории дорожно-транспортной сетью, будет свидетельствовать об интенсивности антропогенной деятельности, а также являться признаком эффективности организации районного пространства.

Процесс оценки фрагментации включал несколько этапов. В первую очередь учитывались фрагментирующие элементы – в качестве основных рассматривались объекты транспортной инфраструктуры. Для каждого такого объекта, пересекающего элементарный участок, моделировалась зона влияния определённой ширины (буферная зона), которая интерпретировалась как барьер или нарушенная территория. После этого из общей площади элементарного участка исключались эти зоны влияния, и оставшиеся части рассматривались как отдельные ландшафтные фрагменты.

Для количественной оценки ландшафтной фрагментации и разнообразия территории на основе данных о землепользовании и земном покрове (*LULC*) были рассчитаны значения для двух ключевых показателей для каждой ячейки гексагональной сетки.

Первый показатель, индекс дробности (*LUdr*), рассчитывался по формуле:

$$LUdr = \frac{n}{S},$$

где *n* – число фрагментированных контуров естественных и антропогенных ландшафтов, зафиксированных в пределах конкретного гексагона, *S* – его площадь. Высокие значения *LUdr* свидетельствуют о членении территории на множество участков, как правило (но необязательно), с различным функциональным назначением, что часто сопряжено с интенсивным антропогенным освоением. Низкие значения, напротив, указывают на большую однородность ландшафта.

Второй показатель, индекс относительного богатства землепользования (*LUb*), вычислялся как:

$$L Ub = \frac{m}{M},$$

где *m* – число различных типов землепользования (*LULC*), зафиксированных в пределах конкретного гексагона, а *M* – общее число уникальных типов *LULC*, выявленных на всей исследуемой территории. Для его определения сначала в каждом гексагоне идентифицируются все присутствующие типы *LULC* (для территории Саратовской области возможны такие типы, как жилая застройка, лес, пашня, кладбища, садоводческие и огороднические некоммерческие товарищества, промышленные зоны, свалки, военные объекты, ООПТ, водные объекты), после чего их количество (*m*) соотносится с общим числом типов в регионе (*M*). Этот индекс варьируется от 0 до 1, отражает долю общего регионального разнообразия *LULC*, представленную в данной ячейке, и служит нормализованной мерой её богатства. Высокие значения *LUb* указывают на концентрацию значительной части регионального разнообразия в ячейке, тогда как низкие свидетельствуют о её специализации.

Применение данных индексов ($LUdr$, LUb) позволяет получить более полное представление о пространственной дифференциации ландшафтной структуры, выявляя территории с различной степенью фрагментации и относительного разнообразия землепользования, что важно для понимания центр-периферийных взаимодействий.

В соответствии с целями работы объекты исследования выделяются на разных уровнях. На макроуровне это часть Урало-Поволжья в составе республик Татарстан и Башкирия, Пензенской, Оренбургской, Самарской, Саратовской и Ульяновской областей. На мезоуровне исследуется правобережье Саратовской области, на микроуровне – отдельный её район (Аткарский).

Результаты и их обсуждение

Построение отрезков достижимости крупных и крупнейших городов по автомобильной транспортной сети (рис.2) позволило продемонстрировать разные условия доступа населения к услугам метрополисов и регионополисов в пределах исследуемого макрорайона.

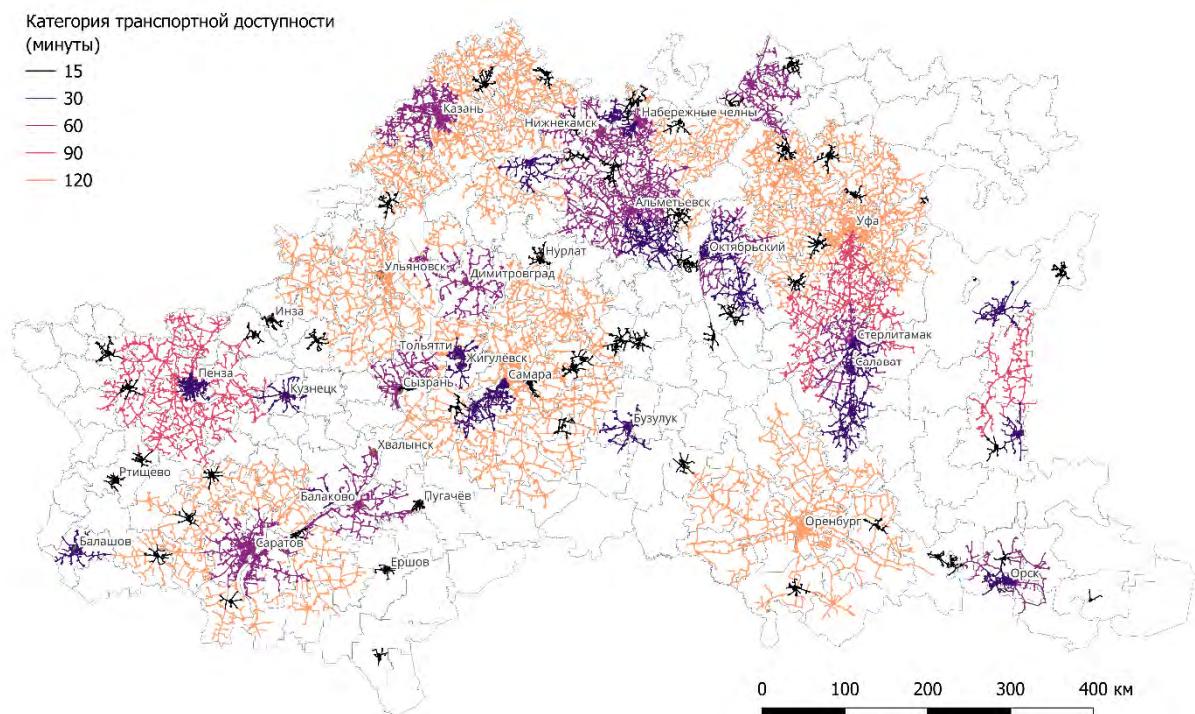


Рис. 2. Доступность городов района исследования

Fig. 2. Accessibility of the cities of the study area

Оно также стало основанием для дальнейшей работы, связанной с наложением буферов 30-минутной поездки. Здесь мы использовали концепт псевдодистанции Родомана, добавив субареалы к сетке дорог. В результате получилась следующая картина (рис. 3).

Вполне очевидно, что различные районы обладают разной степенью включенности в транспортную систему, объединяющую города региона. Своевобразное подобие кровеносной системы активно представлено в одних частях макрорайона и отсутствует в других. Последние имеют основание для отнесения к внутренней периферии. Так, здесь выделяется ареал между Саратовом, Пензой, Ульяновском и Самарой; между Оренбургом, Самарой и Уфой; в восточной части Башкирии. Также карта показывает, в каких направлениях следует расширять территорию исследования для получения более целостной и завершённой картины. В нашем случае это преимущественно регионы, лежащие вверх по течениям Волги и Камы, что вполне ожидаемо, учитывая тяготение систем расселения в европейской части страны к этим рекам [Преображенский, 2017].

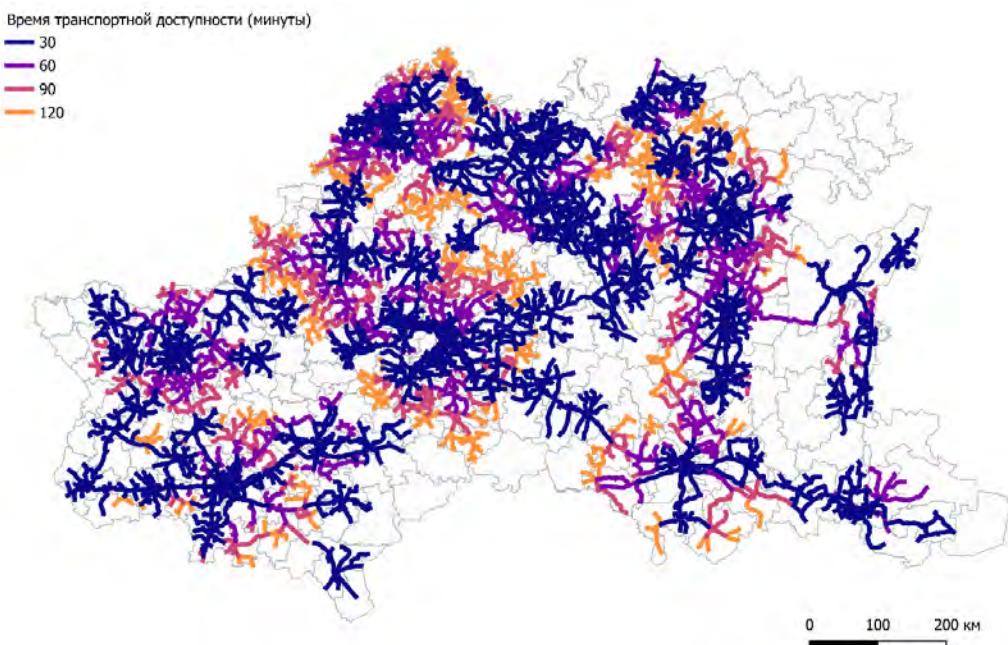


Рис. 3. Транспортная доступность городов-центров обслуживания с буфером в 30 минут
 Fig. 3. Transport accessibility of service center cities with a 30-minute buffer

На приведённых картах в пределах мезоуровня явно проявляются моноядерные региональные системы расселения (в Пензенской, Саратовской, Ульяновской областях), более сложные полиядерные системы в Татарстане и Самарской области. Площадь ареала за пределами зоны транспортной доступности будет тем меньше, чем более равномерно-узловой характер имеет расселение. Последнее же подразумевает сравнительно благополучное сельское население и наличие малых городов (см. [Преображенский, 2025]), способных являться вершинами в графе транспортной решётки. С этим ситуация лучше в Татарстане, сравнительно небольшие ареалы наблюдаются в Самарской и Ульяновской областях, в осевой (проходящей вдоль меридиана Уфы) части Башкортостана.

На уровне отдельного региона (мезоуровне) периферию до определённой степени можно ассоциировать со слабофрагментированной территорией, на которой преобладает или полностью доминирует какой-то один тип природопользования. Как отмечает А.И. Зырянов [2006], благоприятные предпосылки для антропогенной деятельности складываются возле ландшафтных рубежей контрастности. Полагаем, что до какой-то степени это верно и в отношении антропогенных рубежей контрастности (например, между различными техногенными ландшафтами). Таким образом, можно ожидать, что большее разнообразие видов деятельности следует за большей естественной и антропогенной фрагментацией. В то же время верно и обратное: развитие различных отраслей и видов деятельности ведёт к усилению фрагментации ландшафтов.

Различия в степени фрагментации ПОПС, оцененные на основе аналога индекса ландшафтной дробности, показаны на карте (рис. 4).

Зоны высокой и умеренной фрагментации концентрируются в пределах городской агломерации Саратов – Энгельс и вдоль основных транспортных магистралей (автомобильных и железных дорог), что совпадает с осями высокой транспортной доступности, показанными на рис. 2 и 3. Эти территории характеризуются интенсивным хозяйственным освоением, плотной сетью инфраструктуры и мозаичным сочетанием различных типов землепользования (застройка, пашни, промышленные зоны). По мере удаления от этих ядер урбанизации и транспортных коридоров степень фрагментации закономерно снижается. Появляются зоны слабой и очень слабой фрагментации. Обширные пространства, особенно в междуречьях, на периферии и вдали от развитой дорожной сети, характеризуются минимальной фрагментацией. Эти территории часто соответствуют крупным массивам лесов или сельскохозяйственных угодий с относительно однородным землепользованием и низкой плотностью дорог.

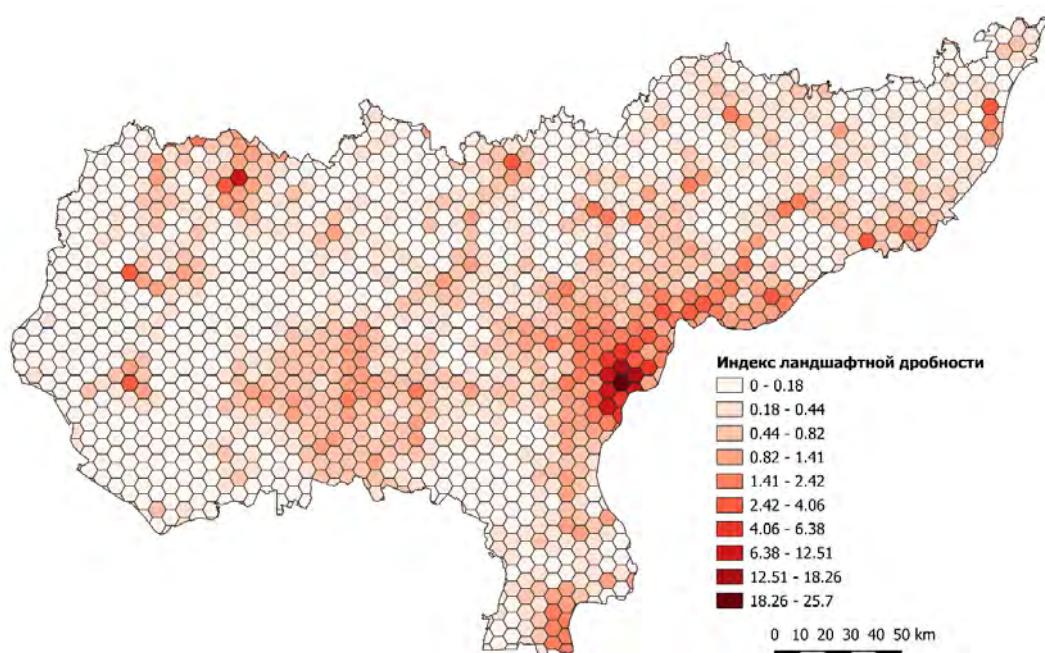


Рис. 4. Фрагментация правобережья Саратовской области
(источник первичных геопространственных данных OSM)
Fig. 4. Fragmentation of the right bank of the Volga river in the Saratov region
(OSM used as the source of primary geospatial data)

Следует отметить, что ячейки гексагональной сетки с низкими значениями индекса ландшафтной дробности (менее 0,18) указывают на наличие линейных инфраструктурных объектов, обуславливающих определённую степень пространственного членения. В то же время идентификация конкретных типов фрагментируемых этими объектами ландшафтов в данных ячейках затруднена. Это обусловлено недостаточной полнотой и детализацией картографических данных о типах землепользования и земного покрова (*LULC*) в *OpenStreetMap*, где покрытие для таких ячеек составляет менее 5 %. Следовательно, такие территории интерпретируются как зоны с низкой плотностью и разнообразием точечных и иных линейных антропогенных объектов (помимо уже учтённой инфраструктуры, вызвавшей первичную фрагментацию), что позволяет предположить доминирование в их структуре преимущественно агроландшафтов.

Разнообразие ПОПС правобережья Саратовской области было оценено на основе индекса относительного богатства антропогенных и естественных ландшафтов (вероятно, скорее следует называть данный индекс индексом разнообразия природопользования) (рис. 5).

Для Саратова индекс относительного богатства природопользования лежит в пределах от 0,37 до 0,63. Последнее значение наблюдается на границе агломерации. В целом можно отметить сходство пространственного рисунка рассматриваемых явлений на картах (рис. 4 и рис. 5), однако они не являются комплементарными. Так, гомогенная по типу природопользования ячейка может быть и слабо, и сильно фрагментированной, что даст низкий индекс относительного богатства и низкую или высокую степень фрагментированности соответственно.

Данная картина подтверждает мозаичный характер как центральных, так и периферийных территорий, где высоко фрагментированные антропогенные ландшафты соседствуют с менее нарушенными участками, формируя сложную пространственную структуру. Зоны низкой транспортной доступности (см. рис. 3) в значительной степени коррелируют с областями очень слабой и минимальной ландшафтной фрагментации.

Применённая выше к правобережной части Саратовской области методика была использована на примере её отдельного района. Большинство районов имеют, как правило, выраженную моноядерную структуру с районным центром – узлом, организующим территорию района. Для него (и вокруг него) будет наблюдаться повышенная фрагментация и степень разнообразия.

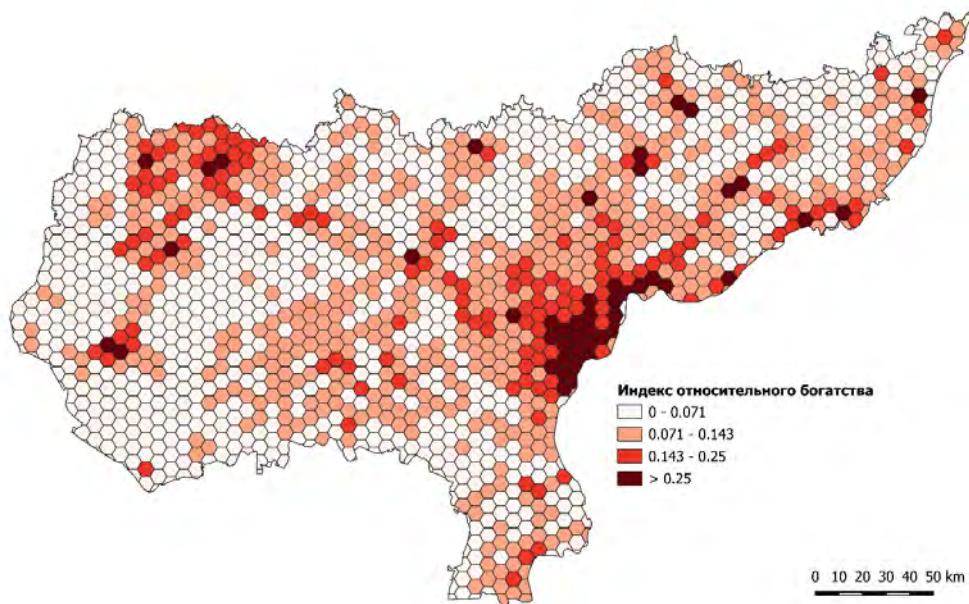


Рис.5. Территориальные различия разнообразия землепользования на правобережье Саратовской области (источник первичных геопространственных данных OSM)
 Fig.5. Territorial differences in the diversity of land use on the right bank of the Volga river in the Saratov region (OSM used as the source of primary geospatial data)

Интерес представляют скорее отклонения от такой модельной картины. К примеру, в ходе анализа карт степени фрагментации и разнообразия Аткарского района Саратовской области (рис. 6 и рис. 7) выяснилось, что высокая степень фрагментации характерна не только для районного центра, но и для двух гексагонов на севере и северо-востоке района.

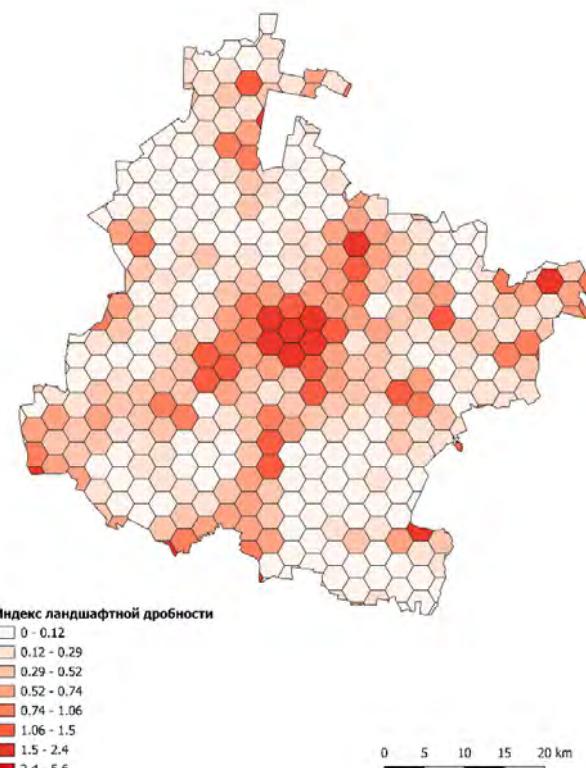


Рис. 6. Фрагментация ландшафтов Аткарского района Саратовской области (источник первичных геопространственных данных OSM)
 Fig. 6. Fragmentation of landscapes in the Atkarsky district of the Saratov region (OSM used as the source of primary geospatial data)

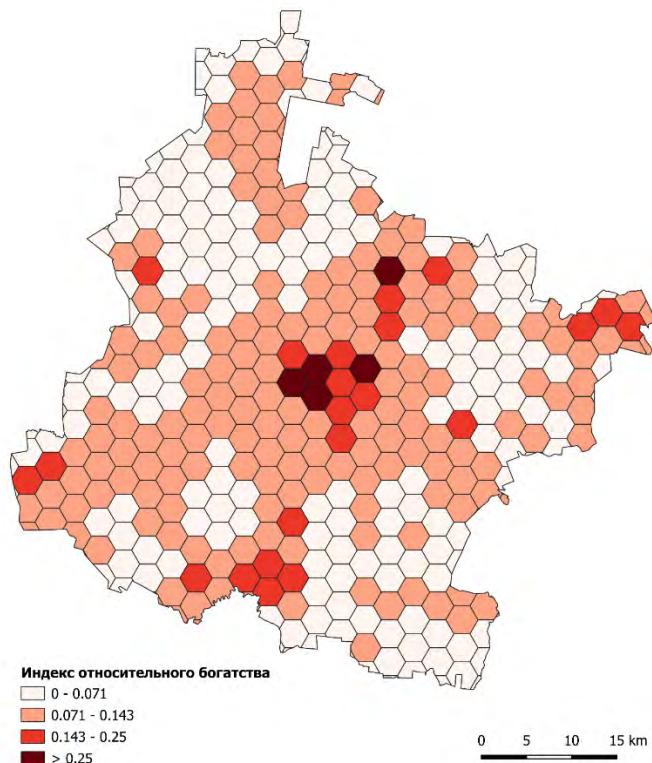


Рис. 7. Разнообразие (относительное богатство) землепользования естественных и антропогенных ландшафтов Аткарского района Саратовской области (источник первичных геопространственных данных OSM)

Fig. 7. Diversity (relative richness) of land use in natural and anthropogenic landscapes of the Atkarsky district of the Saratov region (OSM used as the source of primary geospatial data)

Также обращает на себя внимание, что наибольшее значение индекса относительного богатства составляет 0,43 и фиксируется не в районном центре, а несколько севернее, около с. Лисичкино. Здесь параллельно р. Медведице проходит железная дорога, в пойме реки находится участок природно-экологического каркаса, приусадебный парк.

Применённая гексагональная геопространственная модель позволила выявить различия между её ячейками по критериям фрагментации и разнообразия. Важное значение имеет выбор размера ячейки, который должен соответствовать размерности антропогенной деятельности (что само по себе является интересной и дискуссионной задачей). Для сравнительного анализа районов в рамках данной методики необходимо обоснование и уточнение универсальных значений показателей фрагментации и разнообразия (и, возможно, каких-то дополнительных).

Заключение

Изучение оппозиции «центр-периферия» в силу своего полимасштабного характера требует применения различных подходов и моделей на разных таксономических уровнях. При этом на каждом уровне в качестве критичных для делимитации периферии выступают факторы разного генезиса. Для выявления периферии во всей её полноте необходимо последовательно спуститься с периферии на макроуровне к локальному, принимая во внимание процессы периферизации (и их результат) на мезо- и микроуровне.

В настоящем исследовании предложен подход делимитации периферии как зоны с пониженными значениями фрагментации и разнообразия природопользования. Осуществлённое применение дополняющих методик выявления центр-периферийного градиента позволило выявить пространственную неоднородность исследуемого макрорайона,

правобережья Саратовской области и одного из её районов. Сложный, комплексный характер периферии как пространственного компонента ПОПС обусловил изучение естественных и антропогенных ландшафтов на микроуровне. Анализ центр-периферийной модели с позиции признаков фрагментации и разнообразия позволил целостно проанализировать её сложную ячеистую структуру – результат проявления «специализаций» отдельных территорий в форме определённых видов природопользования и процессов социально-экономической поляризации. Значимым фактором неоднородности ячеистой структуры является положение ячейки относительно первых, вторых и третьих городов макрорайона, рисунок и плотность транспортной сети на мезо- и микроуровне.

Ценность применённой гексагональной модели заключается в выделении пространственных структур расселения и хозяйства (в более широком контексте – природопользования), анализа топологии отдельных территорий. В техническом плане это достигалось в настоящем исследовании изменением (уменьшением) размера ячеи гексагональной решётки для лучшей презентации содержащихся в ней данных. Полагаем, что это позволит перейти к пространственному планированию сложных пространственных общественно-природных систем с учётом центр-периферийных различий на основе масштабируемой модели.

Список литературы

- Безруков Л.А., Корытный Л.М. 2012. Российская «глубинка» – модели и методы изучения. География и природные ресурсы, 4: 191–192.
- Бляхер Л.Е., Григоричев К.В. 2023. Периферийные пространства как исследовательская проблема и объект исследования. Периферия. Журнал исследования нестоличных пространств, 1(1): 7–26.
- Волков С.А., Меркушев С.А., Тарантин М.Р. 2025. Территориальные барьеры в городской среде: концептуализация понятия и методика оценки (на примере большого центра г. Перми). Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле, 25(1): 30–39. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-30-39>
- Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И. 1991. Центр и периферия в региональном развитии. М., Наука, 168 с.
- Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Ямашкин С.А., Корень В.А., Занозина Е.В. 2024. Гексагональная геопространственная модель ландшафтного разнообразия северного подрайона дельты реки Волга. Юг России: экология, развитие, 19(2): 181–196. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-2-16>
- Зырянов А.И. 2006. Регион: пространственные отношения природы и общества. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 372 с.
- Казаков М.Ю. 2020. Пространственно-экономические системы «центр-периферия»: теоретические основы, диагностика проблем, стратегические направления развития. Ставрополь, Издательство «АГРУС», 608 с.
- Кузин В.Ю. 2024. Центр-периферийная теория в пространственном развитии: критический анализ. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2: 57–67. <https://doi.org/10.5922/vestniknat-2024-2-4>
- Нефедова Т.Г. 2008. Российская периферия как социально-экономический феномен. Региональные исследования, 5(20): 14–30.
- Преображенский Ю.В. 2017. Пространственно-временная динамика систем расселения долин Волги и Камы. Географический вестник, 2(41): 25–31. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-2-25-31>
- Преображенский Ю.В., Молочко А.В. 2019. Оценка развития междугороднего автобусного сообщения в Саратовской области. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле, 19(1): 18–23. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-18-23>
- Преображенский Ю.В. 2025. Неравномерность регионального развития Волго-Уральского макрорегиона: уязвимая провинция. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле, 25(1): 20–29. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-20-29>

- Ридевский Г.В. 2023. Центр-периферийные и интеграционные процессы как ключевые тренды трансформации пространственных структур. Социальные новации и социальные науки, 3(12): 34–52. <https://doi.org/10.31249/snsn/2023.03.02>
- Родоман Б.Б. 1999. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск, Ойкумена, 256 с.
- Скачкова А.С., Яцухно В.М. 2016. Планирование территориальных схем экологических сетей на основе результатов оценки фрагментации и разнообразия ландшафтов. Земля Беларуси, 4: 24–29.
- Смирнова А.А., Смирнов И.П., Ткаченко А.А. 2024. Расселение: основные понятия, подходы, результаты исследований. Тверь, Тверской государственный университет, 224 с.
- Сомов В.Л. Марков В.А., Бровкова А.В. 2018. Статистические подходы к измерению агломерационных эффектов (на примере регионов Приволжского федерального округа). Вопросы статистики, 25(6): 51–59.
- Царев А.И. 2019. Понятие и методы определения внутренней периферии. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 4: 33–42.
- Шпенглер А.В., Сметанина А.И., Колесова Ю.А., Бармина Е.А., Савельева Н.К., Созинова А.А. 2023. Развитие городских агломераций Приволжского федерального округа: сравнительный анализ. Креативная экономика, 17(3): 901–920. <https://doi.org/10.18334/ce.17.3.117387>
- Romanillos G., Robazza G., Lovato F. 2024. A Fragmented World: Mapping the Global Extent of Anthropogenic Landscape Fragmentation. Journal of Maps, 20(1): 2307539. <https://doi.org/10.1080/17445647.2024.2307539>

References

- Bezrukov L.A., Korytnyi L.M. 2012. Rossiyskaya "glubinka" – modeli i metody izucheniya [The Russian "Hinterland" – Models and Methods of Study]. Geography and natural resources, 4: 191–192.
- Blyakher L.E., Grigorichev K.V. 2023. Peripheral Spaces as a Research Problem and Object of Study. Periphery. Journal of the Peripheries Studies, 1(1): 7–26 (in Russian).
- Volkov S.A., Merkushev S.A., Tarantin M.R. 2025. Territorial Barriers in Urban Environments: Conceptualisation of the Term and Assessment Methodology (Case Study of the Central Area of Perm). Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 25(1): 30–39 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-30-39>
- Gritsai O.V., Ioffe G.V., Treivish A.I. 1991. Tsentr i periferiya v regional'nom razvitiu [Center and Periphery in Regional Development]. Moscow, Pabl. Nauka. 168 p.
- Zanozin V.V., Barmin A.N., Zanozin V.V., Yamashkin S.A., Koren V.A., Zanozina E.V. 2024. Hexagonal Geospatial Model of Landscape Diversity in the Northern Sub-Area of the Volga River Delta landscape, Russia. South of Russia: Ecology, Development, 19(2): 181–196 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-2-16>
- Zyryanov A.I. 2006. Region: prostranstvennye otnoshenija prirody i obshhestva [Region: Spatial Relations of Nature and Society]. Perm, Pabl. Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet, 372 p.
- Kazakov M.Yu. 2020. Prostranstvenno-ekonomicheskie sistemy "tsentr-periferiya": teoreticheskie osnovy, diagnostika problem, strategicheskie napravleniya razvitiya [Spatial and Economic Systems "Center-Periphery": Theoretical Foundations, Diagnosis of Problems, Strategic Directions of Development]. Stavropol, Pabl. AGRUS, 608 p.
- Kuzin V.Yu. 2024. Center-Periphery Theory in Spatial Development: a Critical Analysis. IKBFU's Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences, 2: 57–67 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/vestniknat-2024-2-4>
- Nefedova T.G. 2008. Russia's Periphery as a Socio-Economic Phenomenon. Regional Studies, 5(20): 14–30 (in Russian).
- Preobrazhenskiy Yu.V. 2017. Spatio-Temporal Dynamics of Settlement Systems of the Volga and Kama River Valleys. Geographical bulletin, 2(41): 25–31 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-2-25-31>
- Preobrazhenskiy Yu.V., Molochko A.V. 2019. The Assessment of the Development of Intercity Bus Service in the Saratov Region. Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 19(1): 18–23 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-18-23>

- Preobrazhenskiy Yu.V. 2025. The Disparity in Development Across the Volga-Ural Region: A Fragile Semi-Periphery. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 25(1): 20–29 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-20-29>
- Ridevsky G.V. 2023. Center-Periphery and Integration Processes as Key Trends in the Transformation of Spatial Structures. *Social Novelties and Social Sciences*, 3: 34–52 (in Russian). <https://doi.org/10.31249/snsn/2023.03.02>.
- Rodoman B.B. 1999. *Territorial'nye arealy i seti. Ocherki teoreticheskoy geografii* [Territorial Areas and Networks. Essays on Theoretical Geography]. Smolensk, Pabl. Oykumena, 256 p.
- Skachkova A.S., Yatsukhno V.M. 2016. Territorial Schemes of Ecological Networks Planning of the Basis of Results of the Fragmentation and Diversity of the Landscapes. *Zemla Belarusi*, 4: 26–29 (in Russian).
- Smirnova A.A., Smirnov I.P., Tkachenko A.A. 2024. *Rasselenie: osnovnye ponjatija, podhody, rezul'taty issledovanij* [Settlement: Basic Concepts, Approaches, Research Results]. Tver, Pabl. Tver State University, 224 p.
- Somov V.L., Markov V.A., Brovkova A.V. 2018. Statistical Approaches to Measuring Agglomeration Effects (Case Study: Privolzhsky (Volga) Federal District). *Voprosy statistiki*, 25(6): 51–59 (in Russian).
- Tsarev A.I. 2019. Notion of Inner Periphery and Methods of Its Identification. *Lomonosov Geography Journal*, 4: 33–42 (in Russian).
- Shpengler A. V., Smetanina A. I., Kolesova Y. A., Barmina E. A., Saveleva N. K., Sozinova A. A. 2023. Developing the Volga Federal District Urban Agglomerations: a Comparative Analysis. *Creative Economy*, 17(3): 901–920 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ce.17.3.117387>
- Romanillos G., Robazza G., Lovato F. 2024. A Fragmented World: Mapping the Global Extent of Anthropogenic Landscape Fragmentation. *Journal of Maps*, 20(1): 2307539. <https://doi.org/10.1080/17445647.2024.2307539>

Поступила в редакцию 12.05.2025;
поступила после рецензирования 29.07.2025;
принята к публикации 01.09.2025

Received May 12, 2025;
Revised July 29, 2025;
Accepted September 01, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Юрий Владимирович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экономической и социальной географии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

Папилин Дмитрий Вячеславович, магистрант географического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri V. Preobrazhenskiy, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Social Geography, Saratov State University, Saratov, Russia

Dmitry V. Papilin, Master's student at the Faculty of Geography, Saratov State University, Saratov, Russia