НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ
2026. Том 50, № 2

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)

Редактор англоязычных текстов

Данилова Е.С., кандидат филологических наук, доцент, доцент кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации (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)

Тишков 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)

Лупо 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 (Моргантаун, США)

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

Чендев 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. Дата выхода 30.06.2026.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ
2026. Том 50, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

Структура и функционирование региональных геосистем

227 **Евдокимов С.И., Штефуряк А.В.**
Пространственно-временной анализ трансформации дельты реки Великой (1975–2024 гг.) с использованием спутниковых снимков

245 **Соловьева Е.Н., Калихман А.Д.**
Остров Ольхон: от антропогенного освоения до формирования режима особо охраняемой природной территории

261 **Короткова Е.М., Дмитриева Д.А.**
Развитие системы ООПТ Томской области в 2001–2024 гг.

272 **Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В.**
Анализ и оценка влияния ливневой деятельности на почвы агроландшафтов Томской области

285 **Пинской В.Н., Атаев З.В., Идрисов И.А., Борисов А.В.**
Влияние выпаса на температурный режим почв Терско-Кумского междуречья

299 **Киселев В.В., Раевская М.В., Корнилов А.Г.**
Особенности формирования гидроэкологического состояния реки Везёлка (Болховец) в пределах Белгородской городской агломерации

312 **Квачев В.Н., Леонтьева Е.В., Донецкий С.В., Игнатенко И.М.**
Стратиграфирование меловых вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна

326 **Позаченюк Е.А., Яковенко И.М.**
Оценка пейзажного разнообразия Азовского побережья: методический подход и результаты ландшафтного анализа

Методология исследования геосистем

339 **Коробейников А.В., Кузякина М.В., Пелина А.Н.**
Многолетний мониторинг изменений озера Абрау с использованием данных дистанционного зондирования Земли

352 **Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К., Федоров Д.С.**
Оценка точности классификации многозональных космических снимков при использовании пиксельного и объектно-ориентированного подходов

366 **Дубовик Д.С., Трубина Л.К., Щербинина А.С.**
Оценка благоприятности физико-географических факторов для развития поселений на примере Новосибирской области

380 **Лебедев Э.А.**
Матрица переходов геосистем как инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО – Югры

Социально-экономические компоненты геосистем

393 **Терещенко Е.А., Тихий В.И., Колбасов С.В.**
Территориальные тенденции демографических процессов системы расселения Орловской области

403 **Орехов С.Ю., Часовский В.И.**
Разработка комплексного показателя для концепции 15-минутного города на основе мер доступности и оценки пространственных неравенств трамвайной сети Калининграда

421 **Куница М.Н.**
Сельское расселение Брянской области: современные особенности развития

436 **Ковалев Ю.Ю., Лопатников Д.Л.**
Геосистемная модель региональной резилиентности

452 **Valiyev M.R.**
Dynamics of Demographic Indicators of the Rural Population in Azerbaijan's Mil-Mughan Economic Region

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

REGIONAL GEOSYSTEMS
2026. Volume 50, No. 2

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 included into Russian Science Citation Index (РИНЦ).

Founder: Federal state autonomous educational institution of higher education "Belgorod State National Research University".
Publisher: Belgorod State National Research University "BelSU".
Address of publisher: 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL

Editor-in-Chief

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

Commissioning Editor

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

Executive Secretary

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

English text editor

Elena S. Danilova, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor (Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia)

Members of the 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 (Belgorod State National Research University, 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. Date of publishing 30.06.2026.

REGIONAL GEOSYSTEMS
2026. Volume 50, No. 2

CONTENTS

Structure and Functioning of Regional Geosystems

227 **Evdokimov S.I., Shtefuryak A.V.**
Spatial and Temporal Analysis of the Transformation of the Velikaya River Delta from 1975 to 2024 Using Satellite Images

245 **Solovyeva E.N., Kalikhman A.D.**
Olkhon Island: from Anthropogenic Development to the Formation of a Specially Protected Natural Area Regime

261 **Korotkova E.M., Dmitrieva D.A.**
Development of the Specially Protected Natural Area System of the Tomsk Region in 2001–2024

272 **Evseeva N.S., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N., Kuzhevskaya I.V.**
Analysis of Rainfall Activity and Assessment of Its Effect on the Soils of Agricultural Landscapes in the Tomsk Region

285 **Pinskoy V.N., Atayev Z.V., Idrisov I.A., Borisov A.V.**
Effect of Grazing on the Temperature Regime of the Soils of the Terek-Kuma Interfluves

299 **Kiselev V.V., Raevskaya M.V., Kornilov A.G.**
Features of the Formation of the Hydroecological State of the Vezelka River (Bolkhovets) within the Belgorod Urban Agglomeration

312 **Kvachev V.N., Leontyeva E.V., Donetsky S.V., Ignatenko I.M.**
Stratigraphy of Cretaceous Waters of the North-Eastern Part of the Donets-Don Artesian Basin

326 **Pozachenyuk E.A., Yakovenko I.M.**
The Azov Coast Landscape Diversity Assessment: Methodological Approach and Analysis Results

Methodology of Geosystems Research

339 **Korobeynikov A.V., Kuzyakina M.V., Pelina A.N.**
Long-Term Monitoring of Changes in Lake Abrau Using Earth Remote Sensing Data

352 **Garafutdinova L.V., Kalichkin V.K., Fedorov D.S.**
Assessing Mltispectral Satellite Image Classification Accuracy Using Pixel-Based and Object-Oriented Approaches

366 **Dubovik D.S., Trubina L.K., Shcherbinina A.S.**
Assessment of the Suitability of Physical and Geographical Factors for Settlement Development in the Novosibirsk Region

380 **Lebedev E.A.**
Geosystems Transition Matrix as a Tool for Geoecological Interpretation of Spatial Transformation in KhMAO – Yugra

Socio-Economic Components of Geosystems

393 **Tereshchenko E.A., Tikhii V.I., Kolbasov S.V.**
Territorial Trends of Demographic Processes in the Settlement System of the Orel Region

403 **Orekhov S.Yu., Chasovskii V.I.**
Development of a Comprehensive Indicator for the 15-Minute City Concept Based on Accessibility Measures and Evaluation of Spatial Inequalities in the Tram Network of Kaliningrad City

421 **Kunitsa M.N.**
Rural Settlement Pattern of the Bryansk Region: Modern Development Features

436 **Kovalev Yu.Yu., Lopatnikov D.L.**
Geosystemic Model of Regional Resilience

452 **Valiyev M.R.**
Dynamics of Demographic Indicators of the Rural Population in Azerbaijan's Mil-Mughan Economic Region

Структура и функционирование региональных геосистем
Structure and Functioning of Regional Geosystems

УДК 574.5
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-227-244
EDN GPMSDL

Пространственно-временной анализ трансформации дельты реки Великой (1975–2024 гг.) с использованием спутниковых снимков

[1]Евдокимов С.И., [2]Штефуряк А.В.
[1]Псковский государственный университет
Россия, 180000, г. Псков, ул. площадь Ленина, 2
[2]Псковский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
Россия, 180007, г. Псков, ул. Максима Горького, 13
serenia-8178@yandex.ru, Shtefuryak2011@mail.ru

Аннотация. Дельта реки Великой является уникальным природным комплексом, выполняющий роль переходной зоны и природного барьера между экосистемами реки Великой и Псковского озера. Здесь происходит взаимодействие и трансформация динамических, химических, физических свойств водных масс, перераспределение и отложение наносов, поддержание водообмена между русловой и прибрежной зонами. В статье представлен пространственно-временной анализ трансформации дельты реки Великой за период 1975–2024 гг. с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий. Проведено картографирование изменений береговой линии островов в дельте, площади островов и степени зарастания акватории дельты. Дополнительно проанализированы структура, пространственная организация и трансформация растительного покрова, водной поверхности и участков открытых вод. Полученные результаты свидетельствуют о значительном увеличении площади островов, активизации процессов зарастания и постепенной смене растительных сообществ в направлении заболачивания. Выявленные тенденции отражают общие процессы морфологической эволюции дельтовой системы и указывают на её переход к болотному типу экосистемы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, *Landsat*, дельта, аккумуляция, зарастание, *NDVI, NDWI, HEC-RAS*, цифровая модель рельефа

Для цитирования: Евдокимов С.И., Штефуряк А.В. 2026. Пространственно-временной анализ трансформации дельты реки Великой (1975–2024 гг.) с использованием спутниковых снимков. Региональные геосистемы, 50(2): 227–244. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-227-244 EDN: GPMSDL

Spatial and Temporal Analysis of the Transformation of the Velikaya River Delta from 1975 to 2024 Using Satellite Images

[1]Sergey I. Evdokimov, [2]Alina V. Shtefuryak
[1]Pskov State University
2 Ploshchad Lenina St., Pskov 180000, Russia
[2]PSK branch of SSC RF VNIRO Federal State Budgetary Scientific Institution
13 Maxim Gorky St., Pskov 180007, Russia

© Евдокимов С.И., Штефуряк А.В., 2026

E-mail: serenia-8178@yandex.ru, Shtefuryak2011@mail.ru

Abstract. The Velikaya River delta is a unique natural complex that acts as a transition zone and natural barrier between the ecosystem of the Velikaya River and the ecosystem of Pskov Lake. Interaction and transformation of dynamic, chemical, and physical properties of water masses, redistribution and deposition of sediments, and maintenance of water exchange between the riverbed and coastal zones take place here. The article presents a spatiotemporal analysis of the transformation of the Velikaya River Delta over the period 1975–2024 using remote sensing data and geoinformation technologies. The changes in the coastline of the islands at the mouth, the area of the islands and the degree of overgrowth of the delta water area have been mapped. Additionally, the authors analyze the structure, spatial organization, and transformation of vegetation, water surface, and open water areas. The results obtained indicate a significant increase in the island area, activation of overgrowing processes and a gradual change of plant communities in the direction of waterlogging. The revealed trends reflect the general processes of morphological evolution of the delta system and indicate its transition to a swamp type of ecosystem.

Keywords: remote sensing of the Earth, Landsat, delta, accumulation, overgrowth, NDVI, NDWI, HEC-RAS, digital relief model

For citation: Evdokimov S.I., Shtefuryak A.V. 2026. Spatial and Temporal Analysis of the Transformation of the Velikaya River Delta from 1975 to 2024 Using Satellite Images. Regional Geosystems, 50(2): 227–244 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-227-244 EDN: GPMSDL

Введение

Дельты рек представляют собой динамичные и уязвимые геоэкосистемы, которые чувствительны к изменению природных условий и антропогенному воздействию. Изменения в таких системах затрагивают широкий спектр пространственных, экологических и гидрологических процессов, что делает их приоритетным объектом научного анализа, особенно в контексте глобального изменения климата и трансформации водно-ландшафтных структур.

Река Великая является крупнейшей водной артерией Псковской области, характеризующейся высоким уровнем водности, разветвленной гидрографической сетью и значительным влиянием на формирование природных ландшафтов региона. Формируя дельту в южной части Чудско-Псковского озера, она образует сложную дельтовую систему, включающую многочисленные рукава, протоки и острова. Эта территория представляет собой трансграничную экотонную зону между речной и озёрной системами, отличающуюся высокой степенью биологического разнообразия и ландшафтной мозаичности [Экологический мониторинг …, 2003]. Значительная часть дельты расположена в пределах особо охраняемой природной территории международного значения – водно-болотного угодья «Псковско-Чудская приозёрная низменность», что подчёркивает её экологическую ценность и необходимость комплексного мониторинга состояния [Лебедева, 2006].

Ранее проведённые исследования дельты реки Великой подтверждают активное развитие процессов зарастания акватории и изменение структуры экосистемы под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. В работе С.Г. Михалап, К.Б. Михайловой и Т.В. Дрозденко [2018] проанализировано современное состояние экосистемы дельты и дана оценка её аквакультурного потенциала, выявлены тенденции снижения открытых водных площадей и увеличения биомассы высшей водной растительности. В другой работе С.Г. Михалап и К.Б. Михайловой [2018], основанной на данных полевых наблюдений и дистанционного зондирования Земли, детализированы

пространственные особенности зарастания дельты макрофитами и выделены зоны наибольшей динамики водно-растительного покрова. Также в исследовании С.Г. Михалап [2018], представленном на конференции «Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов», с использованием данных многолетних спутниковых наблюдений проанализирована динамика зарастания дельты реки Великой. Автором выявлены пространственные закономерности изменения структуры растительного покрова и постепенного сокращения площадей открытой водной поверхности. Эти исследования заложили основу для дальнейшего изучения пространственно-временных изменений дельтовой системы и показали высокую эффективность применения методов дистанционного зондирования Земли для анализа процессов трансформации речных дельт.

Динамические процессы, протекающие в пределах дельты, проявляются в виде аккумуляции наносов, изменения русловой сети, зарастания акватории высшей водной растительностью, а также деградации открытых водных пространств. Аккумулятивные явления связаны с осаждением взвешенного материала в дельтовой зоне и приводят к перераспределению водных потоков, что, в свою очередь, способствует образованию новых протоков и зарастанию существующих русел. Процессы зарастания вызывают трансформацию водных биотопов, что может повлечь за собой деградацию нерестилищ и изменение видового состава флоры и фауны.

Современные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в сочетании с геоинформационными системами (ГИС) позволяют проводить комплексный мониторинг пространственно-временных изменений ландшафтов с высокой степенью точности. Использование многолетних спутниковых данных предоставляет возможность временного анализа дельтовых систем, выявления закономерностей трансформации и оценки степени воздействия различных факторов.

В последние десятилетия исследования дельтовых систем приобретают особую значимость в связи с климатическими изменениями, усилением антропогенного воздействия и необходимостью сохранения водно-болотных угодий как ключевых природных ресурсов. Учитывая высокую экологическую и хозяйственную ценность дельты рек, необходимость пространственно-временного мониторинга дельтовых систем с использованием современных технологий дистанционного зондирования и ГИС является актуальной научной задачей, имеющей как теоретическое, так и прикладное значение.

Цель исследования – проведение пространственно-временного анализа динамики дельты реки Великая в период 1975–2024 гг. на основе спутниковых данных и геоинформационного анализа.

Для достижения поставленной цели, нами были решены следующие задачи:

– определить нулевой уровень воды в дельте и смоделировать его с помощью *HEC-RAS* с последующей интеграцией в *QGIS*;

– рассчитать *NDVI* и *NDWI* по снимкам *Landsat* для выделения воды и растительности, и анализа пространственной структуры дельты;

– оценить степень зарастания дельты по классификации Папченкова на основе соотношения растительности и площади водного зеркала;

проанализировать изменения растительности с использованием метода разделения по пороговым значениям *NDVI*, выделив основные типы растительного покрова.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных данных для исследования динамики дельты реки Великой использованы спутниковые снимки, полученные с сайта Геологической службы США *USGS GloVis* [USGS, 2025]. Материалами для анализа послужили изображения, полученные со спутников *Landsat 2 (MSS), Landsat 4–5 (TM)* и *Landsat 8 (OLI)* различных

лет с минимальной облачностью. Всего было обработано 9 снимков за август–сентябрь 1975, 1988, 1992, 2001, 2006, 2011, 2015, 2020 и 2024 гг.

Выбор снимков именно за август–сентябрь обусловлен тем, что указанный период соответствует фазе устойчивой летне-осенней межени реки Великой, характеризующейся относительно стабильным уровнем воды и минимальным воздействием паводковых процессов. Это позволяет обеспечить сопоставимость гидрологических условий съёмки в разные годы и, следовательно, повысить достоверность оценки динамики трансформации дельты.

Неравномерность временных срезов объясняется ограниченной доступностью пригодных снимков: в отдельные годы получение качественных снимков затруднено из-за повышенной облачности. В связи с этим изначально предполагаемый пятилетний интервал наблюдений приходилось варьировать, уменьшая или увеличивая шаг между датами съёмок в зависимости от наличия данных с минимальной облачностью.

Все этапы подготовки данных (радиометрическая и атмосферная коррекция), а также последующая их обработка производилась в свободно распространенном программном обеспечении – геоинформационной среде *QGIS 3.28.0* [QGIS, 2025].

Исследование производилось посредством создания индексных изображений – нормализованного разностного индекса воды (*англ. Normalized Difference Water Index – NDWI*) и нормализованного разностного индекса растительности (*англ. Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) [McFeeters, 1996]. Индекс *NDWI* позволяет достоверно определить наличие открытых водных объектов на земной поверхности. Процесс увеличения вегетационного покрытия дельты реки Великой, в частности площади зарастания воздушно-водной растительностью можно оценить с помощью индекса вегетации *NDVI*, который позволяет количественно определить состояние растительности на основе спутниковых данных [Филоненко, Комарова, 2015; Власов и др., 2019; Кутявина и др., 2024].

Для расчёта спектральных индексов использовались каналы: зеленый – B4, B2 и B3 (*Landsat 1, Landsat 5* и *Landsat 8-9* соответственно), красный – B5, B3 и B4 (*Landsat 1, Landsat 5* и *Landsat 8-9* соответственно), ближний инфракасный – B6, B4 и B5 (*Landsat 1, Landsat 5* и *Landsat 8-9* соответственно). Формулы и названия индексов приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Используемые каналы и формулы для расчёта *NDVI* и *NDWI*
по спутниковым *данным Landsat 1, 5, 8* и *9*
Channels used and formulas for calculating *NDVI* and *NDWI* from *Landsat 1, 5, 8* and *9* satellite data

Спектральный индекс	Формула для расчета		
	Landsat 1	*Landsat 5*	*Landsat 8-9*
NDWI	(B4-B6)/(B4+B6)	(B2-B4)/(B2+B4)	(B3-B5)/(B3+B5)
NDVI	(B6-B5)/(B6+B5)	(B4-B3)/(B4+B3)	(B5-B4)/(B5+B4)

В ходе обработки многовременных спутниковых изображений с использованием водного индекса *NDWI* были получены растровые маски, позволяющие чётко разграничить водную поверхность и участки суши в пределах дельты реки Великой [Silva et al., 2008; Tan et al., 2020]. Для классификации типов поверхности применялся двухэтапный алгоритм, основанный на сочетании индексов *NDWI* и *NDVI*.

На первом этапе по значениям *NDWI* выделялось два класса: (1) открытое водное зеркало и (2) всё прочее – заросли полупогруженной высшей водной растительности и сухопутные растения [Schmidt, Skidmore, 2003; Assegid et al., 2012]. Водная поверхность определялась при *NDWI* < 0,20. На втором этапе все пиксели, не относящиеся к открытому водному зеркалу, классифицировались по значениям *NDVI*: (1) заросли полупогруженной

высшей водной растительности и (2) сухопутные растения. Разделение между этими классами проводилось по пороговому значению *NDVI* = 0,29 [Jaskula, Sojka, 2019; Tan et al., 2020]. Растения, полностью находящиеся под водой, в процессе дешифрирования не выделялись [Бондаренко и др., 2021].

Такой подход позволил достоверно идентифицировать границы островных территорий, а также зафиксировать процессы их фрагментации, объединения и формирования новых островов. Полученные растровые маски были преобразованы в векторный формат для расчёта количественных характеристик, включая площадь островов и динамику береговой линии [Hestir et al., 2015; Pirali Zefrehei et al., 2021; Piloyan, 2023].

Дешифрирование типов растительности на дельтовых островах реки Великой выполнялось методом разделения по пороговым значениям (также обозначаемым термином квантование, *англ. density slicing*) с использованием индекса *NDVI*, отражающего спектральную яркость растительного покрова [Комарова и др., 2016]. Значения *NDVI* были использованы в качестве ключевого критерия для выделения различных классов растительности, включая участки с доминированием тростника, прибрежных гидрофитных сообществ и труднопроходимых заболоченных территорий, характеризующихся высокой биомассой и плотностью растительного покрова. Для классификации использовались следующие пороговые значения *NDVI*: 0,20–0,25 – прибрежные гидрофитные сообщества; 0,25–0,28 – участки с доминированием тростника; > 0,29 – заболоченные территории. Полученные результаты были использованы для оценки пространственного распределения и динамики растительных формаций в пределах дельты.

В гидрологических исследованиях ключевым аспектом является выбор нулевой отметки уровня воды, относительно которой оцениваются все изменения. В ряде исследований, посвящённых анализу динамики зарастания водоёмов и дельты, в качестве нулевой отметки водной поверхности принимается минимальный зафиксированный гидрологический показатель за весь период наблюдений. Такой подход применён, например, в работах зарубежных авторов [Smith et al., 2019; Shang G., Shang Y. , 2020; Xu et al., 2022; Pelckmans et al., 2023;].

Кроме того, в исследованиях широко применяется подход, при котором за нулевую отметку принимают среднюю береговую линию, рассчитанную по разновременным спутниковым/аэрофотоснимкам [Gao et al., 2020; Shiklomanov et al., 2021]. Такой метод позволяет получить «статистическую» границу водной поверхности, устраняя часть краткосрочных колебаний уровня, и часто используется при постройке временных рядов изменений береговой линии и площадей водного зеркала. Однако, имеется ряд минусов при использовании средней береговой линии как нулевой отметки:

1) усреднение скрывает сезонные, годовые и экстремальные колебания уровня – это даёт смещение нулевой отметки по отношению к фактическим гидрологическим режимам и может исказить оценку процессов зарастания, особенно там, где растительность чувствительна к краткосрочным подтоплениям;

2) результат сильно зависит от выбора исходных снимков по времени и качества данных (облачность, разрешение) – при недостаточном и неравномерном временном покрытии усреднённая линия будет смещена;

3) средняя береговая линия отражает не только гидрологию, но и морфодинамику/антропогенные изменения берега (например, осадконакопление), поэтому она может быть неподходящей в динамично изменяющихся дельтах.

Альтернативные методики выбора нулевой отметки уровня воды включают несколько подходов, позволяющих по-разному интерпретировать динамику гидрологического режима. Одним из них является определение нулевой отметки по цифровой модели рельефа (ЦМР) или данным аэрофотосъёмки и лидарной съёмки, что

обеспечивает более строгую геодезическую привязку, однако требует высокоточных данных и может быть ограничено их доступностью [Popov et al., 2020; Liu et al., 2021]. В ряде случаев за нулевую отметку принимают границу растительности, которая фиксируется на мультиспектральных снимках и отражает долговременное положение уровня, достаточного для ограничения произрастания древесно-кустарниковых или луговых сообществ, однако такой метод опосредованно отражает гидрологические процессы и зависит от биотических факторов [Klemas, 2011; Даниличева, Ермаков, 2023]. Кроме того, при наличии гидрологических наблюдений возможно использование комбинированного подхода – привязки дистанционных данных о положении береговой линии к данным водомерных постов или датчиков уровня, что позволяет согласовать временные ряды с конкретными гидрологическими условиями [Vousdoukas et al., 2019]. Таким образом, выбор методики зависит от цели исследования, доступности исходных данных и характера изучаемой акватории.

В нашем исследовании за нулевую отметку принят минимальный зафиксированный уровень воды в период наблюдений за август–сентябрь с 1975 по 2024 гг. – в 155 см. Это решение обусловлено следующими причинами:

– минимальный уровень воды (155 см) представляет собой объективную гидрологическую константу, фиксирующую нижний предел колебаний водности реки;

– использование этого значения в качестве нуля позволяет стандартизировать все измерения за 50-летний период, что критически важно для корректного сравнения данных разных лет;

– позволяет наиболее объективно оценить максимальное обнажение островов и мелей (что важно для анализа роста сухопутной площади) и определить границы распространения водно-болотной растительности (тростник, гидрофиты), которая особенно чувствительна к снижению уровня воды и подтоплению.

Для построения ЦМР дна дельты реки Великой использовались точки глубин, полученные с помощью *GPS*-эхолота *Garmin Striker Plus 4* с двухлучевым трансдьюсером, что обеспечило высокую точность пространственной привязки данных. Создание ЦМР осуществлялось в среде *QGIS* с применением инструмента *SAGA Multilevel B-Splines*, позволившего выполнить интерполяцию данных глубин с сохранением детальности мелкомасштабных форм рельефа. На основе полученной ЦМР выполнялось моделирование векторного слоя затопления при нулевом уровне воды, соответствующем отметке 155 см для стандартизации многолетних измерений и оценки максимального обнажения островных и мелководных участков с использованием гидродинамической модели *HEC-RAS 6.3.1* [HEC-RAS, 2025]. Модельные данные были конвертированы в геопространственные слои и интегрированы в *QGIS*.

Построение графических изображений (графики, гистограммы) и статистическая обработка данных выполнялась в *MS Excel*.

Результаты и их обсуждение

Анализ многолетних спутниковых данных за период 1975–2024 гг. с использованием водного индекса *NDWI* позволил выявить выраженные пространственно-временные изменения в пределах дельты реки Великой. Установлены устойчивые тенденции к увеличению как количества, так и площади островов, обусловленные преимущественно аккумулятивными процессами и зарастанием акватории водной растительностью. За почти полувековой интервал зафиксированы процессы образования новых островов, трансформация береговой линии, увеличение площади отдельных островных участков. Пространственно-временной анализ, выполненный на основе векторизованных данных, показал, что суммарная площадь островов в пределах дельты возросла на 0,63 км², что составляет около 8,6 % от их общей площади на начальный

момент исследования. Полученные результаты свидетельствуют о выраженной тенденции к аккумуляции и зарастанию (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Изменение площади островов в дельте р. Великой за 1975–2024 гг.
в абсолютных и относительных величинах
Changes in the area of islands in the Velikaya River delta in 1975–2024 in absolute and relative terms

Общая площадь островов, км^2		Увеличение площади островов в 2024 г. относительно 1975 г.	
1975 г.	2024 г.	км^2	%
7,31	7,94	0,63	8,6

Анализ динамики площади островов в дельте реки Великой за период 1975–2024 гг. выявил волнообразный характер изменений при общей положительной тенденции роста суши. На графике прослеживаются чередующиеся фазы увеличения и снижения площади островов, что обусловлено комплексным воздействием природных факторов, регулирующих процессы аккумуляции и размыва (рис. 1). Одним из ключевых факторов является гидрологическая изменчивость: в годы с пониженным уровнем воды, характерные для засушливых периодов, обнажаются отмели и усиливается аккумуляция наносов, тогда как в полноводные фазы наблюдается частичный размыв берегов и временное подтопление низинных островов. Важно подчеркнуть, что для обеспечения корректности анализа сопоставления выполнялись по данным августа–сентября – месяцев устойчивой летней межени реки Великой. Именно в этот период уровенный режим наиболее стабилен и репрезентативен для оценки реальных площадей островов. Сравнение данных различных лет за другие месяцы (например, май и август) могло бы привести к искажённым выводам из-за сезонной неустойчивости уровня воды в весенне-половодный период. Динамика наносов, переносимых рекой в виде взвешенных частиц, также оказывает влияние: осаждение может происходить в зонах замедленного течения, формируя новые участки суши, в то время как резкие гидрологические колебания, вызванные, например, ливневыми паводками, могут провоцировать их разрушение. Дополнительным фактором выступают климатические аномалии, включая длительные засушливые или влажные периоды, способствующие соответственно аккумуляции или эрозии. Существенную роль играют и сукцессионные процессы: вновь сформированные острова на ранних стадиях подвержены размыву, но со временем стабилизируются благодаря зарастанию воздушно-водной растительностью (в первую очередь, тростником), что снижает их уязвимость к размыванию. Развитие тростниковых сообществ способствует постепенной стабилизации субстрата – разветвлённая корневая система выполняет функцию естественного каркаса, препятствующего перераспределению наносов. При значительном развитии тростника наблюдается накопление отмершей растительной массы, что сопровождается снижением содержания растворённого кислорода, замедлением водообмена и, как следствие, ускорением процессов аккумуляции, что способствует формированию более устойчивых островных экосистем. Несмотря на цикличность «накопление–размыв», в долгосрочной перспективе преобладают аккумулятивные процессы, что может быть связано с общим снижением скорости течения и увеличением объёмов наносимого материала. Данная картина согласуется с типичными трендами развития дельтовых систем, наблюдаемыми, например, в дельтах Волги, Дуная и Лены [Overeem et al., 2003; Li et al., 2004; Giosan et al., 2014; Richards et al., 2014; Fedorova et al., 2015; Mikhailova, Gorbachova, 2019]. Для более точного прогноза дальнейших изменений необходима интеграция данных по водному

стоку, климатическим сценариям и моделирование процессов осадконакопления с использованием гидродинамических моделей.

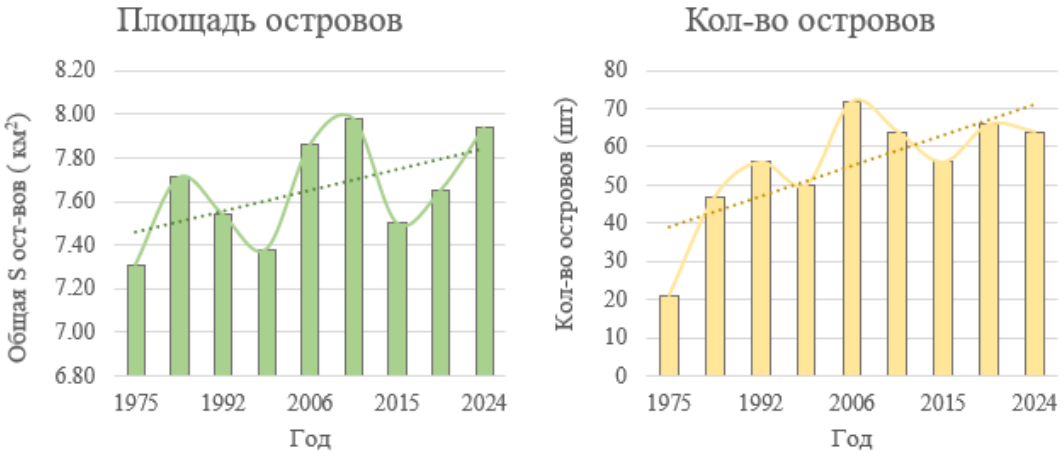


Рис. 1. Динамика количества и площади островов в дельте р. Великой по данным индекса *NDWI*
Fig. 1. Dynamics of the number and area of islands in the Velikaya River delta according to the *NDWI* index

Сопоставление космических снимков дельты реки Великой за 1975 и 2024 гг. свидетельствует о существенной трансформации береговой линии и островных структур за почти 50-летний период (рис. 2).

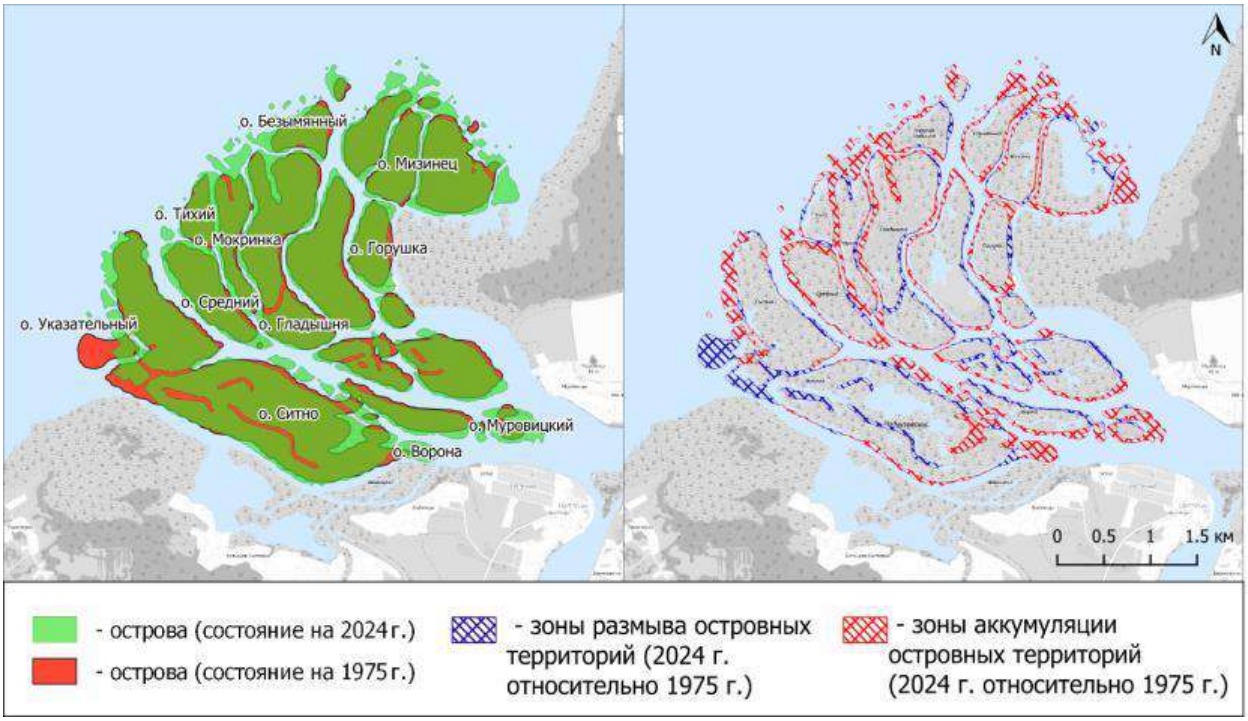


Рис. 2. Изменение конфигурации островов в дельте р. Великой: аккумуляция и размыв островных территорий в 1975 и 2024 гг; в качестве картографической основы использованы данные *OpenStreetMap*
Fig. 2. Changes in the configuration of islands in the Velikaya River delta: accumulation and erosion of island territories in 1975 and 2024; *OpenStreetMap* data used as a cartographic basis

В результате совокупного действия процессов аккумуляции и размыва произошли значительные пространственные изменения: перемещение участков суши, их деструкция, а также формирование новых островных образований. На снимке 1975 г. острова Ситно, и Гладышня представляли собой более крупные и цельные по площади участки суши. К 2024 г. в результате размыва эти острова трансформировались в группы отдельных фрагментов, разделённых мелкими протоками. Так, крайний западный остров дельты – Ситно – в 2024 г. распался на три обособленных острова: Ситно, Подкузовский и Община. У острова Гладышня отделилась южная часть площадью 0,29 км². Протока Тихая, ранее разделявшая острова Тихий и Мокринка (1975 г.), к 2024 г. полностью заросла, что привело к объединению этих островов в единую структуру. Площадь о. Безымянного за исследуемый период увеличилась примерно в 1,5 раза. Общая площадь прироста суши за счёт аккумуляции по сравнению с 1975 г. составила 1,91 км², тогда как площадь размытых территорий – 0,83 км², что на 1,08 км² (56,5 %) меньше. Это свидетельствует о преобладании аккумуляционных процессов над разрушительными в современной динамике островов в дельте р. Великой.

Результаты анализа значений вегетационного индекса *NDVI* за различные периоды времени свидетельствуют о существенном росте растительного покрова в пределах дельтовой системы реки Великой [Ju, Bohrer, 2022]. Зафиксировано почти трёхкратное увеличение площади, охваченной воздушно-водной растительностью, включая тростниковые и гидрофитные сообщества, что указывает на активные процессы зарастания открытых водных пространств. Данный процесс во многом обусловлен аккумуляцией наносов, способствующих постепенному подъёму донной поверхности и формированию благоприятных условий для закрепления макрофитов. Существенную роль играет адаптивные свойства тростника обыкновенного, который способен прорастать на глубинах до 0,7–0,8 м, что совпадает с диапазоном максимального распространения зарастания в дельтовой части р. Великой. Возрастание средних значений *NDVI* по всей территории исследования также подтверждает тенденцию повышения продуктивности и плотности растительности (рис. 3).

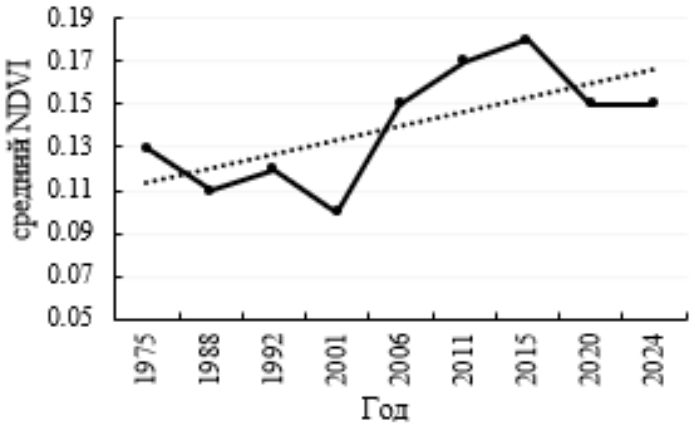


Рис. 3. Динамика среднего значения *NDVI* в дельте р. Великой за период 1975–2024 гг.
Fig. 3. Dynamics of the average *NDVI* value in the Velikaya River delta for the period 1975–2024

Увеличение средних значений *NDVI*, зафиксированное при анализе спутниковых данных за исследуемый период, может быть обусловлено совокупным воздействием природных и антропогенных факторов. Повышенные значения индекса свидетельствуют о росте биомассы и плотности растительного покрова, в том числе воздушно-водной растительности, особенно в пределах прибрежных и заболоченных участков дельты (рис. 4). Дополнительным механизмом выступает формирование и намыв подводных гряд,

которые создают благоприятные условия для прорастания тростника. По мере его закрепления донная поверхность становится более мелководной, а прибрежные территории, занятые тростниковыми сообществами, приобретают повышенную устойчивость к размыву вследствие уплотнения донных отложений.

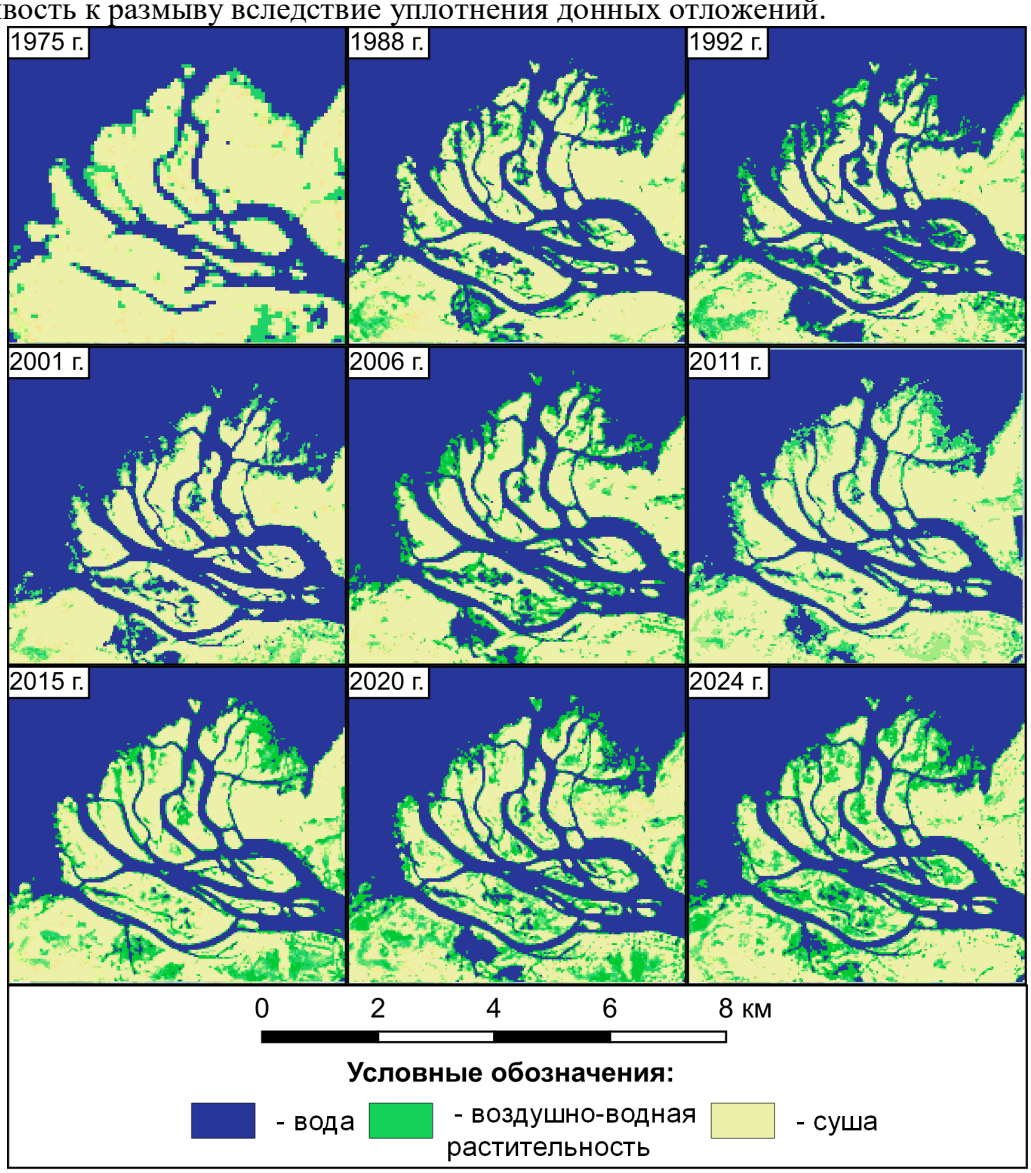


Рис. 4. Динамика воздушно-водной растительности в дельте р. Великой по данным *NDVI* за период 1975–2024 гг.
Fig. 4. Dynamics of aerial and aquatic vegetation in the Velikaya River delta according to *NDVI* data for the period 1975–2024

Рост вегетационного индекса, также может быть связан с изменениями климатических условий, помимо увеличения среднегодовой температуры, на Северо-Западе России (в Псковской области), в последние годы отмечается несоответствие календарных сезонов года фактическому ходу температур и смене времён года. Наблюдаются периоды «смещения» месяцев, к зимнему или к летнему сезону года, вследствие чего получаются сжатые периоды межсезонья. Например, в последние годы можно наблюдать сжатую, быструю, динамичную весну и достаточно продолжительное лето, начинающееся с мая месяца. Также наблюдается продолжительная осень, в последнее время включающая в себя бесснежный декабрь [Евдокимов, Михалап, 2014]. Как следствие, продолжительное лето, перетекающее в теплую, продолжительную осень, удлиняет вегетационный период и

накопления биомассы. В свою очередь, изменение фитомассы тростника обыкновенного в течение вегетационного периода имеет определенные тренды и зависит от климатической зоны и трофности водоема [Латышев, 2013].

Значение степени зарастания определяли как отношение площади зарастания к площади зеркала воды при минимальном уровне и относили к определенному классу согласно методике Папченкова [Панюкова и др., 2022].

В.Г. Папченков выделяет 8 классов водоёмов: 1) не заросшие или почти не заросшие – площадь зарослей менее 1 % от площади акватории; 2) очень слабо заросшие – 1–5 %; 3) слабо заросшие – 6–10 %; 4) умеренно заросшие – 11–25 %; 5) значительно заросшие – 26–40 %; 6) сильно заросшие – 41–65 %; 7) очень сильно заросшие – 66–95 %; 8) сплошь заросшие – 96–100 % [Папченков, 2001; Кочеткова и др., 2022].

Исследования, проведённые с использованием спутниковых снимков *Landsat*, показывают, что степень зарастания дельты р. Великой с 1975 по 2024 гг. увеличилась на 18,9 % (рис. 5).



Рис. 5. Изменение степени зарастания растительностью в дельте р. Великой в 1975–2024 гг.
Fig. 5. Changes in the degree of vegetation overgrowth in the Velikaya River Delta in 1975–2024

Согласно классификации степени зарастания, предложенной А.С. Папченковым, периоды 1975–2001 и 2015–2020 гг. в пределах островов дельты реки Великой характеризуются как умеренно заросшие, тогда как 2006–2011 и 2024 год отнесены к классу значительно заросших. Подобная непостоянная динамика зарастания обусловлена сочетанием гидрологических режимов и климатических факторов, характерных для дельтовых экосистем.

В первую очередь, варьирующаяся степень зарастания может быть связана с колебаниями уровня воды в Чудско-Псковском водоёме, влияющими на степень подтопления островов. В периоды высокой водности и устойчивого половодья береговая эрозия сдерживает распространение растительности, тогда как в засушливые годы формируются благоприятные условия для укоренения тростника и других гидрофитов.

Во-вторых, температурные и климатические тренды последних десятилетий (потепление, удлинение вегетационного периода) также способствуют активному росту высшей водной растительности.

Таким образом, волнообразный характер изменений степени зарастания отражает комплексное влияние гидрометеорологических условий и естественной динамики растительных сообществ, особенно выраженной в дельтовых экосистемах.

На основе результатов дешифрирования типов растительности, выявлены значительные трансформации в структуре растительного покрова дельтовых островов

реки Великой за период 1988–2024 гг. (табл. 3). Снимок за 1975 год был исключён из классификации из-за низкого пространственного разрешения, не позволяющего обеспечить сопоставимость с данными последующих лет.

Таблица 3
Table 3

Сравнение площадей различных типов растительности в дельте реки Великой в 1988 и 2024 гг.
Comparison of the areas of different types of vegetation in the Velikaya River delta in 1988 and 2024

Растительность	Площадь, км²		Прирост/убыль площади	
	1988	2024	1988	2024
			км²	%
Тростник	4,53	3,52	1,01	–22,30
Гидрофиты	2,10	0,33	1,77	–84,29
Непроходимые болота с тростником	1,39	4,44	3,05	219,42

Классификация спектральной яркости позволила различить основные типы растительности заросли тростника, полупогруженную водную растительность (гидрофиты) и непроходимые заболоченные участки с тростником. Анализ показал сокращение площади тростниковых сообществ на 1,01 км² (–22,3 %), что может быть связано с изменением гидрологического режима, в том числе снижением уровня воды и уменьшением продолжительности затопления, а также с началом процессов сукцессионной трансформации, при которых тростниковые заросли вытесняются болотными сообществами. Аналогично, зафиксировано уменьшение площади полупогруженной водной растительности на 0,33 км², что, вероятно, связано с ухудшением гидрологических условий, заилением русловых участков и конкуренцией с другими типами растительности. В то же время наблюдается увеличение площади непроходимых болот с тростником, что указывает на общее направление сукцессии – от открытых водных экосистем к болотным (рис. 6).

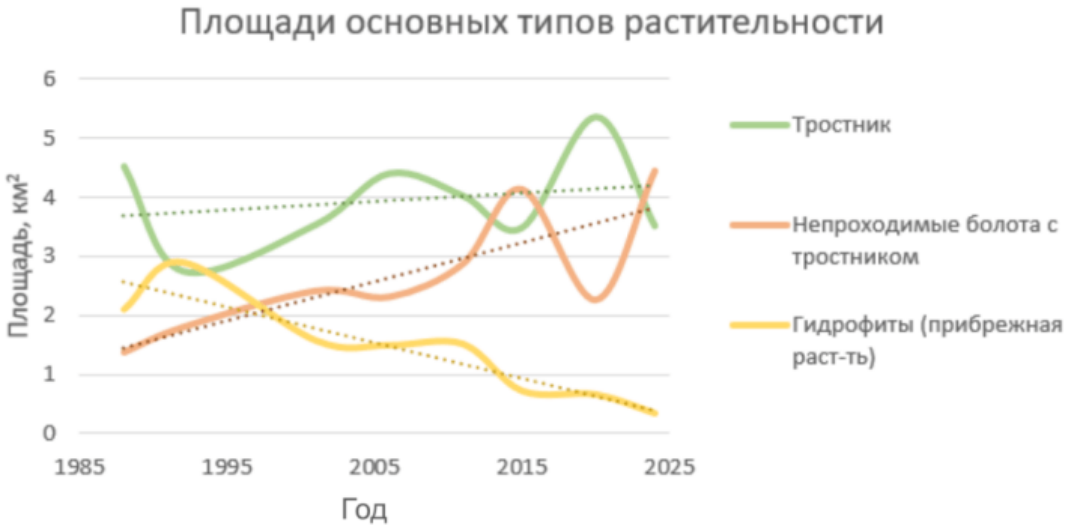


Рис.6. Динамика площадей основных типов растительности в дельте р. Великой по результатам полуавтоматической классификации (1988–2024 гг.)
Fig. 6. Dynamics of the areas of the main vegetation types in the Velikaya River delta according to the results of semi-automatic classification (1988–2024)

Такой переход, по всей видимости, обусловлен как климатическими сдвигами (увеличение осадков, снижение испарения), так и постепенным заболачиванием вследствие накопления органического материала и обмеления территорий. Эти изменения демонстрируют тесную взаимосвязь между растительностью и гидрологическими условиями, а также свидетельствуют о смещении экосистемного баланса в сторону устойчивого заболачивания.

Установленные изменения в растительном покрове и динамике дельты реки Великой свидетельствуют о нарастающих сукцессионных и аккумулятивных процессах, отражающих общие тенденции к заболачиванию и росту суши. Эти трансформации оказывают комплексное воздействие на структуру экосистемы, биологическое разнообразие и гидрологическое функционирование территории, требуя регулярного мониторинга.

Заключение

Проведённый пространственно-временной анализ трансформации дельты реки Великой за период 1975–2024 гг. на основе данных дистанционного зондирования позволил выявить устойчивые тенденции к росту суши и зарастанию акватории. Установлено, что в результате преимущественно аккумулятивных и сукцессионных процессов происходит формирование новых островов, увеличение их площади, а также постепенная трансформация открытых водных пространств в участки, занятые растительностью. За почти 50-летний период суммарная площадь островов увеличилась на 0,63 км² (8,6 %), что свидетельствует о преобладании процессов аккумуляции над эрозией.

Результаты расчёта вегетационного индекса *NDVI* подтвердили существенный рост растительного покрова, включая воздушно-водные и болотные сообщества, что указывает на активные процессы зарастания и повышение плотности растительности в пределах дельтовой системы. При этом степень зарастания дельты за исследуемый период возросла на 18,9 %, что соответствует переходу от умеренно к значительно заросшему типу по классификации А.С. Папченкова. Наблюдаемая волнообразная динамика зарастания обусловлена сочетанием природных факторов, включая колебания уровня воды и климатические тренды.

Дешифрование типов растительности методом разделения по пороговым значениям показало, что при сокращении площадей тростниковых и гидрофитных сообществ происходит значительное увеличение болотных формаций, характеризующихся высокой плотностью биомассы. Это отражает общее направление экологических изменений – от открытых водных биотопов к заболоченным экосистемам, что может быть связано как с естественным сукцессионным развитием, так и с изменениями гидрологического режима.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой уязвимости дельтовой системы к внешним воздействиям, что обуславливает необходимость организации регулярного мониторинга дельты р. Великой и, при необходимости, реализации регулирующих мероприятий, включающих расчистку и углубление протоков, направленных на поддержание гидрологической устойчивости.

Список источников

HEC-RAS. Электронный ресурс. URL: https://hydroschool.org/hec-ras/ (дата обращения: 14.05.2025).
QGIS. Электронный ресурс. URL: http://www.qgis.org/ru/site/ (дата обращения: 28.01.2025).
USGS. Электронный ресурс. URL: https://glovis.usgs.gov/ (дата обращения: 20.01.2025).

Список литературы

Бондаренко Л.Г., Кульба С.Н., Петрашов В.И., Смирнов С.С., Матвеева Е.И., Рудакова Н.А. 2021. Оценка зарастания водной растительностью Челбасской группы азовских лиманов. Водные биоресурсы и среда обитания, 4(4): 14–26. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2021_4_4_14

Власов Б.П., Грищенкова Н.Д., Сивенков А.Ю., Суховило Н.Ю., Колбун Д.А. 2019. Оценка современного состояния и динамики зарастания озер Национального парка «Нарочанский» с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Acta Geographica Silesiana, 13(4(36)): 39–55.

Даниличева О.А., Ермаков С.А. 2023. О проявлениях биогенных плёнок на спутниковых мультиспектральных изображениях эвтрофированного водоёма. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(5): 273–284. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-273-284

Евдокимов С.И., Михалап С.Г. 2014. Дифференциация времён года по среднемесячным показателям температур. В кн.: Проблемы устойчивости эколого-хозяйственных и социально-культурных систем трансграничных регионов. Материалы международной научно-практической конференции, Псков, 20–21 ноября 2014. Псков, ЛОГОС Плюс: 173–176.

Комарова А.Ф., Журавлева И.В., Яблоков В.М. 2016. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова. Принципы экологии, 1(17): 42–80.

Кочеткова А.И., Брызгалина Е.С., Филиппов О.В., Баранова М.С. 2022. Динамика зарастания Волгоградского водохранилища (1972–2018 гг.). Принципы экологии, 1(43): 68–73. https://doi.org/10.15393/j1.art.2022.10002

Кутявина Т.И., Рутман В.В., Ашихмина Т.Я. 2024. Оценка динамики зарастания высшими водными растениями акватории эвтрофного водохранилища с использованием спутниковых изображений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 21(1): 299–307. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-1-299-307

Латышев С.Э. 2013 Изменение фитомассы тростника обыкновенного в течение вегетационного сезона в разнотипных озерах Белорусского Поозерья. В кн.: Наука – образованию, производству, экономике. Материалы XVIII (65) Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 13–14 марта 2013. Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова: 97–100.

Лебедева О.А. 2006. Экосистема дельты реки Великой и ее влияние на Псковско-Чудское озеро. Псковский регионологический журнал, 1: 107–121.

Михалап С.Г. 2018. Исследование динамики зарастания дельты реки Великой методами ДЗЗ. В кн.: Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы. Материалы всероссийской (с международным участием) конференции, Кологрив, 20–21 сентября 2018. Кологрив, Государственный природный заповедник "Кологривский лес" им. М.Г. Синицына: 138–141.

Михалап С.Г., Михайлова К.Б. 2018. Зарастание дельты реки Великой макрофитами на основании данных полевых исследований и ДЗЗ. В кн.: Экологический мониторинг и биоразнообразие. Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Ишим, 25–26 декабря 2018. Ишим, Изд-во ИПИ им. П.П. Ершова (филиала) ТюмГУ: 66–69.

Михалап С.Г., Михайлова К.Б., Дрозденко Т.В. 2018. Современное состояние экосистемы дельты реки Великой и оценка ее аквакультурного потенциала. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, 13: 16–25.

Панюкова Е.В. Тетерюк Б.Ю., Панюков А.А. 2022. Характеристика и продуктивность сообществ гидрофитов малых водохранилищ Европейского Северо-Востока России. Russian Journal of Ecosystem Ecology, 7(1): 22–32. https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-1-3

Папченков В.Г. 2001. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль, ЦМП МУБиНТ, 200 с.

Филоненко И.В., Комарова А.С. 2015. Многолетняя динамика площади зарастания прибрежно-водной растительностью оз. Воже. Принципы экологии, 4(16): 63–72.

Экологический мониторинг дельты реки Великой. 2003. Под ред. О.А. Лебедевой. Псков, ПГПИ, 156 с.

Assegid Y., Naja G., Rivero R.G., Melesse A.M. 2012. Water Quality Monitoring Using Remote Sensing and an Artificial Neural Network. Water Air Soil Pollut, 223: 4875–4887. https://doi.org/10.1007/s11270-012-1243-0

Fedorova I.V., Bolshiyanov D.Y., Makarov A.S. 2015. Geomorphological Evolution and Sedimentation Processes in the Lena River Delta. Earth Cryosphere, 9(1): 3–12.

Gao J., Jia Y., Wang Z. 2020. Multi-Year Water Level Variation and Shoreline Dynamics in Poyang Lake Using Landsat and Hydrological Data. Journal of Hydrology, 589: 125–196.

Giosan L., Syvitski J., Constantinescu S., Day J. 2014. Climate Change: Protect the World's Deltas. Nature, 516: 31–33. https://doi.org/10.1038/516031a

Hestir E.L., Brando V.E., Bresciani M., Giardino C., Matta E., … Dekker A.G. 2015. Measuring Freshwater Aquatic Ecosystems: The Need for a Hyperspectral Global Mapping Satellite Mission. Remote Sensing of Environment, 167: 181–195. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.023

Jaskula J., Sojka M. 2019. Assessing Spectral Indices for Detecting Vegetative Overgrowth of Reservoirs. Polish Journal of Environmental Studies, 28(6): 4199–4211. https://doi.org/10.15244/pjoes/98994

Ju Y., Bohrer G. 2022. Classification of Wetland Vegetation Based on NDVI Time Series from the HLS Dataset. Remote Sensing, 14(9): 2107. https://doi.org/10.3390/rs14092107

Klemas V. 2011. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: an Overview. Journal of Coastal Research, 27(1): 2–17. https://doi.org/10.2307/25790484

Li B., Chen J., Yin Y. 2004. Accretion and Progradation in the Modern Volga Delta, Russia. Quaternary International, 120: 135–144.

Liu Y., Chen Y., Zhang Q. 2021. Integrating UAV and LiDAR Data for Precise Shoreline Extraction of Inland Lakes. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 176: 268–280.

McFeeters S.K. 1996. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 17(7): 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

Mikhailova M.V., Gorbachova L.V. 2019. Modern Evolution of the Danube River Delta Coastline Under Anthropogenic Impact. Water Resources, 46(6): 693–703.

Overeem I., Syvitski J.P.M., Hutton E.W.H. 2003. Quantitative Modeling of River Delta Formation Under Changing Climate and Sea Level. Proceedings of the International Conference on Volga Delta Evolution: 58–74.

Pelckmans L., Temmerman S., Balke T. 2023. Hydrodynamic Drivers of Mangrove Expansion: a Modelling Study in a Tide-Dominated Delta. Natural Hazards and Earth System Sciences, 23: 415–430. https://doi.org/10.5194/nhess-23-415-2023.

Piloyan A. 2023. Assessing Spatio-temporal Changes of Floating Aquatic Vegetation in Lake Sevan Using Landsat Imagery and Vegetation Indices. International Journal of Geoinformatics, 19(11): 1–11. https://doi.org/10.52939/ijg.v19i11.2913

Pirali Zefrehei A.R., Fallah M., Hedayati A. 2021. Applying Remote Sensing Techniques to Changes of Water Body and Aquatic Plants in Anzali International Wetland (1985–2018). Theoretical and Applied Ecolog, 1: 65–72. https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-065-072

Popov A., Makarov A., Sokolov P. 2020. Application of LiDAR-Derived DEMs for Shoreline Change Analysis in Large Lakes. Remote Sensing Letters, 11(2): 185–194.

Richards K., Panin A., Golosov V. 2014. Volga River: a Summary of Morphological Change. Geomorphology, 215: 138–151.

Schmidt K.S., Skidmore A.K. 2003. Spectral Discrimination of Vegetation Types in a Coastal Wetland. Remote Sensing of Environment, 85(1): 92–108. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00196-7

Shang G., Shang Y. 2020. Wetland Vegetation Response to Water Level Fluctuations in the Poyang Lake, China. Ecological Indicators, 110. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105933.

Shiklomanov A., Lammers R., Rawlins M. 2021. Hydrological Reference Datums in Large Arctic Rivers: Approaches and Uncertainties. Hydrology and Earth System Sciences, 25(9): 5003–5019.

Silva T.S.F., Costa M.P.F., Melack J.M., Novo E.M.L.M. 2008. Remote Sensing of Aquatic Vegetation: Theory and Applications. Environmental Monitoring and Assessment, 140: 131–145. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9855-3

Smith J.A., Brown M.E., Jackson C. 2019. Vegetation Response to Minimum Water Levels in the Atchafalaya Delta, USA. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 224: 123–134. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.006.

Tan W., Xing J., Yang S., Yu G., Sun P., Jiang Y. 2020. Long-Term Aquatic Vegetation Dynamics in Longgan lake Using Landsat Time Series and Their Responses to Water Level Fluctuation. Water, 12(8): 2178. https://doi.org/10.3390/w12082178

Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Voukouvalas E., Verlaan M., Jevrejeva S., … Feyen L. 2019. Global Probabilistic Projections of Extreme Sea Levels Show Intensification of Coastal Flood Hazard. Nature Communications, 9: 2360. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w

Xu K., Milliman J.D., Yang Z., Xu H. 2022. Temporal and Spatial Variability of Sediment Discharge in the Yellow River Basin (China): Climate and Human Impact. Global and Planetary Change, 90(3): 231–247. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.02.015.

References

Bondarenko L.G., Kulba S.N., Petrashov V.I., Smirnov S.S., Matveeva E.I., Rudakova N.A. 2021. Assessment of Overgrowth of the Chelbas Group of the Azov Sea Limans with Aquatic Vegetation. Aquatic Bioresources & Environment, 4(4): 14–26 (in Russian). https://doi.org/10.47921/2619-1024_2021_4_4_14

Vlasov B.P., Grishchenkova N.D., Sivenkov A.Yu., Sukhovilo N.Yu., Kolbun D.A. 2019. Assessment of the Current State and Dynamics of the Overgrowing of Lakes in National Park "Narochansky" Using Remote Sensing Data. Acta Geographica Silesiana, 13(4(36)): 39–55 (in Russian).

Danilicheva O.A., Ermakov S.A. 2023. On Biogenic Film Manifestations in Satellite Multispectral Images of Eutrophic Water Bodies. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 20(5): 273–284 (in Russian). https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-273-284

Evdokimov S.I., Mikhalap S.G. 2014. Differentsiatsiya vremen goda po srednemesyachnym pokazatelyam temperatur [Differentiation of Seasons According to Monthly Average Temperatures]. In: Problemy ustoychivosti ekologo-khozyaystvennykh i sotsialno-kulturnykh sistem transgranichnykh regionov [Problems of Sustainability of Ecological, Economic and Socio-Cultural Systems of Cross-Border Regions]. Proceedings of the international scientific and practical conference, Pskov, 20–21 November 2014. Pskov, Pabl. LOGOS Plus: 173–176.

Komarova A.F., Zhuravleva I.V., Yablokov V.M. 2016. Open-Source Multispectral Remote Sensing Data for the Investigation of Plant Communities. Principles of the Ecology, 1(17): 42–80 (in Russian).

Kochetkova A.I., Bryzgalina E.S., Filippov O.V., Baranova M.S. 2022. Dynamics of Overgrowth of the Volgograd Reservoir (1972-2018). Principles of the Ecology, 1(43): 68–73 (in Russian). https://doi.org/10.15393/j1.art.2022.10002

Kutyavina T.I., Rutman V.V., Ashikhmina T.Ya. 2024. Evaluation of the Dynamics of Overgrowth of Higher Aquatic Plants in the Water Area of an Eutrophic Reservoir Using Satellite Images. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 21(1): 299–307 (in Russian). https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-1-299-307

Latyshev S.E. 2013. Izmeneniye fitomassy trostnika obyknovennogo v techeniye vegetatsionnogo sezona v raznotipnykh ozerakh Belorusskogo Poozeria [Changes in the Phytomass of Common Reed During the Growing Season in Different Types of Lakes in the Belorussian Poozerye]. In: Nauka – obrazovaniyu. proizvodstvu. ekonomike [Science for Education, Production, and the Economy]. Materials of the XVIII (65) Regional Scientific and Practical Conference of Teachers and Researchers. Proceedings of the Conference of Employees and Postgraduate Students, Vitebsk, 13–14 March 2013. Vitebsk, Pabl. Vitebsk State University named after P.M. Masherov: 97–100.

Lebedeva O.A. 2006. Ekosistema delty reki Velikoy i eye vliyaniye na Pskovsko-Chudskoye ozero [The Velikaya River Delta Ecosystem and Its Impact on Lake Peipus]. Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal, 1: 107–121.

Mikhalap S.G. 2018. Researching of Overgrowth Dynamics of the Velikaya River Delta. In: The Contribution of Specially Protected Natural Areas to Regional Environmental Sustainability: Current Status and Prospects. Proceedings of the All-Russian (with International Participation) Conference, Kologriv, 20–21 September 2018. Kologriv, Pabl. Gosudarstvennyy prirodnyy zapovednik "Kologrivskiy les" im. M.G. Sinitsyna: 138–141 (in Russian).

Mikhalap S.G., Mikhailova K.B. 2018. Overgrowing of the Delta of the River Velikaya by Macrophites on the Basis of Data of Field Research and Radar Imaging of the Earth. In: Environmental Monitoring and Biodiversity. Proceedings of the All-Russian (with International Participation) Scientific and Practical Conference, Ishim, 25–26 December 2018. Ishim, Pabl. IPI im. P.P. Ershova (filiala) TyumGU: 66–69 (in Russian).

Mikhalap S.G., Mikhaiova K.B., Drozdenko T.V. 2018. The Present State of the Velikaya River Delta and Assessment of Its Aquacultural Potential. Bulletin of the Pskov State University. Series “Natural and physical and mathematical sciences”, 13: 16–25 (in Russian).

Panyukova E.V. Teteruk B.Yu., Panyukov A.A. 2022. Characteristics and Productivity of Hydrophite Communities of Small Reservoirs of the European North-East of Russia. Russian Journal of Ecosystem Ecology, 7(1): 22–32 (in Russian). https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-1-3

Papchenkov V.G. 2001. Rastitelnyy pokrov vodoyemov i vodotokov Srednego Povolzhia [Vegetation Cover of Reservoirs and Watercourses of the Middle Volga Region]. Yaroslavl, Pabl. TsMP MUBiNT, 200p.

Filonenko I.V., Komarova A.S. 2015. Long-Term Dynamics of Overgrowing Area with Coastal Aquatic Vegetationin in the Lake Vozhe. Principles of the Ecology, 4(16): 63–72 (in Russian).

Ekologicheskiy monitoring delty reki Velikoy [Environmental Monitoring of the Velikaya River Delta]. 2003. Ed. by O.A. Lebedeva. Pskov, Pabl. PGPI, 156 p.

Assegid Y., Naja G., Rivero R.G., Melesse A.M. 2012. Water Quality Monitoring Using Remote Sensing and an Artificial Neural Network. Water Air Soil Pollut, 223: 4875–4887. https://doi.org/10.1007/s11270-012-1243-0

Fedorova I.V., Bolshiyanov D.Y., Makarov A.S. 2015. Geomorphological Evolution and Sedimentation Processes in the Lena River Delta. Earth Cryosphere, 9(1): 3–12.

Gao J., Jia Y., Wang Z. 2020. Multi-Year Water Level Variation and Shoreline Dynamics in Poyang Lake Using Landsat and Hydrological Data. Journal of Hydrology, 589: 125–196.

Giosan L., Syvitski J., Constantinescu S., Day J. 2014. Climate Change: Protect the World's Deltas. Nature, 516: 31–33. https://doi.org/10.1038/516031a

Hestir E.L., Brando V.E., Bresciani M., Giardino C., Matta E., … Dekker A.G. 2015. Measuring Freshwater Aquatic Ecosystems: The Need for a Hyperspectral Global Mapping Satellite Mission. Remote Sensing of Environment, 167: 181–195. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.023

Jaskula J., Sojka M. 2019. Assessing Spectral Indices for Detecting Vegetative Overgrowth of Reservoirs. Polish Journal of Environmental Studies, 28(6): 4199–4211. https://doi.org/10.15244/pjoes/98994

Ju Y., Bohrer G. 2022. Classification of Wetland Vegetation Based on NDVI Time Series from the HLS Dataset. Remote Sensing, 14(9): 2107. https://doi.org/10.3390/rs14092107

Klemas V. 2011. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: an Overview. Journal of Coastal Research, 27(1): 2–17. https://doi.org/10.2307/25790484

Li B., Chen J., Yin Y. 2004. Accretion and Progradation in the Modern Volga Delta, Russia. Quaternary International, 120: 135–144.

Liu Y., Chen Y., Zhang Q. 2021. Integrating UAV and LiDAR Data for Precise Shoreline Extraction of Inland Lakes. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 176: 268–280.

McFeeters S.K. 1996. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 17(7): 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

Mikhailova M.V., Gorbachova L.V. 2019. Modern Evolution of the Danube River Delta Coastline Under Anthropogenic Impact. Water Resources, 46(6): 693–703.

Overeem I., Syvitski J.P.M., Hutton E.W.H. 2003. Quantitative Modeling of River Delta Formation Under Changing Climate and Sea Level. Proceedings of the International Conference on Volga Delta Evolution: 58–74.

Pelckmans L., Temmerman S., Balke T. 2023. Hydrodynamic Drivers of Mangrove Expansion: a Modelling Study in a Tide-Dominated Delta. Natural Hazards and Earth System Sciences, 23: 415–430. https://doi.org/10.5194/nhess-23-415-2023.

Piloyan A. 2023. Assessing Spatio-temporal Changes of Floating Aquatic Vegetation in Lake Sevan Using Landsat Imagery and Vegetation Indices. International Journal of Geoinformatics, 19(11): 1–11. https://doi.org/10.52939/ijg.v19i11.2913

Pirali Zefrehei A.R., Fallah M., Hedayati A. 2021. Applying Remote Sensing Techniques to Changes of Water Body and Aquatic Plants in Anzali International Wetland (1985–2018). Theoretical and Applied Ecolog, 1: 65–72. https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-065-072

Popov A., Makarov A., Sokolov P. 2020. Application of LiDAR-Derived DEMs for Shoreline Change Analysis in Large Lakes. Remote Sensing Letters, 11(2): 185–194.

Richards K., Panin A., Golosov V. 2014. Volga River: a Summary of Morphological Change. Geomorphology, 215: 138–151.

Schmidt K.S., Skidmore A.K. 2003. Spectral Discrimination of Vegetation Types in a Coastal Wetland. Remote Sensing of Environment, 85(1): 92–108. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00196-7

Shang G., Shang Y. 2020. Wetland Vegetation Response to Water Level Fluctuations in the Poyang Lake, China. Ecological Indicators, 110. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105933.

Shiklomanov A., Lammers R., Rawlins M. 2021. Hydrological Reference Datums in Large Arctic Rivers: Approaches and Uncertainties. Hydrology and Earth System Sciences, 25(9): 5003–5019.

Silva T.S.F., Costa M.P.F., Melack J.M., Novo E.M.L.M. 2008. Remote Sensing of Aquatic Vegetation: Theory and Applications. Environmental Monitoring and Assessment, 140: 131–145. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9855-3

Smith J.A., Brown M.E., Jackson C. 2019. Vegetation Response to Minimum Water Levels in the Atchafalaya Delta, USA. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 224: 123–134. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.006.

Tan W., Xing J., Yang S., Yu G., Sun P., Jiang Y. 2020. Long-Term Aquatic Vegetation Dynamics in Longgan lake Using Landsat Time Series and Their Responses to Water Level Fluctuation. Water, 12(8): 2178. https://doi.org/10.3390/w12082178

Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Voukouvalas E., Verlaan M., Jevrejeva S., … Feyen L. 2019. Global Probabilistic Projections of Extreme Sea Levels Show Intensification of Coastal Flood Hazard. Nature Communications, 9: 2360. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w

Xu K., Milliman J.D., Yang Z., Xu H. 2022. Temporal and Spatial Variability of Sediment Discharge in the Yellow River Basin (China): Climate and Human Impact. Global and Planetary Change, 90(3): 231–247. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.02.015.

Поступила в редакцию 01.10.2025;
поступила после рецензирования 17.11.2025;
принята к публикации 08.12.2025

Received October 01, 2025;
Revised November 17, 2025;
Accepted December 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 АВТОРАХ

Евдокимов Сергей Игоревич, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, Псковский государственный университет, г. Псков, Россия

Штефуряк Алина Викторовна, специалист лаборатории водных биоресурсов, Псковский филиал ФГБНУ ГНЦ РФ «ВНИРО» («ПсковНИРО»), г.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey I. Evdokimov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Pskov State University, Pskov, Russia

Alina V. Shtefuryak, Specialist of the Laboratory of Aquatic Bioresources, Pskov Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the National Research Center of the Russian Federation VNIRO

Псков, Россия (PskovNIRO), Pskov, Russia

УДК 502.4, 502.56
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260
EDN GATHVN

Остров Ольхон: от антропогенного освоения до формирования режима особо охраняемой природной территории

[1,2]Соловьева Е.Н., [1]Калихман А.Д.
[1]ФГБУ «Заповедное Прибайкалье»,
Россия, 664050, г. Иркутск, ул. Байкальская, 291Б
[2]Институт земной коры СО РАН,
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
soloveva@baikal-1.ru

Аннотация. В статье проанализировано хозяйственное освоение острова Ольхон за более чем девяностолетний период, начиная с земледелия и разведения скота, заканчивая проведением геологических исследований, добычей полезных ископаемых и формированием особо охраняемой природной территории. Исследование построено на основе архивных материалов, нормативно-правовых актов, а также научных исследований авторов разных областей знаний от исторических до ботанических и геохимических. Результаты исследований показали, что наибольшее антропогенное влияние на экосистемы острова наблюдалось в советский период, а именно с началом активной деятельности совхоза «Ольхонский» с 1969 по 1985 гг. В сельскохозяйственном секторе было задействовано 9 тыс. га земель, из которых 24,5 % находились под распашкой и заготовкой сена, другие же (75,5 %) использовались под выпас скота, поголовье которого к 80-м гг. располагало более чем 8 тыс. голов. Изменение статуса территории значительно снизило антропогенное воздействие на экосистемы острова Ольхон, пастбищная нагрузка сократилась в 20 раз, введен полный запрет использования пестицидов, полностью прекратилась распашка земель за пределами населенных пунктов. В настоящее время источником воздействия на экосистемы острова является туристско-рекреационная деятельность, проявляющаяся в виде вытаптывания растительно-почвенного покрова на объектах туристического интереса, расширение сети несанкционированных дорог, проблем обращения с отходами.

Ключевые слова: сельское хозяйство, пастбища, индустриализация, законодательство ООПТ, разведка месторождений, остров Ольхон

Для цитирования: Соловьева Е.Н., Калихман А.Д. 2026. Остров Ольхон: от антропогенного освоения до формирования режима особо охраняемой природной территории. Региональные геосистемы, 50(2): 245–260. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260 EDN: GATHVN

Olkhon Island: from Anthropogenic Development to the Formation of a Specially Protected Natural Area Regime

[1,2] **Ekaterina N. Solovyova,** [1]**Arkady D. Kalikhman**
[1]Federal State Budgetary Institution "Zapovednoe Pribaikalie"
291B Baikalskaya St., Irkutsk, 664050, Russia
[2]Institute of the Earth`s Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia
soloveva@baikal-1.ru

© Соловьева Е.Н., Калихман А.Д., 2026

Abstract. The article analyzes the economic development of Olkhon Island over a period of more than ninety years, starting with agriculture and cattle breeding, ending with geological research, mining and the formation of a specially protected natural area. The research is based on archival materials, regulatory legal acts, as well as scientific research by authors representing various fields of knowledge, from historical to botanical and geochemical ones. According to the research findings, the island's ecosystems underwent the greatest anthropogenic impact in the Soviet time, during the operation of the Olkhonsky state farm from 1969 to 1985. The agricultural sector involved nine thousand hectares of land, of which 24.5% were under plowing and hay harvesting, while the other part (75.5%) was used for grazing livestock exceeding eight thousand heads by the 1980s. The change in the status of the territory has significantly reduced the anthropogenic impact on the ecosystems of Olkhon Island, the pasture load has been decreased 20 times, a complete ban on the use of pesticides has been introduced, and land plowing outside settlements has been completely ceased. Currently, the sources of impact on the island's ecosystems include tourist and recreational activities, which manifest themselves in the form of trampling vegetation and soil cover on objects of tourist interest, the expansion of the network of unauthorized roads, and the problem of waste management.

Keywords: agriculture, pastures, industrialization, SPNA legislation, exploration, Olkhon Island

For citation: Solovyeva E.N., Kalikhman A.D. 2026 Olkhon Island: from Anthropogenic Development to the Formation of a Specially Protected Natural Area Regime. Regional Geosystems, 50(2): 245–260 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260 EDN: GATHVN

Введение

Первое упоминание о хозяйственной деятельности на острове Ольхон встречается у писателя-краеведа из Иркутска Н.С.Щукина, опубликовавшего в 1852 г. в журнале «Сын отечества» статью об острове Ольхон. В работе «Поездка на остров Ольхон» он отразил сведения о скотоводстве, звероловстве, рыбном промысле и земледелии, привел ботанические описания острова [Щукин, 1852].

Спустя почти полвека подробнее о культуре и быте острова Ольхон написал этнограф П.Е. Кулаков. В 1898 г. он детально описал об острове Ольхон в журнале «Ольхон. Хозяйство и быт бурят Еланцинского и Кутульского ведомств Верхоленского округа Иркутской губернии» [Кулаков, 1898]. В статье он представил краткий географический обзор территории, сведения о населении (быт, вероисповедание, грамота…), о земледелии (попытках его развития, распределения земель, сведении лесов под распашку, урожайности хлебных растений и т.д.) и многом другом. Согласно его записям, земледелие не было развито, как и скотоводство. Промысловая деятельность (рыболовство и звероловство) была в упадке. По исследованиям ботаника Н.К. Тихомирова за 1927 г. известно, что уже к тому времени на степных склонах острова имелись следы влияния скота [Тихомиров, 1927, с. 12]: «*Почва покрыта дресвой, остатками растений и муравьиными кучками. Видны следы скота*», «*На состояние травяного покрова оказывает свое губительное влияние скот, количество которого в настоящее время достигает на острове до 20 тысяч голов. Вследствие этого, ольхонские степные склоны представляют из себя сплошной выгон*» и т.д. В 1982 г. краткие заметки о сенокосах и пастбищах на острове сделал Н.И. Литвинов [1982].

Сравнительно недавно тема кратко затрагивалась в ряде исследований [Матяшенко, 2012; Калихман Т.П., Калихман А.Д., 2017; Калихман и др., 2017; Винобер, 2019]. Хоть масштабное скотоводство отсутствует уже более 30 лет, имеющееся поголовье и его нерегулируемый выпас продолжает оказывать влияние на сохранности

отдельных видов флоры и состояние почв. Эту проблему рассматривала Е.А. Пономаренко с соавторами, которые частично проанализировали хозяйственную историю острова Ольхон, сравнив поголовье советского периода и современного, а также оценили современную пастбищную нагрузку на почвенный покров степных ландшафтов острова Ольхон, отразив низкую противоэрозионную устойчивость почв [Пономаренко, Коломина, 2020; Пономаренко, Рябинина, 2024].

В статье впервые предпринята попытка обобщения результатов изучения хозяйственного освоения острова Ольхон, связанных анализом последствий антропогенных воздействий. Целью исследования является определение произошедшей в период 1932–2024 гг. трансформации земель различного назначения, картографического представления распределения земель сельскохозяйственного назначения, составление современной характеристики использования территории острова Ольхон в составе Прибайкальского национального парка.

Объекты и методы исследования

В работе проанализированы данные, охватывающие период с 1932 по 2024 гг.: история развития острова Ольхон строилась на ряде материалов, в частности научной статье [Калихман Т.П., Калихман А.Д., 2017], а также с использованием материалов сайта электронного каталога «Государственного бюджетного учреждения культуры Иркутской областной государственной универсальной научной библиотеки им. И.И. Молчанова-Сибирского» и архивных материалов ФГБУ «Заповедное Прибайкалье».

Основными документами для исследования выступил том 6 «ВОСТСИБГИПРОЗЕМ» Сельское хозяйство Прибайкальского государственного природного национального парка [ГОСАГРОПРОМ…, 1989] и «План земель совхоза Ольхонский, пгт. Хужир» (план земель) [ВИСХАГИ…, 1989].

Законодательная часть проанализирована посредством нормативно-правовых актов касающихся функционирования особо охраняемых природных территорий России как советского периода так современного [Об утверждении типовых …, 1981; Положение о национальных …, 1993; РСФСР Государственный комитет…, 1989].

Информация по поголовью скота за 1987 г. взята из тома 3 ЛЕНГИПРОГОР. Архитектурно-планировочное решение и рекреационное использование территории Прибайкальского государственного природного национального парка [РСФСР Государственный комитет…, 1989], дополнена сведениями с 1995 по 2023 гг., предоставленными Министерством сельского хозяйства Иркутской области.

Оценка продуктивности почв острова Ольхон и их экологическое состояние по результатам ведения сельскохозяйственной деятельности с применением минеральных удобрений анализировалась посредством данных из тома 6 [ГОСАГРОПРОМ…, 1989] и результатам исследований элементного состава органического вещества, в том числе и на острове Ольхон [Тарасова и др., 2012].

Хронология ключевых событий острова с 1857–2023 гг. собрана из архивных материалов ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», научно-популярного очерка [Калихман и др., 2017], открытых источников сети интернет, а также электронной системы выдачи разрешений ФГБУ «Заповедное Прибайкалье».

Работа дополнена фотографиями острова Ольхон (1965–1980 гг.), которые взяты из электронного архива Иркутской областной государственной универсальной научной библиотеки им. И.И. Молчанова-Сибирского.

Результаты и их обсуждение

Остров Ольхон – самый крупный остров в акватории озера Байкал, его площадь составляет 68744 га, отделен от западного побережья проливом Малое Море, являясь обособленным ответвлением Приморского хребта. Сложен остров из различных гнейсов, амфиболитов, кристаллических известняков, а также гранитами, рыхлыми песчаниками.

Климат исследуемой территории континентальный, сухой, смягчаемый в теплое время близостью водных масс Байкала. Температуры января меняются по территории от –18,3 до –19,9 °С; а июля – от 10,9 до 15,9 °С. Продолжительность безморозного периода составляет 99–124 дня. Осенние заморозки наступают значительно позже, чем в других районах области. Распределение атмосферных осадков крайне неравномерно. В пределах рассматриваемой территории выпадает рекордно малое количество осадков (от 213 до 370 мм в год) из-за чего почва испытывает дефицит увлажнения, а в осенне-зимний период подвержена быстрому и глубокому проникновению низких температур. Максимум приходится на июль-август. Особым обстоятельством для функционирования компонентов островных биоценозов является проявление сильной ветровой деятельности, особенно в южной части. Ветра способствуют высокой испаряемости влаги из почвы, лишают ее снегового покрова и повреждают вегетационные органы растений [Биоценозы островов пролива …, 1987; Беркин и др., 1993].

Гидрологическая сеть острова Ольхон весьма редкая вследствие скудного атмосферного увлажнения, постоянные водотоки отсутствуют, за исключением редких ключей [Беркин и др., 1993].

Почвенный покров острова представлен каштановыми и черноземными почвами на делювиальных отложениях, также частично озерных и аллювиальных [Пеллинен, 2018; Калихман, Богданов, 2021], не отличается мощностью. Вследствие малого количества годовых осадков, малой сети водотоков, озер, высоким значениям солнечной радиации, территория имеет скудное увлажнение, что отражается на формировании растительно-почвенного покрова. Большая часть территории покрыта растительностью степных ландшафтов, которую представляют типчаково-тонконоговые, мятликово-типчаковые, вострецово-типчаковые, ковыльно-житняковые сообщества. Продолжительность вегетационного периода: 125–130 дней.

Индустриализация

Промышленное и хозяйственное развитие острова Ольхон началось во второй половине XIX века, в 1863 г. построен стеклоплавильный завод «Николаевский». Основным видом деятельности населения была рыбная ловля и скотоводство. К 1898 году предприняты первые попытки развития сельского хозяйства, о котором ссыльный народник П.Е. Кулаков писал, как о зачаточном [1898]. Мешали сельскохозяйственному развитию в первую очередь природно-климатические условия. Населению приходилось прибегать к искусственному орошению территории и удобрению земель.

Периферийные рыбоприемные пункты на острове появились в 1932 году: один в улусе Семисосенный, другой – в поселке Хужир (рис. 1). Высокие объемы улова (4000 центнеров) требовали большего количества рабочих, которых вербовали посезонно, были и те, кто переезжал на остров с семьями на постоянную основу.



Рис. 1. Рыбный промысел острова Ольхон в фотографиях, фото Э.Д. Брюханенко, Иркутское региональное отделение Всероссийской политической партии «ЕДИНАЯ РОССИЯ»
1 – мол хужирских рыбаков, 1970 г.; 2 – улов омуля, 1965 г. [Хроники Приангарья …, 2025]
Fig. 1. Olkhon Island fishing in photos, photo by E.D. Bryukhanenko, Irkutsk regional branch of the All-Russian Political Party "UNITED RUSSIA",
1 – pier of Khuzhir fishermen, 1970; 2 – catch of omul, 1965 [Khroniki Priangaria …, 2025]

К концу 1932 года на острове были созданы колхозы «Улан-Хушин», «Зем. реформа», «10 лет БурЦИКа», рыбная артель «Улан Ольхон». Эти колхозы, как и появившиеся позже «Победа» в Хадае, «Кирова» в Семисоснах, колхоз им. Микояна в Харанцах, практически все годы до конца своего существования, пришедшего с концом советской власти, оставались убыточными и дотационными.

Начиная с 1932 года организации Гослов – Маломорский госпромыселрыбзавод и Рыбтрест в бухте Загли в береговой зоне улуса Ташкай выстроили причал рыбоприемного пункта, цеха с оборудованием для засолки, копчения и затаривания рыбы.

Цеха рыбоприемного пункта в Хужирском заливе построили в 1937 году, севернее улуса Хужир, из у. Ташкай перенесли контору Гослова. Одновременно в 1937 году в урочище Песчаная на берегу залива Нюрганская Губа была организована исправительно-трудовая колония, где заключенные занимались ловом и переработкой рыбы. В 1938 году началось строительство поселка Хужир, в тот же год Гослов был переименован в Маломорский рыбзавод. Рыбзавод в послевоенный период располагал несколькими цехами по переработке рыбы. В 60-х годах вблизи мыса Бурхан появилась база горюче-смазочных материалов и топливопровод к причалу в заливе. В то время рыбзавод уже располагал вспомогательными производствами: кирпичным, строительным и жестяным цехами [Калихман и др. 2017].

Совхоз «Ольхонский» появился в 1969 году, сменив колхоз «Байкал» (основанный в 60-е годы). Одним из его производственных объектов был молокоперерабатывающий цех в Хужире. К 1972 году в результате индустриализации численность населения острова достигла 1933 человек, причем большинство было сосредоточено в поселке Хужир; на тот момент здесь насчитывалось 17 населенных пунктов. Однако к 1979 году демографическая ситуация изменилась – количество жителей уменьшилось до 1468 человек [ГОСАГРОПРОМ…, 1989]. Из-за режима территории в 90-е годы совхоз практически перестал осуществлять работу, а в 2020 г. организацию ликвидировали. На рис. 2 представлена хронология наиболее значимых событий, поспособствовавших изменению состояния природных комплексов острова Ольхон.

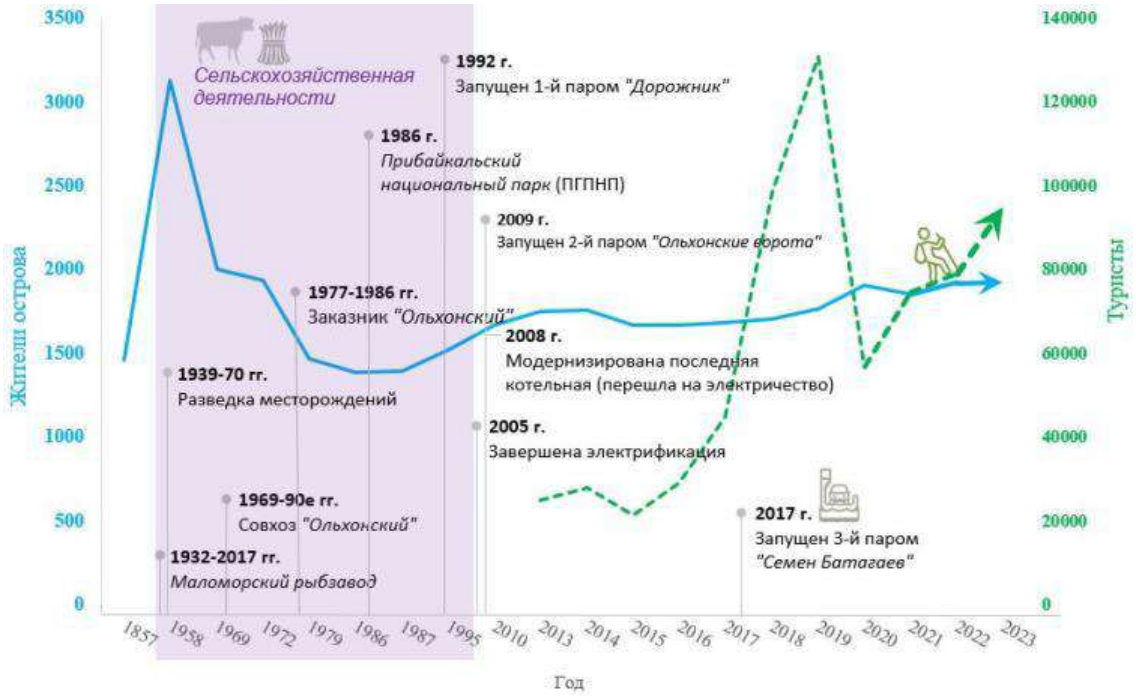


Рис. 2. Число жителей и туристов, ключевые события острова Ольхон, 1857–2023 гг.
1857 г. – сведения по количеству жителей на острове по данным Н.К. Тихомирова [1927],
1958 – 2023 гг. – данные А.Д. Калихмана с соавторами [2017],
из тома 6 [ГОСАГРОПРОМ…, 1989], наши данные
Fig. 2. Number of inhabitants and tourists, key events of Olkhon Island, 1857–2023
1857 – information on the number of inhabitants on the island according to N.K. Tikhomirov [1927],
1958–2023 – data by A.D. Kalikhman and co-authors [2017],
from Volume 6 [GOSAGROPROM..., 1989], our data

Следует отметить, что туристы начали проявлять активный интерес к острову в 80-х годах, однако из-за отсутствия статистических данных на рис. 2 представлена динамика, начиная с 2013 года.

В свою очередь, наиболее активное развитие острова пришлось на 1932–1972 гг., а после включения всего острова в границы Прибайкальского государственного природного национального парка (ПГПНП) (1986 г.) хозяйственное развитие прекратилось и начался новый этап – развитие туристско-рекреационной деятельности.

Разведка месторождений

Индустриализация СССР в 1929–1941 гг. потребовала масштабного изучения минерально-сырьевой базы страны, и остров Ольхон стал одним из объектов таких исследований. Основной этап геологоразведочных работ на острове пришелся на 1939–1970 гг. Первые изыскания начались в 1939–1941 гг. с разведки месторождений марганца. В 1948 году Сосновская экспедиция провела оценку урагоносности ольхонских пегматитов, давшую отрицательные результаты, параллельно изучались пегматитовые жилы. С 1948 по 1958 год велись активные поиски новых месторождений марганца, титана (в виде ильменита и рутила), в ходе которых был установлен потенциал железомарганцевых руд.

Важным этапом стало проведение в 1953 году геологической съемки масштаба 1 : 200 000 под руководством В.Д. Маца, охватившей юго-восточную половину острова и выявившей повышенное содержание титановых минералов в шлиховых пробах. Два года спустя, в 1955 году А.Ф. Китайник провел перспективную оценку россыпей в северо-западной части Ольхона, изучая месторождения ильменита, рутила и циркона, а также ведя поиски коренных

источников титана и марганца в архейских породах. Эти исследования привели к выводу о непромышленном характере обнаруженных месторождений [Пеллинен, 2018].

Параллельно, в 1950–1967 гг., Маломорский рыбзавод разрабатывал месторождение легкоплавких глин и суглинков для производства строительного кирпича, добыв 131 тыс. м^3 сырья [Винокуров, Суходолов, 2002]. К 1988 году запасы этих глин у северо-восточной окраины поселка Хужир оценивались всего в 0,1 тыс. м³ и не эксплуатировались [РСФСР Государственный комитет…, 1989]. В 1964 году на Халагайском поле проводились безуспешные поиски палеоген-неогеновых бокситов. Завершающий этап исследований пришелся на 1969–1970 гг., когда проводилась комплексная геологическая съемка с поиском месторождений шеелита, голубого корунда, пегматитов и графита, а также были составлены детальные геологические, геоморфологические и геохимические карты масштаба 1 : 50 000.

Несмотря на интенсивные и многолетние исследования, большинство выявленных на Ольхоне месторождений оказались нерентабельными для промышленной разработки. Исключение составили лишь глины для кирпичного производства, добывавшиеся ограниченный период времени. Тем не менее, проведенные работы позволили составить подробную картину геологического строения острова и его минерагенического потенциала.

После учреждения в 1986 году ПГПНП был введен режим, который приостановил любую промышленную деятельность, способную нарушить целостность экосистем острова Ольхон. В 2020 году Правительством Российской Федерации было принято Постановление № 2399 от 31 декабря 2020 года «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» [2020], которое полностью запретило разведку и разработку новых месторождений полезных ископаемых в пределах центральной экологической зоны.

Природоохранное законодательство

Природоохранная история острова Ольхон началась во второй половине XX века. В 1977 года на острове Ольхон был создан государственный заказник местного значения «Ольхонский» (рис. 3), который в 1984 г. получил статус государственного республиканского зоологического заказника «Ольхонский» [Об утверждении Положений …,1982]. Заказник «Ольхонский» был организован с целью сохранения, воспроизводства и восстановления диких животных, среды их обитания и поддержания целостности естественных сообществ. К 1984 г. площадь заказника составляла 20102 га (95,7 % занимали леса естественного происхождения) [Об утверждении Положений …,1982]. В 1986 году Постановлением Совета Министров от 13 февраля 1986 г. № 71 был создан ПГПНП, в состав которого вошел весь остров Ольхон, что повлияло на всю хозяйственную деятельность острова. Деятельность ПГПНП регулировалась Постановлением № 77/106 от 27 апреля 1981 г. [Об утверждении типовых …, 1981].

После распада СССР и образования Российской Федерации, началось усовершенствование законодательства. Так, например, 10 августа 1993 г. было утверждено Постановление № 769 «Об утверждении Положения о национальных природных парках Российской Федерации» [Положение о национальных …, 1993], расширившее требования по функционированию территорий в сравнении с действовавшими в соответствии с Постановлением № 77/106 [Об утверждении типовых …, 1981]. А 15 февраля 1995 года Государственной Думой был принят Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях», в соответствии с которым для каждого вида ООПТ закрепилось типовое Положение. В Прибайкальском НП Положение было утверждено Департаментом Минприроды России в 1997 году и менялось в течение 12 лет 3 раза. Рассматривая изменения, произошедшие в отношении положений за 16 лет (1981–1997 гг.) заметно значительное расширение требований к режиму ООПТ.

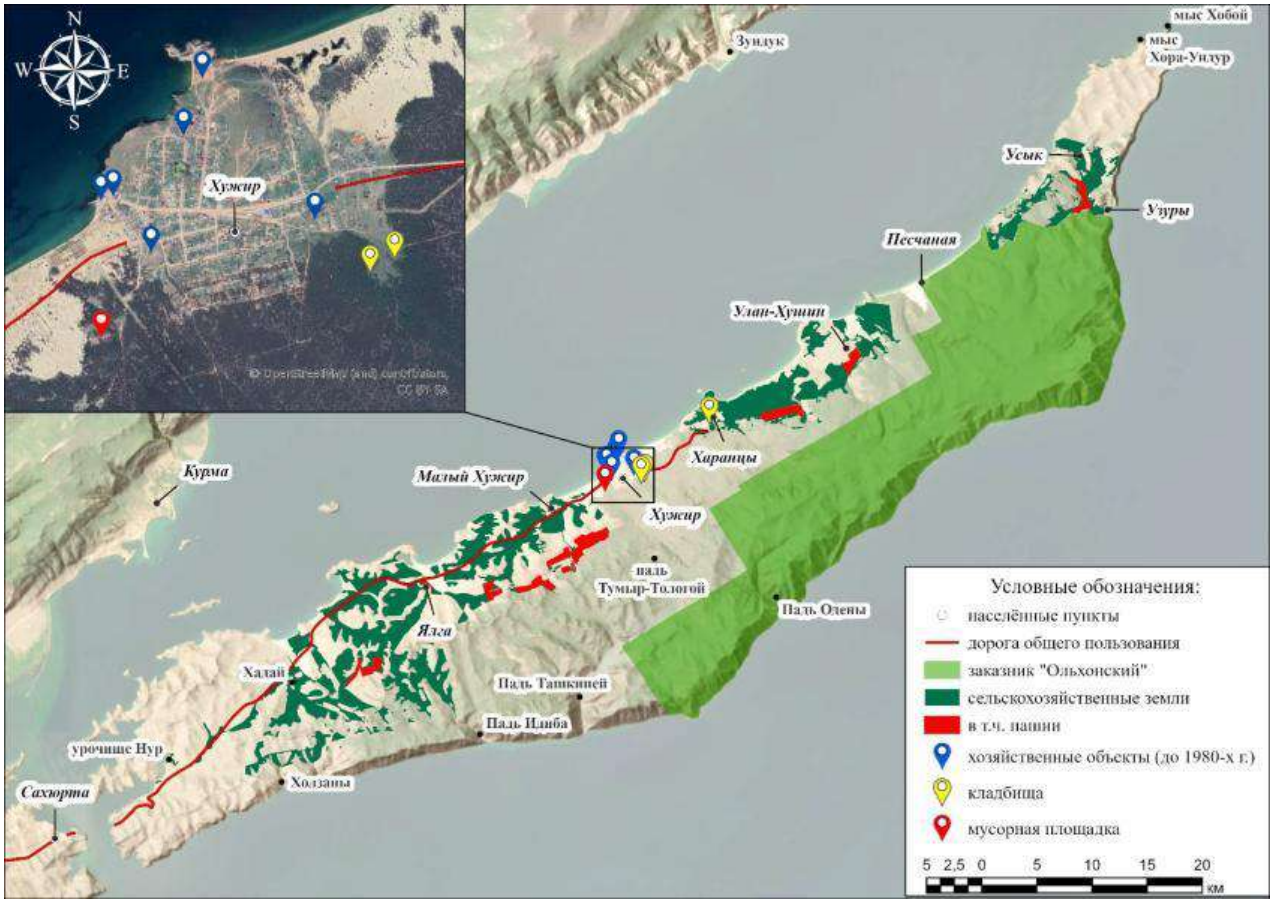


Рис. 3. Картосхема распределения использования земель острова Ольхон в начале 1980-х гг. [ГОСАГРОПРОМ…, 1989; ВИСХАГИ…, 1989; Главохота…, 1986]
Fig. 3. Cartography of the distribution of land use on Olkhon Island in the early 1980s [GOSAGROPROM..., 1989; VISHAGI..., 1989; Glavokhota..., 1986]

С точки зрения оценки геохимического состояния почв острова Ольхон до 1984 г. при развитии хозяйственной деятельности допускалось использование пестицидов (ДДТ, ГХЦГ) вне ООПТ [Об утверждении Положений …,1982; Главохота…, 1986] на остальных же землях удобрения использовали до 1985 г. Согласно тому 6 имелись удобрения, содержащие следующие элементы: *N–азот, P–фосфор, K–калий* [ГОСАГРОПРОМ…, 1989]. К 1997 г. в положение ФГУ «Прибайкальского национального парка» включен запрет на использование ядохимикатов (к ним относятся пестициды, минеральные удобрения). Отсюда следует, что негативное химическое воздействие на состояние почв прекратилось к 1997 г., но накопившиеся вредные вещества продолжают влиять на состав почв (см. рис. 3) [Пеллинен и др., 2019; Cherkashina, Pellinen, 2020].

Земледелие

С начала 30-х годов на острове располагалось несколько колхозов, но в 1969 г. в рамках огосударствления земли сельхозназначения перешли в подчинение совхоза «Ольхонский» [ГОСАГРОПРОМ…, 1989], который активно развивал сельскохозяйственный сектор. По данным тома 6 [ГОСАГРОПРОМ…, 1989], на 1987 г. в совхозе «Ольхонский» площадь сельскохозяйственных угодий составляла 9 тыс. га земель, из них часть относились к пашням, сенокосам, пастбищам. К 1993 г. разработали и предложили проект по: «*…разграничению и дальнейшему использованию земель, находящихся в постоянном пользовании хозяйства*», которые передавались: «*…гражданам в частную и коллективно-*

долевую собственность бесплатно, в аренду и в аренду с правом выкупа» [ВИСХАГИ…, 1989, с. 6], план разрабатывал ВИСХАГИ, их «Проект землеустройства (перераспределения земель) реорганизуемого совхоза «Ольхонский» Ольхонского района Иркутской области» строился в том числе и на материалах внутрихозяйственной оценки земель ВОСТСИБНИИГИПРОЗЕМ [ГОСАГРОПРОМ…, 1989]. Площади сельскохозяйственных земель в проекте остались прежними (9 тыс. га).

Основными посевными культурами в то время были зерновые (ячмень, овес): площадь посева – 100 га (1987 г.), а также овощи, картофель, площадь посева для каждого 2 га (1987 г.). Данные по посевным культурам отражены согласно тому, как указано в документе [ГОСАГРОПРОМ…, 1989]. Для оценки эксплуатируемых земель на карту (см. рис. 3) нанесены границы сельскохозяйственных земель (пашни, сенокосы, пастбища), которые были картографированы в 1993 году и отражены в плане землепользования [ГОСАГРОПРОМ…, 1989].

Для пашен почвы острова Ольхон были и остаются не самыми продуктивными. Особенностью их является короткий профиль, малогумусность, легкий гранулометрический состав, слабая степень увлажнения вследствие недостаточного количества осадков, высокая водопроницаемость, сильная щебнистость и низкое содержание основных элементов питания. Недостаток атмосферного увлажнения способствовал созданию на острове системы искусственного орошения. Источниками полива служили 27 скважин, санитарных зон скважины не имели. В 1989 г. площадь оросительной системы была незначительна и занимала 138 га или 1,5 % от площади с/х земель [ГОСАГРОПРОМ…, 1989].

Для высокой продуктивности посевных культур в совхозе «Ольхонский» прибегали к минеральным удобрениям (содержащим *N*–азот, *P*–фосфор), а также пестицидам (ДДТ, ГХЦГ). Необходимость этого связана с тем, что содержание элементного состава органического вещества почвенного покрова острова Ольхон минимально: *N* – 0,1 %, *P* – 0,004 % [Тарасова и др., 2012].

Химизация сельского хозяйства регламентировалась Решениями управления сельского хозяйства Иркутского облисполкома от 29.02.1984 г. № 11 и 26.12.1984 г. № 3 [РСФСР Государственный комитет…, 1989]. Пестициды использовали до 1984 г., вносили их локально. Удобрения же продолжали применять, в 1985 г. в совхозе «Ольхонский» было использовано 41 тонна удобрений (*N* – 38 тонн, *P* – 3 тонн), в совхозах «Еланцинский» и «Куретский» также использовали калийные удобрения (*K*). Хранение и транспортировка удобрений не всегда соблюдалась, порой их хранили навалом, часто в перемешанном состоянии [ГОСАГРОПРОМ…, 1989].

В 2018 г. в п. Харанцы найдены агрохимикаты на площади 191 м^2. Результаты проб почв показали содержание азотных удобрений, категория загрязнения почвы – чрезвычайно опасная, содержание нитратов (2 класс опасности) 4,6 ПДК[7]. Также, были найдены мешки с этикетками P_2O_5 – 46 % (фосфатные удобрения).

Отсюда следует, что расположение сельскохозяйственных полей на подгорном остепненном склоне (рис. 4) (использование пестицидов, минеральных удобрений, искусственное орошение, выращивание культур с короткой корневой системой, сведения естественного травостоя вследствие выпаса скота) способствовали деградации грунта.

Значительное снижение антропогенной нагрузки на растительно-почвенный покров произошло в 1989 г., когда был создал ПГПНП, а уже к 1998 г. основной источник влияния (совхоз «Ольхонский») был расформирован. Жители получившие земли в пользование не распахивали землю в связи с нерентабельностью (высокие затраты на проведение комплекса мероприятий по повышению продуктивности почв), а также природоохранного режима, по итогу земли стали использовать для сенокошения, но по большей части для выпаса скота (пастбища).



Рис. 4. Отара овец с пастухом на острове Ольхон, 1980 г., фото Э.Д. Брюханенко, Иркутское региональное отделение Всероссийской политической партии «ЕДИНАЯ РОССИЯ» [Хроники Приангарья …, 2025]
Fig. 4. A flock of sheep with a shepherd on the island of Olkhon, 1980, photo by E.D. Bryukhanenko, Irkutsk regional branch of the All-Russian Political Party "UNITED RUSSIA" [Khroniki Priangaria …, 2025]

Скотоводство

В конце 60-х годов на острове сделали упор больше на сельскохозяйственный сектор, нежели рыболовецкий, что привело к увеличению поголовья овец более чем в два раза (6,6 тыс. голов) (см. рис. 4) [Литвинов, 1976; 1982]. В тот период скотоводство, в частности овцеводство, являлось одной из основных отраслей сельского хозяйства Ольхона. Совхоз «Ольхонский», созданный в 1969 году, активно развивал это направление. Помимо овец в колхозе были коровы, лошади. Из продукции производили мясо, молоко, шерсть.

Для обеспечения продуктивной работы требовались пашни, сенокосы для выпаса скота и заготовки сена, выращивания культур. По материалам 6 тома [ГОСАГРОПРОМ…, 1989] в 1987 г. под пашнями находилось – 0,6 тыс. га, под сенокосами – 1,6 тыс. га. Сенокосы и пастбища были как естественные, так и окультуренные. В материалах так же отмечено, что в качестве дополнительных источников кормов использовали земли государственного запаса и лесного фонда.

Более всего эродированы были пастбища в совхозе «Еланцинский» – 91,2 % и совхозе «Ольхонский» – 94,2 %, где нагрузка овец на 1 га пастбищ в 2 раза выше нормы (рис. 5) [ГОСАГРОПРОМ…, 1989].

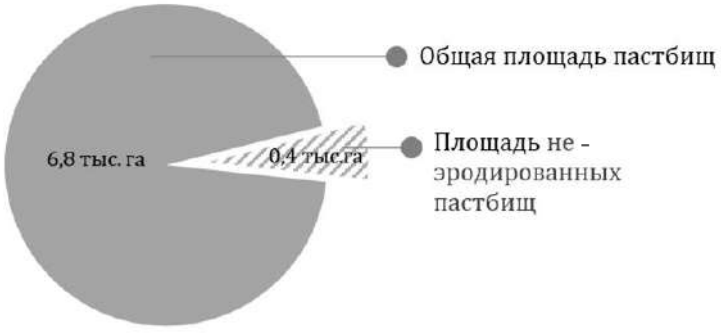


Рис. 5 Площадь дигрессии пастбищ совхоза «Ольхонский», 1989 г.
Fig. 5. Area of digression of pastures of the Olkhonsky state farm, 1989

Отсюда следует, что массовый выпас значительного поголовья скота, отсутствие сенокосооборота, ранние уборки трав, исключающие самообсеменение растений усугубили состояние растительно-почвенного покрова острова Ольхон, привели к обеднению травостоя и низким урожаям трав, а также спровоцировали деградацию естественного травостоя, обилию сорных растений, развитию эрозионных процессов [Литвинов, 1976; 1982; ГОСАГРОПРОМ…, 1989].

Современный период

В настоящее время эксплуатация земель на территории Прибайкальского НП зависит от его функционального зонирования, которое определено материалами лесоустройства (2014 г.). На сегодняшний момент на острове Ольхон представлены четыре функциональные зоны: заповедная, зона рекреации и познавательного туризма, зона хозяйственного назначения и зона традиционного экстенсивного природопользования (рис. 6).

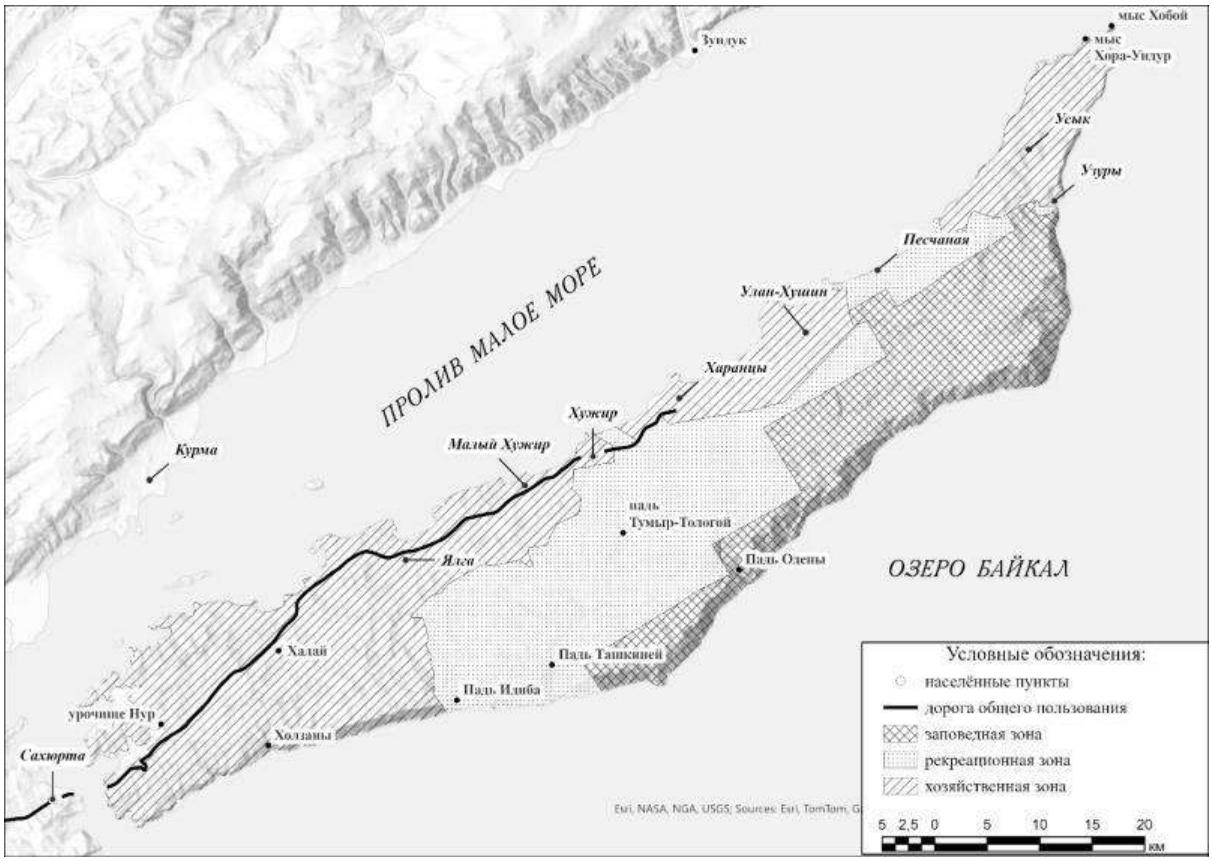


Рис. 6. Функциональное зонирование острова Ольхон
Fig. 6. Functional zoning of Olkhon Island

Основными источниками воздействия на экосистемы острова являются: нерегулируемый выпас [Литвинов, 1982; Пономаренко, Коломина, 2020; Пономаренко, Рябинина, 2022], рекреационная деятельность [Пономаренко, Рябинина, 2022; Соловьева, 2024] и как сопутствующее – автотранспорт [Соловьева и др., 2024]. На некоторых участках местные жители осуществляют заготовку сена.

Согласно собранным материалам, с точки зрения охраны природы, отмечена положительная динамика значительного снижения хозяйственного влияния на природно-территориальные комплексы острова Ольхон (рис. 7).

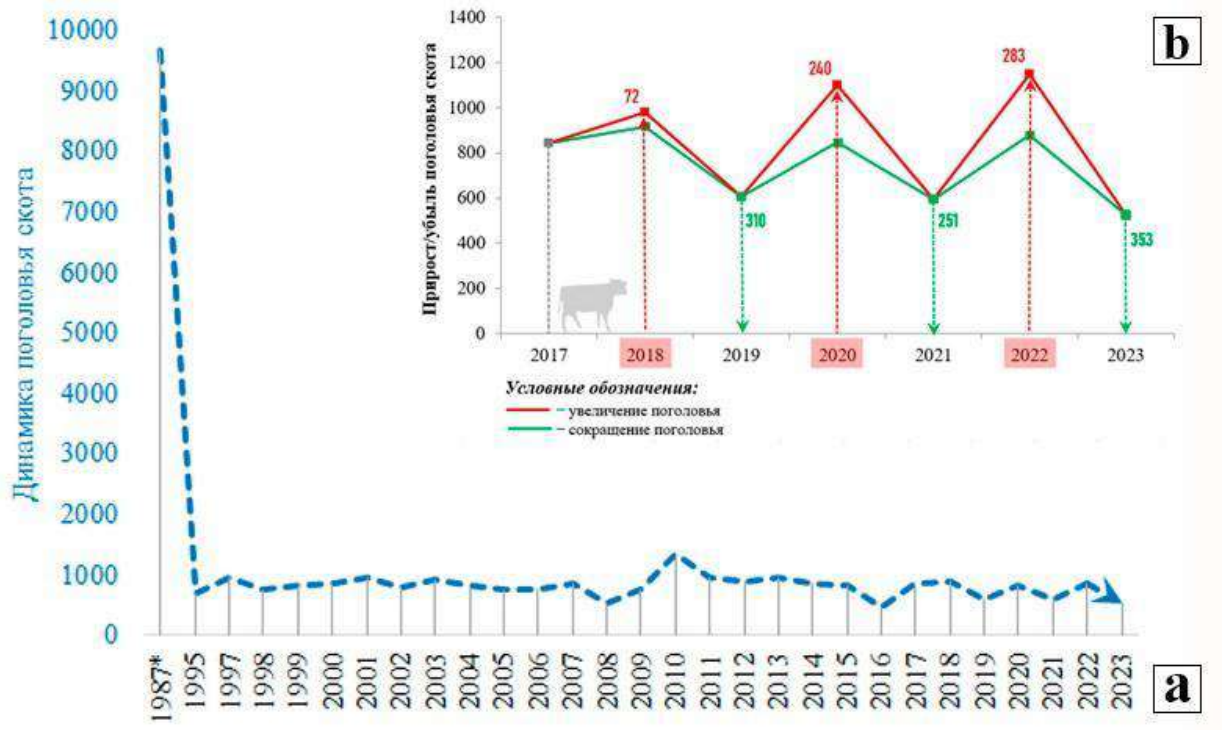


Рис. 7. Динамика поголовья домашнего скота на острове Ольхон.
a – поголовье скота (КРС, овцы, лошади), 1987–2023 гг.; b –минимальные и максимальные показатели поголовья скота (только КРС) по данным Минсельхоз Иркутской области, 2017–2023 гг.; * – данные «ВОСТСИБГИПРОЗЕМ» [ГОСАГРОПРОМ…, 1989]
Fig. 7. Dynamics of livestock on the island of Olkhon.
a – livestock (cattle, sheep, horses), 1987–2023; b –minimum and maximum livestock (cattle only) according to the Ministry of Agriculture of the Irkutsk Region, 2017–2023;
* – data from VOSTSIBGIPROZEM [GOSAGROPROM..., 1989]

На острове сохранилось только индивидуальное скотоводство, жители содержат в большей степени коров (357 голов на 2023 г.), также имеется небольшое поголовье овец (16 голов на 2023 г.) и лошадей (153 головы на 2023 г.) которые нерегулируемо выпасаются (без сопровождения пастухом) (см. рис. 7).

За последние 6 лет количество скота в среднем составило 745 голов. Среднее значение прироста/убыли – 251 голова (см. рис. 5). Нерегулируемый выпас, как и природный туризм, носит хаотичный характер, что в результате меняет экологические (сокращение проективного покрытия, разрушение структуры почвы, развитие эрозионных процессов, дефляции) и эстетические (ухудшается визуальная картина пейзажа) свойства ландшафтов. Почвы такого гранулометрического состава обладают слабой устойчивостью к механическому воздействию, то есть имеют повышенные риски к эродированности, что подтверждается исследованиями Д.М. Дудиной и О.В. Рябининой [2021] и атласом геологических карт [2024]. Нерегулируемый выпас (особенно овцеводство в прошлом), нерациональная эксплуатация малопродуктивных почв способствовали разрушению дернины и развитию дефляции почв. Замещение сельскохозяйственной деятельности рекреационной (см. рис. 3) до некоторого момента снизило нагрузку, но уже к 2013 г. число туристов составило 24944 человека (пик пришелся на 2019 г. – 130713 человек).

Заключение

Исследование отразило историческую хронологию и антропогенное воздействие на остров Ольхон сыгравших роль в преобразовании экосистем. В ходе исследования установлено, что наиболее активное развитие сельскохозяйственной деятельности пришлось на 1969–1985 гг., когда в сельскохозяйственном секторе было задействовано 9 тыс. га земель, из которых 24,5 % находились под распашкой и заготовкой сена, другие же (75,5 %) использовались под выпас скота с поголовьем более чем 8 тыс. голов.

В целом за последние 100 лет ситуация в части сельскохозяйственной эксплуатации острова Ольхон сократилась: пастбищная нагрузка в 20 раз, пашни вовсе стали неактуальными для местного населения. Главным источником воздействия на экосистемы острова к настоящему моменту является туристско-рекреационная деятельность, в меньшей степени скот. КРС негативно влияет на лесной подрост, в т.ч. искусственно высаживаемый для восстановления леса.

Изменения, произошедшие за 16 лет в законодательстве в отношении положений Прибайкальском НП, а также принятие закона «Об охране озера Байкал» показывают значительное расширение требований к природоохранному режиму, что в свою очередь позволило свести к минимуму антропогенное влияние на биоценозы острова. С другой стороны, расширение требований к природоохранному режиму вызывает недовольство у местного населения.

С точки зрения антропогенного влияния, к настоящему времени эксплуатация острова в сравнении с советским периодом носит существенно меньшее воздействие, беспокойство вызывает только увеличение числа жителей на острове, а также туристов с их автотранспортом влекущее трансформацию почв из-за высокой транспортной нагрузки, усугубление проблемы обращения с отходами.

Список источников

Атлас геологических карт Байкальской природной территории. 2024. СПб., Ин-т Карпинского, 155 с.

ВИСХАГИ Сибирский филиал. 1989. План земель совхоза Ольхонский, пгт. Хужир Ольхонского района Иркутской области, 20 с.

ГОСАГРОПРОМ РСФСР Объединение Росземпроекта Института «ВОСТСИБГИПРОЗЕМ». 1989. Сельское хозяйство, Том 6, 164 с.

Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории: Постановление от 31 декабря 2020 № 2399, 7 с.

Об утверждении Положений о государственных охотничьих заказниках областного значения: Решение Исполнительного комитета Иркутского областного Совета народных депутатов от 17 июня 1982 г. № 305. Электронный ресурс. URL: https://base.garant.ru/34789863/ (дата обращения: 14.03.2025).

Об утверждении типовых положений о государственных заповедниках, памятниках природы, ботанических садах и дендрологических парках, зоологических парках, заказниках и природных национальных парках: Госплан СССР. Постановление от 27 апреля 1981 № 77/106. Электронный ресурс. URL: https://docs.cntd.ru/document/765728460 (дата обращения: 14.02.2025).

Положение о национальных природных парках Российской Федерации: Постановление Совета Министров Правительства РФ от 10 августа 1993 г. № 769. Электронный ресурс. URL: https://base.garant.ru/2108339/ (дата обращения: 14.03.2025).

РСФСР Государственный комитет по делам строительства РОСГЛАВОРГПРОЕКТ, Ленинградский государственный институт проектирования городов ЛЕНГИПРОГОР. 1989. Том 3. Архитектурно-планировочное решение и рекреационное использование территории Прибайкальского государственного природного национального парка. Ленинград, 152 с.

Хроники Приангарья. Электронный ресурс. URL: https://i.irklib.ru/web/index.php (Дата обращения 23.01.2025).

Список литературы

Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М., Наумова А.М., Руденко Г.В. 1993. Иркутская область (природные условия административных районов). Иркутск, Издательство Иркутского университета, 304 с.

Биоценозы островов пролива Малое Море на Байкале. 1987. Иркутск, Издательство Иркутского университета, 184 с.

Винобер А.В. 2019. Остров Ольхон как международный центр научного туризма и полевых исследований. Биосферное хозяйство: теория и практика: 7(16): 14–24.

Винокуров М.А., Суходолов А.П. 2002. Экономика Иркутской области. Т. 3. Иркутск, Байкальский государственный университет, 430 с.

Дудина Д.М., Рябинина О.В. 2021. Агроэкологическая оценка показателей почвенного покрова в рекреационной территории западного побережья острова Ольхон. В кн.: Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. Материалы всероссийсской научно-практической конференции, Иркутск, 04–05 марта 2021. Иркутск, Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского: 25–29.

Кулаков П.Е. 1898. Ольхон. Хозяйство и быт бурят Еланцынского и Кутульского ведомств (бывшего Ольхонского ведомства) Верхоленского округа Иркутской губернии. СПб., Записки Императорского Русского географического общества по отделению статистики, VIII (1): 247 с.

Калихман А.Д., Бенчарова Н.В., Калихман Т.П. 2017. Ольхон: природа и люди. Иркутск, Институт географии СО РАН, 138 с.

Калихман Т.П., Калихман А.Д. 2017. Озеро Байкал в природоохранной парадигме. Известия Алтайского отделения Русского географического общества, 2(45): 24–46.

Калихман Т.П., Богданов В.Н. 2021. Прибайкальский национальный парк. В кн.: Атлас Байкальский регион: общество и природа. Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 311 с.

Литвинов Н.И. 1982. Фауна островов Байкала. Наземные позвоночные животные. Иркутск, ИГУ, 132 с.

Литвинов Н.И. 1976. Сохранить природу Ольхона. Охота и охотничье хозяйство, 8: 20–21.

Матяшенко Г.В. 2012. Сукцессии в растительном покрове на побережье и островах озера Байкал. Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 11: 130–134.

Пеллинен В.А. 2018. Оценка устойчивости геологической среды острова Ольхон. Автореф. дис. … канд. геол.-минералог. наук. Иркутск, 136 с.

Пеллинен В.А., Штельмах С.И., Черкашина Т.Ю. 2019. Химический состав почв предгорных степей острова Ольхон. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 27: 90–110. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90.

Пономаренко Е.А., Коломина Т.М. 2020. Воздействие выпаса скота на биоценозы Приольхонья и острова Ольхон (озеро Байкал). В кн.: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Материалы IX Международной научно-практической конференции, Иркутск, 21–22 мая 2020. Иркутск, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского: 107–115.

Пономаренко Е.А., Рябинина О.В. 2024. Оценка пастбищной нагрузки на почвенный покров степных территорий Приольхонья и острова Ольхон (Прибайкалье). Вестник ИрГСХА, 120: 48–59. https://doi.org/10.51215/1999-3765-2024-120-48-59

Пономаренко Е.А., Рябинина О.В. 2022. Оценка рекреационной нагрузки на территорию острова Ольхон на примере изменения почвенного покрова. В кн.: Инновационное развитие агропромышленного, химического, лесного комплексов и рациональное природопользование. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Великий Новгород, 07 апреля 2022. Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого: 258–261. https://doi.org/10.34680/978-5-89896-800-7/2022.innovation.52.

Соловьева Е.Н. 2024. Общая экологическая и социально-экономическая оценка природопользования на территории острова Ольхон (ФГБУ «Заповедное Прибайкалье»). В кн.: Труды НОЦ – Ботанический сад МГУ. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 12–13 февраля 2024. М., Издательство Московского университета: 226–231. https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-226-231.

Соловьева Е.Н., Подлипский И.И., Стронская А.М. 2024. Состояние и лимитирующие факторы использования территории острова Ольхон (Прибайкальский национальный парк). Известия Байкальского государственного университета, 34(1): 122–133. https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(1).122-133.

Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. 2012. Элементный состав органического вещества в системе «Атмосфера – почва – притоки Байкала». В кн.: Современные проблемы геохимии. Материалы Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых), посвященного 95-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона, Иркутск, 22–26 октября 2012. Иркутск, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН: 252–254.

Тихомиров Н.К. 1927. Очерк растительности острова Ольхона на озере Байкале. Труды комиссии по изучению озера Байкал. Ленинград, 2: 1–54.

Щукин Н. 1852. Поездка на остров Ольхон. Сын Отечества, 8: 27–56.

Cherkashina T.Yu., Pellinen V.A. 2020. Assessment of Soil Pollution Level Using Environmental Indices in the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia: Primary Data. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102(12): 2766–2777. https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1759567.

References

Berkin N.S., Filippova S.A., Boyarkin V.M., Naumova A.M., Rudenko G.V. 1993. Irkutskaya oblast (prirodnyye usloviya administrativnykh rayonov) [Irkutsk Region (Natural Conditions of Administrative Districts)]. Irkutsk, Pabl. Irkutskiy Universitet, 304 p.

Biocenozy ostrovov proliva Maloe More na Baykale [Biocenoses of the Islands of the Maloye More Strait on Lake Baikal]. 1987. Irkutsk, Pabl. Irkutskiy Universitet, 184 p.

Vinober A.V. 2019. Olkhon Island as an International Center of Scientific Tourism and Field Research. Biosfernoye khozyaystvo: teoriya i praktika, (7)16: 14–24 (in Russian).

Vinokurov M.A., Sukhodolov A.P. 2002. Economy of Irkutsk Region. Vol. 3. Irkutsk, Pabl. Baikal State University, 430 p. (in Russian).

Dudina D.M., Riabinina O.V. 2021. Agroecological Assessment of Soil Cover Indicators in the Recreation Territory of the West Coast of Olkhon Island. In: Scientific Research of Students in Solving Topical Problems of the Agro-Industrial Complex. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference, Irkutsk, 4–5 March 2021. Irkutsk, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky: 25–29 (in Russian).

Kulakov P.E. 1898. Olkhon. Khozyaystvo i byt buryat Elantsynskogo i Kutulskogo vedomstv (byvshego Olkhonskogo vedomstva) Verkholenskogo okruga Irkutskoy gubernii [Olkhon. The Economy and Daily Life of the Buryats of the Elantsynsky and Kutulsky Departments (Former Olkhon Department) of the Verkholensky District of the Irkutsk Province]. Saint Petersburg, Pabl. Zapiski Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva po otdeleniyu statistiki, VIII (1): 247 p.

Kalikman A.D., Bencharova N.V., Kalikman T.P. 2017. Olkhon: priroda i lyudi [Olkhon: Nature and People]. Irkutsk, Pabl. Institute of Geography SB RAS, 138 p.

Kalikhman T.P., Kalikhman A.D. 2017. Lake Baikal in the Environmental Protection Paradigm. Bulletin of the Altay Branchof the Russian Geographical Society, 2(45): 24–46 (in Russian).

Kalikhman T.P., Bogdanov V.N. 2021. Pribaykalskiy natsionalnyy park [Baikal National Park]. In: Atlas Baykalskiy region: obshchestvo i priroda [Atlas of the Baikal Region: Society and Nature]. Irkutsk, Institut geografii im. V.B. Sochavy Sibirskogo otdeleniya Rossiskoy akademii nauk, 311 p.

Litvinov N.I. 1982. Fauna ostrovov Baykala. Nazemnye pozvonochnye zhivotnye [Fauna of the Islands of Lake Baikal. Terrestrial vertebrates]. Irkutsk, Pabl. ISU, 132 p.

Litvinov N.I. 1976. Sohranit prirodu Olhona [Preserve the Nature of Olkhon]. Okhota i okhotnichye khozyaistvo, 8: 20–21.

Matyashenko G.V. 2012. Primary and Secondery Succession on the Coast and Islands of Lake Baikal. Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii, 11: 130–134 (in Russian).

Pellinen V.A. 2018. Otsenka ustoychivosti geologicheskoy sredy ostrova Olkhon [Assessment of the Stability of the Geological Environment of Olkhon Island]. Abstract dis. … geolog. miner. sciences. Irkutsk, 136 p.

Pellinen V.A., Shtel'makh S.I., Cherkashina T.Yu. 2019. Chemical Composition of Soil of Piedmont Dry Steppes of the Olkhon Island. The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences», 27: 90–110 (in Russian). https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90.

Ponomarenko E.A., Colomina T.M. 2020. The Impact of Grazing on Biocenosis Priolkhonye and Olkhon Island. In: Climate, ecology, agriculture of Eurasia. Proceedings of the IX International scientific-practical conference, Irkutsk, 21–22 May 2020. Irkutsk, Irkutskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. A.A. Ezhevskogo: 107–115 (in Russian).

Ponomarenko E.A., Riabinina O.V. 2024. Assessment of Pasture Load on the Soil Cover of the Steppe Territories of Priolkhon and Olkhon Island (Baikal Region). Scientific and practical journal "Vestnik IrGSHA", 120: 48–59 (in Russian). https://doi.org/10.51215/1999-3765-2024-120-48-59

Ponomarenko E.A., Riabinina O.V. 2022. Assessment of the Recreational Load on the Territory of Olkhon Island by the Example of Changes in Soil Cover. In: Innovative Development of the Agro-Industrial, Chemical, and Forestry Complexes and Rational Use of Natural Resources. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Veliky Novgorod, 7 April 2022. Veliky Novgorod, Pabl. Novgorodskij gosudarstvennyj universitet imeni Jaroslava Mudrogo: 258–261 (in Russian). https://doi.org/10.34680/978-5-89896-800-7/2022.innovation.52.

Solovyeva E.N. 2024. General Ecological and Socio-Economic Assessment of Nature Management on the Territory of Olkhon Island (FGBU "Zapovednoe Pribaikalye"). In: Proceedings of the Scientific and Educational Center – Botanical Garden of Moscow State University. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Moscow, 12–13 February 2024. Moscow, Pabl. Moskovskogo universiteta: 226–231 (in Russian). https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-226-231.

Solov'eva E.N., Podlipsky I.I., Stronskaya A.M. 2024. Comprehensive Assessment of the Use of the Territory of Olkhon Island (Baikal National Park). Bulletin of Baikal State University, 34(1): 122–133 (in Russian). https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(1).122-133.

Tarasova E.N., Mamontov A.A., Mamontova E.A. 2012. Elementnyy sostav organicheskogo veshchestva v sisteme «Atmosfera – pochva – pritoki Baykala» [Elemental Composition of Organic Matter in the «Atmosphere – Soil – Lake Baikal Tributaries» System]. In: Sovremennyye problemy geokhimii [Modern Problems of Geochemistry]. Proceedings of the All-Russian meeting (with the participation of foreign scientists) dedicated to the 95th anniversary of academician L.V. Tauson, Irkutsk, 22–26 October 2012. Irkutsk, Pabl. V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS: 252–254.

Tikhomirov N.K. 1927. Ocherk rastitelnosti ostrova Olkhona na ozere Baykale [Essay on the Vegetation of Olkhon Island on Lake Baikal]. Trudy komissii po izucheniyu ozera Baikal, 2: 1–54.

Shchukin N. 1852. Poyezdka na ostrov Olkhon [Trip to Olkhon Island]. Syn Otechestva, 8: 27–56.

Cherkashina T.Yu., Pellinen V.A. 2020. Assessment of Soil Pollution Level Using Environmental Indices in the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia: Primary Data. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102(12): 2766–2777. https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1759567.

Поступила в редакцию 21.08.2025;
поступила после рецензирования 28.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025

Received August 21, 2025;
Revised October 28, 2025;
Accepted November 24, 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

Соловьева Екатерина Николаевна, аспирант, Институт земной коры СО РАН; научный сотрудник, ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», Иркутск, Россия

Калихман Аркадий Давыдович, доктор физико-математических наук, профессор, внештатный сотрудник, ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina N. Solovyova, Postgraduate student, Institute of the Earth's Crust SB RAS; Researcher, Federal State Budgetary Institution "Zapovednoye Pribaikalye", Irkutsk, Russia

Arkady D. Kalikhman, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Freelance Fellow, Federal State Budgetary Institution "Zapovednoye Pribaikalye", Irkutsk, Russia

УДК 502.4
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-261-271
EDN GZSVXX

Развитие системы ООПТ Томской области в 2001–2024 гг.

Короткова Е.М., Дмитриева Д.А.
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
katia_sova@mail.ru, stepchenkovad@bk.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности формирования и развития системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Томской области. Показано, что регион обладает уникальными природными комплексами, включая крупнейшее в мире Васюганское болото, обширные массивы таёжных ландшафтов и водно-болотных угодий, а также обладает развитой сетью разрабатываемых нефтегазовых месторождений, что предопределяет необходимость разработки эффективных мер охраны естественных экосистем. Проведен анализ нормативно-правовой базы, регулирующей процесс создания и управления ООПТ, а также динамики изменения количества и площади охраняемых территорий в период 2001–2024 гг. Установлено, что показатели сети ООПТ в регионе (количество и площадь объектов) в рассматриваемый период носили неравномерный характер: в отдельные периоды фиксировался рост числа объектов при одновременном сокращении их суммарной площади, в другие годы наблюдалась стабилизация показателей. Особое внимание уделено роли регионального законодательства, принятого в 2005 г., которое стало основой современной природоохранной политики Томской области. Отмечены тенденции трансформации категориальной структуры ООПТ, включая появление ландшафтных парков, охраняемых природных ландшафтов и расширение рекреационных зон. Показано, что доля площади ООПТ в Томской области в рассматриваемый период составляла от 3,5 до 6 % от территории области, что по разным оценкам, является недостаточным для устойчивого сохранения биоразнообразия. Данное обстоятельство актуализирует необходимость проведения дополнительных исследований для оценки репрезентативности сети ООПТ по природным зонам Томской области.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории (ООПТ), Томская область, государственное регулирование, биоразнообразие, экологическая политика, антропогенное воздействие, природные комплексы, Васюганское болото, охрана природы, видовое разнообразие

Для цитирования: Короткова Е.М., Дмитриева Д.А. 2026. Развитие системы ООПТ Томской области в 2001–2024 гг. Региональные геосистемы, 50(2): 261–271. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-261-271 EDN: GZSVXX

Development of the Specially Protected Natural Area System of the Tomsk Region in 2001–2024

Ekaterina M. Korotkova, Darya A. Dmitrieva
Tomsk State University of Architecture and Building
2. Solyanaya Sq., Tomsk 634003, Russia,
katia_sova@mail.ru, stepchenkovad@bk.ru

Abstract. The paper is focused on the formation and development of the system of specially protected natural areas (SPNA) in the Tomsk region. It is shown that the region has unique natural complexes, including the largest peatland in the world, the Vasyugan Mire, vast areas of taiga landscapes and wetlands, as well as a

© Короткова Е.М., Дмитриева Д.А., 2026

developed network of oil and gas fields under development, which determines the need for effective measures to protect natural ecosystems. The authors analyze the regulatory and legal framework governing the process of creating and managing SPNAs and look into the dynamics of changes in the number and area of protected territories from 2001 to 2024. It has been established that the indicators of the SPNA network in the region (the number and area of sites) during the studied period were uneven: in some periods, there was an increase in the number of sites with a simultaneous decrease in their total area, while other years saw a stabilization of indicators. Special attention is paid to the role of regional legislation adopted in 2005, which became the foundation of the current environmental protection policy in the Tomsk region. The trends in the transformation of the categorical structure of SPNAs are noted, including the emergence of landscape parks, protected natural landscapes, and the expansion of recreational zones. It is shown that the share of SPNAs in the Tomsk region during the studied period ranged from 3.5 to 6 % of the region's total area, which, according to various estimates, is insufficient for the sustainable preservation of biodiversity. This circumstance highlights the need for further research to assess the representativeness of the SPNA network across the natural zones of the Tomsk region.

Keywords: specially protected natural areas (SPNA), Tomsk Region, state regulation, biodiversity, environmental policy, anthropogenic impact, natural complexes, Vasyugan Mire, nature conservation, species diversity

For citation: Korotkova E.M., Dmitrieva D.A. 2026. Development of the Specially Protected Natural Area System of the Tomsk Region in 2001–2024. Regional Geosystems, 50(2): 261–271 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-261-271 EDN: GZSVXX

Введение

Интенсивное влияние хозяйственной деятельности человека на природную среду, освоение новых территорий для нужд промышленности, сельского и лесного хозяйства, градостроительства и прочих приводит к изменениям природных экосистем, трансформации естественных ландшафтов, снижению численности и видового разнообразия растений и животных. Особую актуальность в подобной ситуации приобретает сохранение природных экосистем и поддержка разнообразия флоры и фауны. Основным инструментом государственного регулирования охраны естественных экосистем, обеспечивающим эффективную защиту и сохранение воспроизводства биоразнообразия, является организация особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Рой, 2021].

К числу важнейших задач, которые может решить сеть особо охраняемых природных территорий, относятся сохранение общего биоразнообразия и среды обитания растений и животных и обеспечение охраны и воспроизводства редких и исчезающих, в том числе краснокнижных видов [Санников и др., 2014; Чибилев, 2017; Бузмаков, 2020]. Сети ООПТ в регионах представляют собой экологический каркас территории, а их развитие способствует не только сохранению биологического разнообразия, но и созданию комфортных условий для жизни людей, а также обеспечению экономического роста [Реймерс, Штильмарк, 1978; Бузмаков, 2020].

В РФ ООПТ рассматриваются как объекты, представляющие национальное достояние страны [Об особо охраняемых …, 2023], а их учреждение и развитие постулируется как одно из ключевых направлений государственной природоохранной политики [Национальный проект экология …, 2025]. По официальным данным в РФ общая площадь земель, отнесенных к категории ООПТ, составляет 244,4 млн га, а общее количество ООПТ – 12,3 тыс. объектов. При этом доля площади ООПТ от общей площади территории РФ составляет около 13 % [О состоянии и об охране…, 2024]. С учётом степени значимости природных объектов, представляющих ценность для государства, субъекта РФ или конкретного муниципалитета, ООПТ создаются на федеральном, региональном или местном уровне [Бузмаков, 2020]. В регионах с высокой антропогенной нагрузкой на природные

экосистемы задача сохранения природных ландшафтов и биологического разнообразия является особенно актуальной [Володькин, Ларионов, 2022].

Томская область имеет богатое природное наследие, включающее в себя леса, водные ресурсы, уникальные природные объекты и биологические виды, требующие изучения и охраны. Западная часть региона занята крупнейшим в мире Васюганским болотом, включённым в предварительный список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. В целом болотные экосистемы занимают около 40 % территории области, тогда как лесные земли охватывают порядка 58 %. Экономическая деятельность северных районов Томской области преимущественно связана с добычей нефти и газа, на её территории расположено свыше 130 месторождений углеводородного сырья, из которых более 100 являются нефтяными. При этом перспективными с точки зрения добычи нефти и газа являются около 70 % территории региона [Государственные доклады, 2025].

Разработка, инфраструктурное обустройство и эксплуатация нефтегазовых месторождений приводят к трансформации природных ландшафтов, что сопровождается загрязнением прилегающих территорий. В результате наблюдаются процессы деградации почвенного покрова, нарушения гидрологического режима и сокращения площадей лесной растительности [Солодовников, Чистобаев, 2011; Гилева, Егорова, 2019]. В Томской области на фоне антропогенного использования земель наблюдается сокращение площадей лесных массивов. В результате освоения нефтегазовых месторождений наблюдается изменение естественных ландшафтов, загрязнение водных объектов и атмосферного воздуха, а также снижение плодородия почв [Никитчук, Хазиахметова, 2021]. Антропогенная нагрузка на природные экосистемы Томской области осуществляется и в связи с другой антропогенной деятельностью, такой как промышленное производство, сельскохозяйственное использование земель, рубка леса, добыча охотничьих и иных минерально-сырьевых ресурсов: подземные воды, титан, цирконий, рассеянные элементы, тугоплавкие глины, стекольное и цементное сырье и др. [Государственные доклады, 2025].

Согласно Стратегии социально-экономического развития Томской области [Об утверждении Стратегии …, 2015] природно-ресурсный потенциал территории области служит её стратегическим преимуществом, а эффективное освоение и использование территорий выступает ключевым условием экономического развития. Для поддержания и сохранения естественных экосистем в условиях антропогенной нагрузки в Томской области действует сеть ООПТ. 12 августа 2005 года был принят Закон Томской области «Об особо охраняемых природных территориях в Томской области», который стал важным шагом на пути к системному управлению природными ресурсами области. Закон создал правовую основу для учреждения и управления ООПТ и определил типы ООПТ на региональном уровне [Кичигин, 2024; Об особо охраняемых природных … в Томской области, 2024].

Объекты и методы исследования

В Томской области, обладающей уникальными природными комплексами, включающими таёжные ландшафты, водно-болотные угодья и редкие виды флоры и фауны, формирование ООПТ требует особого внимания со стороны органов власти, научного сообщества, а также общественности.

В результате природоохранной деятельности в Томской области производится регулярное обследование и модернизация сети ООПТ. В связи с изменениями в структуре ООПТ ежегодно переутверждается Перечень особо охраняемых природных территорий областного и местного значения [Кадастр особо охраняемых …, 2025]. По состоянию на январь 2025 г. в Томской области насчитывается 187 объектов, имеющих статус ООПТ общей площадью 1296,2 тыс. га, из них 110 объектов имеют статус ООПТ областного значения, 76 – местного значения и 1 объект – заповедник «Васюганский» – находится в статусе ООПТ федерального значения. Сеть ООПТ Томской области представлена на рис. 1.

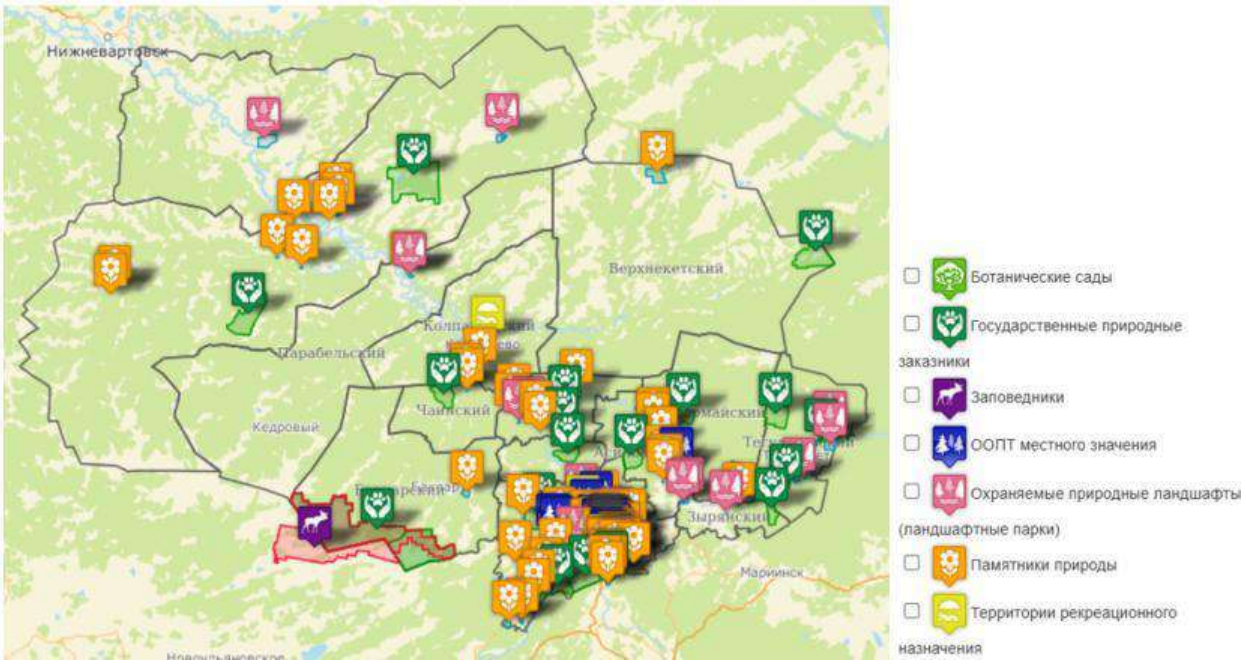


Рис. 1. Сеть ООПТ Томской области [Особо охраняемые …, 2025]
Fig. 1. Network of specially protected natural areas of the Tomsk region [Specially protected …, 2025]

Для исследования особенностей государственного регулирования при создании ООПТ в Томской области был использован анализ нормативно-правовых актов: изучены федеральные и региональные законы, а также подзаконные акты, регламентирующие процесс учреждения и управления ООПТ. Динамика системы ООПТ Томской области изучалась на основании опубликованных Государственных докладов Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области и ОГБУ «Облкомприрода» за период с 2001 по 2024 год [Государственные доклады…, 2025]. По данным докладов был проведён анализ структуры ООПТ, выявлены изменения в количестве и площади ООПТ разных категорий.

Результаты и их обсуждение

Сеть ООПТ Томской области, состоящая из 187 объектов, преимущественно представлена ООПТ областного значения (110 объектов). ООПТ местного значения сосредоточены главным образом в границах г. Томска и Томского района и, в большинстве своём не имеют установленной категории, лишь 5 объектов из 76 имеют статус охраняемых природных ландшафтов. Государственные природные заказники, ботанический сад, памятники природы, ландшафтные парки и территории рекреационного назначения входят в категорию ООПТ областного значения. Единственный в Томской области государственный природный заповедник представляет ООПТ федерального значения. Наиболее крупной охраняемой территорией является заповедник «Васюганский», одна его площадь составляет порядка 28 % от общей площади ООПТ Томской области. В целом 94 % площади фонда ООПТ Томской области формируются за счёт двух категорий: заповедника и заказников (см. таблицу). Стоит отметить, что заповедник «Васюганский» практически полностью расположен на территории заказника «Васюганский».

Показатели ООПТ Томской области на 2024 год
Indicators of specially protected natural areas of the Tomsk region for 2024

Уровень	Категория	Коли-чество	Площадь, га	Доля от общей площади ООПТ, %	Доля от площади области, %
ООПТ федерального значения	Государственные природные заповедники	1	362514	27,97	1,15
ООПТ областного значения	Государственные природные заказники	18	1217985 (включая территорию заповедника «Васюганский»)	93,96	3,87
	Ландшафтные парки	16	49141	3,79	0,156
	Памятники природы	70	21947	1,69	0,070
	Ботанические сады	1	127	0,01	0,0004
	Территории рекреационного назначения	5	1955	0,15	0,006
ООПТ местного значения	Охраняемый природный ландшафт	5	3924	0,30	0,012
	Категория не установлена	71	1169	0,09	0,004
Всего		187	1 296 247	–	4,12

Ключевая роль сети ООПТ Томской области заключается в сохранении видового разнообразия флоры и фауны региона. Природные зоны Томской области представлены преимущественно средней и южной тайгой, а также подтайгой на юге области, что обусловливает высокое биологическое разнообразие охраняемых экосистем. Согласно данным Государственных докладов и материалам кадастра ООПТ, охраняемые территории аккумулируют значительную часть биоразнообразия Западной Сибири, охватывая таёжные, болотные и пойменные экосистемы [Государственные доклады, 2025; Кадастр особо охраняемых …, 2025].

Флора ООПТ характеризуется преобладанием хвойных пород (сосна обыкновенная, ель, пихта, кедр сибирский, лиственница) с участием лиственных видов (берёза, осина), а фауна представлена многочисленными видами млекопитающих и птиц, включая бурого медведя, лося, соболя, рысь, глухаря и тетерева. Особую природоохранную ценность имеют болотные и лесоболотные экосистемы Васюганского болота, являющиеся ключевыми местообитаниями мигрирующих водоплавающих птиц и крупных млекопитающих. На территориях заказников и памятников природы сосредоточены популяции редких и охраняемых видов, включённых в Красные книги Российской Федерации и Томской области, что подчёркивает биосферную функцию сети ООПТ в условиях высокой антропогенной нагрузки [Государственные доклады, 2025].

Согласно закону Томской области от 12.08.2005 № 134-ОЗ решение о создании ООПТ областного значения принимается Администрацией Томской области. Инициатива о создании ООПТ исходит от исполнительного органа, ответственного за организацию, охрану и функционирование ООПТ, который подготавливает необходимые для организации ООПТ материалы, включая обоснование, сведения о местонахождении, площадь, категорию, режим охраны, описание границ, заключение экологической

экспертизы и прочее, после чего передает материалы в Администрацию Томской области для принятия решения о создании ООПТ.

Решение о создании ООПТ областного значения проходит обязательное согласование с федеральными органами: уполномоченным федеральным органом по охране окружающей среды и органами обороны и безопасности, если территории содержат земли, предоставленные для нужд Вооруженных Сил РФ.

Администрация Томской области утверждает:

1. Границы и схему ООПТ;
2. Положение о функционировании ООПТ.

Также в случае необходимости, Положения об ООПТ определенных категорий утверждаются по согласованию с федеральными органами и местным самоуправлением. Стоит отметить, что создание и содержание ООПТ областного значения финансируются за счёт областного бюджета и других источников, не запрещённых законом.

В пределах ООПТ недопустимо менять целевое назначение земель или прекращать права на землю в противоречие с их целевым назначением. Объявление памятников природы возможно с изъятием соответствующих земель у собственников.

На основе анализа вышеуказанных нормативно-правовых актов была составлена схема порядка создания ООПТ областного значения в Томской области, которая представлена на рис. 2 и отражает этапы от инициирования до управления территориями.



Рис. 2. Схема порядка создания ООПТ областного значения в Томской области
Fig. 2. Process map for establishing specially protected natural areas of regional significance in the Tomsk region

Таким образом, разработанная схема процесса создания ООПТ областного значения в Томской области отражает системный подход к регулированию этого процесса. Схема демонстрирует, что каждый этап создания ООПТ строго регулируется региональным законодательством, что обеспечивает прозрачность и предсказуемость процесса.

Структура ООПТ Томской области непрерывно находится в динамике – упраздняются одни объекты и появляются другие. Согласно данным Н.М. Семеновой в период с 1995 по 2015 гг. сеть зоологических заказников Томской области была обновлена почти на 50 %. Упразднение заказников преимущественно было связано с отводом земель под нужды сельского и лесного хозяйства, а также разработкой нефтегазовых месторождений, поскольку из-за недостаточной эффективности, установленного для заказников охранного режима либо повышенного хозяйственного интереса к их территориям, хозяйственная деятельность осуществлялась либо непосредственно на их территории или на смежных участках [Семенова, 2015].

Динамика количества и площади ООПТ Томской области, а также доли площадей ООПТ от площади области и отношения их количества к площади в период с 2001 по 2024 гг. представлена на рис. 3.

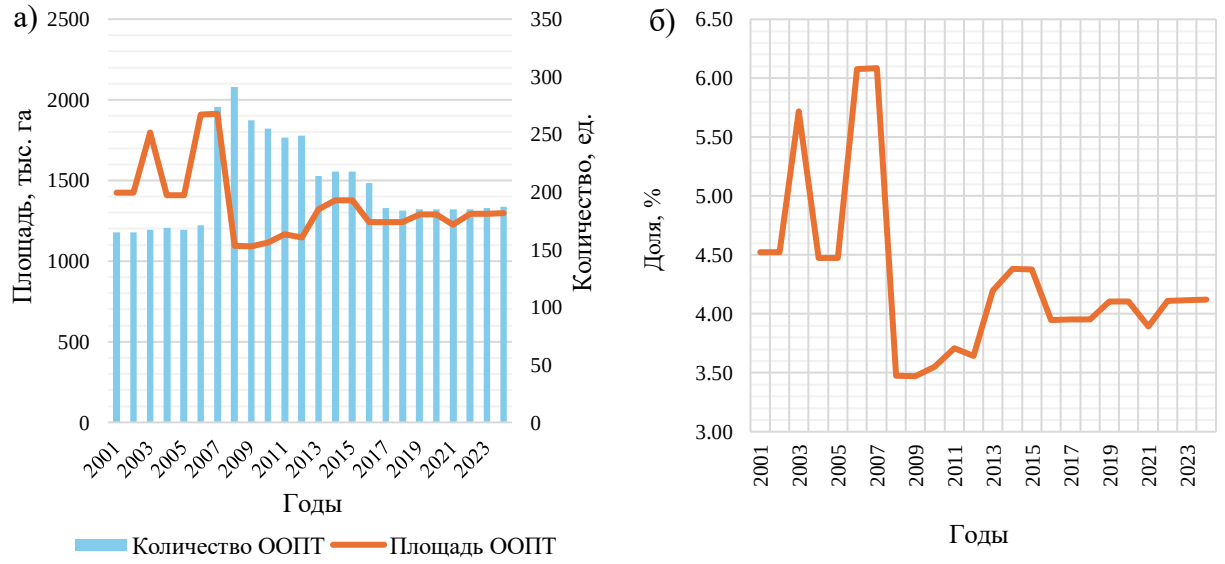


Рис. 3. Динамика показателей ООПТ в Томской области с 2001 по 2024 год:
а) количество и площадь ООПТ; б) доля площади ООПТ от площади области
и отношение их количества к площади
Fig. 3. Dynamics of indicators of protected areas in the Tomsk region from 2001 to 2024:
a) the number and area of protected areas; b) the share of protected areas in the total area
of the region and the ratio of their number to the total area

При рассмотрении периода с 2001 по 2024 гг. можно отметить, что в целом за 24 года количество ООПТ в Томской области увеличилось с 165 в 2001 году до 187 в 2024 году, а их суммарная площадь, наоборот снизилась с 1423 тыс. га до 1296 тыс. га в 2001 и 2024 годах соответственно. Однако показатели количества и площади ООПТ в течение рассматриваемого периода изменялись неравномерно (см. рис. 3а). Так, количество ООПТ оставалось относительно неизменным в 2001–2006 гг. (165–171 объектов) и в 2017–2024 гг. (184–187 объектов), при этом в период 2001–2006 гг. наблюдалось колебание их суммарной площади.

В 2003 году отмечается рост суммарной площади ООПТ, который вероятно был обусловлен появлением новой категории ООПТ – в регионе было учреждено 2 ООПТ местного значения: в Томском и Колпашевском районах области. В 2004 году было зарегистрировано ещё 2 ООПТ местного значения в Бакчарском и Шегарском районах, однако, суммарная площадь ООПТ по сравнению с 2003 годом снизилась более чем на 200 тыс. га, причины данного снижения не приведены в Докладе за 2004 год, также в этот год нет данных об упразднении каких-либо ООПТ, поэтому можно предположить, что снижение площади при увеличении количества ООПТ произошло за счёт перевода части земель

некоторых ООПТ в другие категории. В 2006 году наблюдается пик суммарной площади ООПТ, связанный с образованием на уникальной территории Васюганского болота крупного заказника регионального значения «Васюганский». С образованием Васюганского заказника доля площади ООПТ от общей площади Томской области превысила 6 % (см. рис. 3б), хотя по разным оценкам рекомендуемая доля ООПТ в регионе должна составлять не менее 10 % [Реймерс, Штильмарк, 1978; Krever et al., 2009; Санников и др., 2014; Санников, Бузмаков, 2015].

В 2005 году был принят закон «Об особо охраняемых природных территориях в Томской области», который закрепил особенности статуса ООПТ областного и местного значения, перечень их категорий, а также порядок организации, использования и упразднения. Результатом новой природоохранной политики Томской области стал скачкообразный рост числа ООПТ на фоне такого же скачкообразного падения их суммарной площади в 2007–2008 гг. В 2007 году был значительно расширен список ООПТ местного значения г. Томска, а также проведено обследование и инвентаризация некоторых памятников природы. Это привело к тому, что число ООПТ в Томской области за год выросло более чем на 100 объектов и достигло 274. По итогам 2008 года было увеличено число ООПТ местного значения, рекреационного назначения и памятников природы, таким образом, число ООПТ в регионе в 2008 году стало рекордно высоким – 291 объект. При этом в результате упразднения сразу двух заказников суммарная площадь ООПТ в регионе сократилась в 1,8 раза до рекордно низкой отметки – 1093 тыс. га, а доля ООПТ от площади области опустилась ниже 3,5 % (см. рис. 3б).

В последующие годы наблюдается отрицательная динамика числа ООПТ в регионе, что свидетельствует о проведении оптимизации сети ООПТ – сокращалось их количество преимущественно за счёт снятия статуса памятников природы с территорий, утративших свою научную, экологическую и эстетическую ценность, создавались новые заказники, памятники природы, ООПТ рекреационного назначения и местного значения, велась работа по постановке ООПТ на государственный кадастровый учет. К 2017 году сеть ООПТ Томской области приобрела структуру, сохраняющуюся по сей день: была введена новая категория – ландшафтные парки, в которой было создано 3 новых объекта – припоселковые лесопарки и болотно-лесной массив в Зырянском и Парабельском районах области, а также на территории заказника «Васюганский» был создан государственный природный заповедник «Васюганский», имеющий статус ООПТ федерального значения.

Учреждение заповедника «Васюганский» стало значимым этапом в развитии сети ООПТ Томской области. Заповедник расположен на территории Обь-Иртышского междуречья в центральной части Васюганской равнины и административно относится к Бакчарскому району Томской области и Убинскому и Северному районам Новосибирской области. Васюганский заповедник является самой большой по площади ООПТ, его общая площадь составляет 614,8 тыс. га, а на территории Томской области расположена большая его часть площадью 362,5 тыс. га.

В период с 2017 по 2024 гг. отмечается сокращение числа памятников природы с 82 до 70, при этом наблюдается рост количества ландшафтных парков с 3 до 16 и территорий рекреационного назначения с 3 до 5. В 2022 году в структуре ООПТ Томской области появляется новая категория ООПТ местного значения – охраняемый природный ландшафт, сеть заказников не претерпевает изменений. Продолжается работа по внесению границ ООПТ в Единый государственный реестр недвижимости: на 2024 год сведения о границах 167 территорий (93 регионального и 74 местного значения) уже зарегистрированы в ЕГРН. В целом экологическая политика по созданию и упразднению ООПТ свидетельствует о поддержании текущего уровня защиты природных экосистем в заказниках и заповеднике «Васюганский», развитие рекреационного потенциала области и расширении сети ландшафтных парков. Доля ООПТ от общей площади региона стабильно остается на уровне около 4 % (см. рис. 3б).

Заключение

Очевидно, что динамика системы ООПТ Томской области на протяжении последних 25 лет определяется экологической политикой региона и в целом РФ. Существовавшая до 90-х годов XX века сеть ООПТ в Томской области в последние 30 лет была подвергнута значительному пересмотру, а за рассматриваемый временной интервал с 2001 по 2024 гг. можно выделить 3 характерных периода:

- 2001–2006 гг. – годы, характеризующиеся относительной стабильностью количества ООПТ (165–171). Неясность в данном периоде вызывает лишь пик площади ООПТ, приходящийся на 2003 год – 1797,6 тыс. га по сравнению с 1422,5 тыс. га в 2002 году и 1407,3 тыс. га в 2004 году и, возможно, связанный не только с появлением в Томской области ООПТ местного значения, однако никаких данных, с чем ещё может быть связан данный пик, в рассмотренных докладах не отражено. В этот же период в результате учреждения крупного заказника «Васюганский» доля площади ООПТ от общей площади Томской области превысила 6 %.
- 2007–2016 гг. – годы турбулентности системы ООПТ, характеризующиеся скачкообразным увеличением количества и снижением площади ООПТ в начале периода, которые были связаны с новой экологической политикой региона, закрепленной в 2005 году законом «Об особо охраняемых природных территориях в Томской области». Число ООПТ со 171 в 2006 году возросло до 291 в 2008 году в результате того, что список ООПТ местного значения и памятников был расширен. Из-за упразднения двух заказников в 2008 году общая площадь ООПТ Томской области сократилась в 1,8 раза, соответственно доля земель ООПТ от общей площади области опустилась ниже 3,5 %. В последующие годы периода наблюдается планомерное снижение количества ООПТ и увеличение их площади.
- 2017–2024 гг. – годы стабильной экологической политики, направленной на поддержание текущего уровня защиты природных экосистем в рамках сети заказников и заповедника «Васюганский», развития сети ландшафтных парков и территорий рекреационного назначения. Количество ООПТ в этот период колеблется в пределах 184–187 объектов, а их площадь стабильно составляет около 4 % от площади Томской области.

Стоит отметить, что доля площади ООПТ от площади Томской области, составляющая 4 %, по разным оценкам является недостаточной для сохранения природных экосистем в регионе, таким образом, для оценки репрезентативности и уровня развитости сети ООПТ Томской области требуется проведение дополнительных исследований.

Список источников

Государственные доклады. 2025. Электронный ресурс. URL: https://ogbu.green.tsu.ru/?Page_id=1456 (дата обращения: 12 августа 2025).

Кадастр особо охраняемых природные ресурсов Томской области. 2025. Электронный ресурс. URL: https://ogbu.green.tsu.ru/?Page_id=7192 (дата обращения: 13 августа 2025).

Национальный проект экология. 2025. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/ (дата обращения: 17 августа 2025).

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. 2024. Проект Государственного доклада. М., Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 707 с.

Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон от 14 марта 1995 № 33-ФЗ (1995 г. с изм. и допол. в ред. от ред. от 31.07.2023). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/ (дата обращения 13 августа 2025).

Об особо охраняемых природных территориях в Томской области: Закон Томской области от 12 августа 2005 № 134-ОЗ (с изм. и допол. в ред. от ред. от 15.07.2024). Электронный ресурс. URL: https://base.garant.ru/7755340/ (дата обращения 13 августа 2025).

Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Томской области до 2030 года: Постановление законодательной думы Томской области от 26 марта 2015 № 2580. Электронный ресурс. URL: https://base.garant.ru/7780370/ (дата обращения 13 августа 2025).

Особо охраняемые природные ресурсы Томской области 2025. Электронный ресурс. URL: https://green.tsu.ru/oopt/ (дата обращения: 11 августа 2025).

Список литературы

Бузмаков С.А. 2020. Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края. Географический вестник, 3(54): 135–148. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-135-148

Володькин А.А., Ларионов М.В. 2022. Фитосозологическое изучение памятников природы для определения экологического статуса особо охраняемых природных территорий. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 30(1): 7–27. https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-7-27

Гилёва Л.Н., Егорова Н.В. 2019. Исследование и оценка воздействия объектов нефтегазового комплекса на окружающую природную среду северных территорий в целях предотвращения и снижения неблагоприятных техногенных последствий. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ, 1(133): 121–132. https://doi.org/10.31660/0445-0108-2019-1-121-132

Кичигин А.С. 2024. Анализ особо охраняемых природных территорий Томской области. В кн.: Избранные доклады. 70-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 18 апреля 2024. Томск, Томский Государственный Архитектурно Строительный Университет: 922–926.

Никитчук К.Л., Хазиахметова Ю.А. 2021. Последствия антропогенной трансформации природной среды Томской области. Проблемы региональной экологии, 6: 43–47. https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-6-43-47

Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. 1978. Особо охраняемые природные территории. М., Мысль, 298 с.

Рой О.М. 2021. Особо охраняемые природные территории: от консервации к развитию. Антиномии, 21(2): 90–108. https://doi.org/10.17506/26867206_2021_21_2_90

Санников П.Ю., Бузмаков С.А. 2015. Развитие сети особо охраняемых природных территорий для сохранения географического разнообразия Пермского края. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 25(4): 22–34.

Санников П.Ю., Гатина Е.Л., Назаров А.В. 2014. Сохранение Кунгурской лесостепи. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2: 30–40.

Семенова Н.М. 2015. Основные тенденции развития сети особо охраняемых природных территорий регионального значения в Томской области. Труды Тигирекского заповедника, 7: 122–126. https://doi.org/10.53005/20767390_2015_7_122

Солодовников А.Ю., Чистобаев А.И. 2011. Влияние нефтегазодобычи на социально-экологическую среду Обского Севера. СПб., ВВМ, 309 с.

Чибилев А.А. 2017. Степная Евразия: региональный обзор природного разнообразия. Оренбург, Димур, 324 с.

Krever V.G., Stishov M.S., Onufrenya I.A. 2009. Specially Protected Natural Territories of Russia: Current State and Development Prospects. Moscow, WWF, 456 p.

References

Buzmakov S.A. 2020. Network of Protected Natural Areas in the Perm Region. Geographical Bulletin, 3(54): 135–148 (in Russian). https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-135-148

Volodkin A.A., Larionov M.V. 2022. Phytosozological Study of Natural Monuments to Determine the Ecological Status of Specially Protected Natural Areas. RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 30(1): 7–27 (in Russian). https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-7-27

Gileva L.N., Egorova N.V. 2019. Studying and Evaluating the Impacts of Oil and Gas Facilitieson the Environment of the Northern Territories to Prevent and Reduce Adverse Anthropogenic Impacts. Oil and Gas Studies, 1(133): 121–132 (in Russian). https://doi.org/10.31660/0445-0108-2019-1-121-132

Kichigin A.S. 2024. Analiz osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy Tomskoy oblasti [Analysis of Specially Protected Natural Areas in Tomsk Oblast]. In: Izbrannye doklady [Selected Papers]. 70th

Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, 18 April 2024. Tomsk, Pabl. Tomskiy Gosudarstvennyy Arkhitekturno Stroitel'nyy Universitet: 922–926.

Nikitchuk K.L., Haziakhmetova Yu.A. 2021. Consequences of Anthropogenic Transformation of the Natural Environment of the Tomsk Region. Regional Environmental Issues, 6: 43–47 (in Russian). https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-6-43-47

Reimers N.F., Shtilmark F.R. 1978. Osobo okhranyayemyye prirodnyye territorii [Specially Protected Natural Territories]. Moscow, Pabl. Mysl, 295 p.

Roy O.M. 2021. Protected Areas: from Conservation to Development. Antinomies, 21(2): 90–108 (in Russian). https://doi.org/10.17506/26867206_2021_21_2_90

Sannikov P.Yu., Buzmakov S.A. 2015. Development of a Protected Areas Network for Conservation of Geographic Diversity in Perm Region. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 25(4): 22–34 (in Russian).

Sannikov P.Yu., Gatina E.L., Nazarov A.V. 2014. Preservation of Kungurskaya Forest-Steppe. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 2: 30–40 (in Russian).

Semenova N.M. 2015. The Main Trends of Development of Specially Protected Natural Terriatories Network in Tomsk Oblast. Trudy Tigirekskogo zapovednika, 7: 122–126 (in Russian). https://doi.org/10.53005/20767390_2015_7_122

Solodovnikov A.Yu., Chistobaev A.I. 2011. Vliyanie neftegazodobychi na sotsial'no-ekologicheskuyu sredu Obskogo Severa [The Impact of Oil and Gas Production on the Socio-Ecological Environment of the Ob North]. St. Petersburg, Pabl. VVM, 309 p.

Chibilev A.A. 2017. Steppe Eurasia: a Regional Review of Natural Diversity. Orenburg, Pabl. Dimur, 324 p. (in Russian)

Krever V.G., Stishov M.S., Onufrenya I.A. 2009. Specially Protected Natural Territories of Russia: Current State and Development Prospects. Moscow, WWF, 456 p.

Поступила в редакцию 19.09.2025;
поступила после рецензирования 28.12.2025;
принята к публикации 11.02.2026

Received September 19, 2025;
Revised December 28, 2025;
Accepted February 11, 2026

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

Короткова Екатерина Михайловна, кандидат географических наук, доцент кафедры геоинформатики и кадастра, Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Дмитриева Дарья Андреевна, аспирант кафедры геоинформатики и кадастра, Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina M. Korotkova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geoinformatics and Cadastre, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Darya A. Dmitrieva, Postgraduate Student of the Department of Geoinformatics and Cadastre, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

УДК 631.459.2: 556.123
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284
EDN ENYJVR

Анализ и оценка влияния ливневой деятельности на почвы агроландшафтов Томской области

Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В.
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
nsevseeva@yandex, rumkashiro@yandexru, zojkwas@rambler.ru, i.kuzhevskaya@yandex.ru

Аннотация. Ливневая эрозия почв – это опасное явление, представляющее серьезную угрозу для окружающей среды и хозяйственной деятельности человека. В условиях глобального изменения климата с возрастанием общего количества осадков наблюдается непропорциональное увеличение ливневой опасности. Несмотря на имеющиеся публикации по воздействию ливней на почвы, современные исследователи выявляют существенный пробел в изучении и прогнозировании интенсивности и пространственно-временного распределения ливневых осадков. В статье на основе данных суточного разрешения об атмосферных осадках со станций Томск и Бакчар за последние 63 года выполнен анализ ливневой деятельности на территории южной части Томской области и проведена оценка влияния ливней на агроландшафты. Анализ данных показал усиление ливневой деятельности на исследуемой территории, начиная с 2017 г., в том числе и ливней со слоем более 30 мм/сут, опасных для эрозии почв. На основе полевых наблюдений за последствиями 20 ливней на пашне с разным агрофоном впервые получены данные об эрозионной работе: установлено, что наибольший урон пашне наносят ливни, выпадающие за 2–5 суток, зафиксирован смыв от 9–10 м^3/га под посевами сельскохозяйственных культур до 40–100 м^3/га под пропашными.

Ключевые слова: ливни, эрозия почв, агроландшафты, смыв почв, Томская область

Для цитирования: Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. 2026. Анализ и оценка влияния ливневой деятельности на почвы агроландшафтов Томской области. Региональные геосистемы, 50(2): 272–284. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284 EDN: ENYJVR

Analysis of Rainfall Activity and Assessment of Its Effect on the Soils of Agricultural Landscapes in the Tomsk Region

Nina S. Evseeva, Margarita A. Kashiro, Zoya N. Kvasnikova, Irina V. Kuzhevskaya
National Research Tomsk State University
36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russia
nsevseeva@yandex, rumkashiro@yandexru, zojkwas@rambler.ru, i.kuzhevskaya@yandex.ru

Abstract. Storm erosion is a serious environmental and economic problem, posing a significant threat to soils and agricultural activities. With global climate change and an increase in total precipitation, the storm risk is disproportionately increasing. Despite the existing studies of the impact of rainfall on soils, forecasting the intensity and spatiotemporal distribution of rainfall remains a difficult task. The purpose of this study is to analyze rainfall patterns and assess their erosive potential in the agricultural landscapes of the southern regions of the Tomsk region. To achieve this goal, literary sources were studied, daily precipitation data from Tomsk and Bakchar stations for the period from 1960 to 2023 were analyzed, and field and desk observations of the effects of more than 20 downpours were conducted. The results showed that the storm activity in the studied area is focal and highly variable. It has been established that heavy rainfalls that occur over 2–5 days cause the greatest damage to arable land; soil loss has been recorded from 9–10 m^3/ha under agricultural crops to 40–100 m^3/ha under row crops. For an adequate assessment of storm activity, it is

© Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В., 2026

necessary to use an integrated approach, including GIS technologies, aerial photography from unmanned aerial vehicles, and field observations. Computational methods allow us to obtain only a general, average picture of the processes taking place.

Keywords: heavy rains, soil erosion, agrolandscapes, soil washout, Tomsk region

For citation: Evseeva N.S., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N., Kuzhevskaya I.V. 2026. Analysis of Rainfall Activity and Assessment of Its Effect on the Soils of Agricultural Landscapes in the Tomsk Region. Regional Geosystems, 50(2): 272–284 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284 EDN: ENYJVR

Введение

Ливни – опасное гидрометеорологическое явление, представляющее серьезную угрозу для хозяйственной деятельности человека. Они способны вызвать целый ряд негативных последствий, включая деградацию почвенного плодородия, вымокание и гибель посевов сельскохозяйственных культур, повышение уровня воды в реках, подтопление селитебных территорий, разрушение дорог и др., что приводит к значительным убыткам и экологическим проблемам.

В условиях меняющегося климата исследователи отмечают непропорциональное увеличение ливневой опасности в сравнении с возрастанием общего количества осадков, что наблюдается в разных частях планеты, в том числе и на территории России [Калинин и др., 2020; Borrelli et al., 2020; Ташилова, 2021; Володин, 2022; Мун и др., 2022; Гавриленко, 2023; и др.]. Согласно данным Ю.П. Переведенцева и др. [2021] в период с 1976 по 2019 годы на территории России наблюдался рост годового количества осадков, характеризующийся их увеличением на 2,2 % от нормы за десятилетие. Увеличение годовой суммы осадков, усиление ливневой опасности наблюдается и на территории центральной и южной частей Западно-Сибирской равнины [Евсеева и др., 2021; Чередько и др., 2022].

Дождевая эрозия, вызывающая смыв в агроландшафтах, зависит от количества и интенсивности осадков, механических свойств почвы пашни, их микрорельефа и состояния агрофона. Исследования показали, что значительная эрозия оголенных поверхностей почвы начинается при осадках, превышающих 10 мм/сут на склонах крутизной более 3°, но особенно усиливается при осадках ≥ 30 мм/сут [Иванова, Бураков, 2020]. Вследствие вышесказанного изучение ливневой эрозии актуально, поскольку сравнение реальных темпов эрозии с ее допустимыми значениями – необходимая процедура как при проектировании противоэрозионных мероприятий, так и при долговременном планировании в землепользовании [Кузнецов, Глазунов, 2024].

Ливневая эрозия, в отличие от талой снеговой развивается быстро, характеризуется неравномерным распределением осадков по территории, вариативностью их интенсивности и значительным влиянием кинетической энергии падающих капель дождя. При этом, размер дождевых капель напрямую влияет на степень их разрушительного воздействия на почву: чем крупнее капли, тем сильнее эрозия.

Динамичный процесс деградации почвенного покрова в результате ливневой деятельности изучается как в нашей стране, так и за рубежом [Yin et al., 2017; Piacentini et al., 2018; Ермолаев и др., 2019; Dunkerley, 2019; Panagos et al., 2020; Yu, 2022; Полуэктов, Балакай, 2025; и др.]. Несмотря на это остается малоизученным пространственно-временное распределение интенсивности ливневых осадков и объемов смыва почв в разных агроландшафтах, особенно для Западной Сибири, где ливневая деятельность развивается в теплое время года. Для этого региона остаются слабоизученными вопросы о частоте выпадения ливней, их распределении по месяцам, о величине смыва почв, гранулометрическом составе делювия и содержания в нем биогенов и др. Цель настоящей работы – анализ данных о ливнях и оценка их эрозионной опасности для

сельскохозяйственных угодий Томской области, расположенной на юго-востоке Западной Сибири.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – сельскохозяйственные земли территории Томской области (рис. 1). Рельеф южной части территории Томской области, где в основном расположены агроландшафты, равнинный, но имеются и различия: на левобережье р. Обь он в основном плоский, сильно заболоченной с абсолютными высотами в пределах 100–160 м, крутизна склонов пашен изменяется от 0–1° до 3–5°. На правобережье Оби в пределах Томь-Яйского междуречья рельеф преимущественно полого-увалистый, хорошо расчлененный с абсолютными высотами от 100 до 270 м. Пахотные угодья располагаются на склонах разной крутизны.

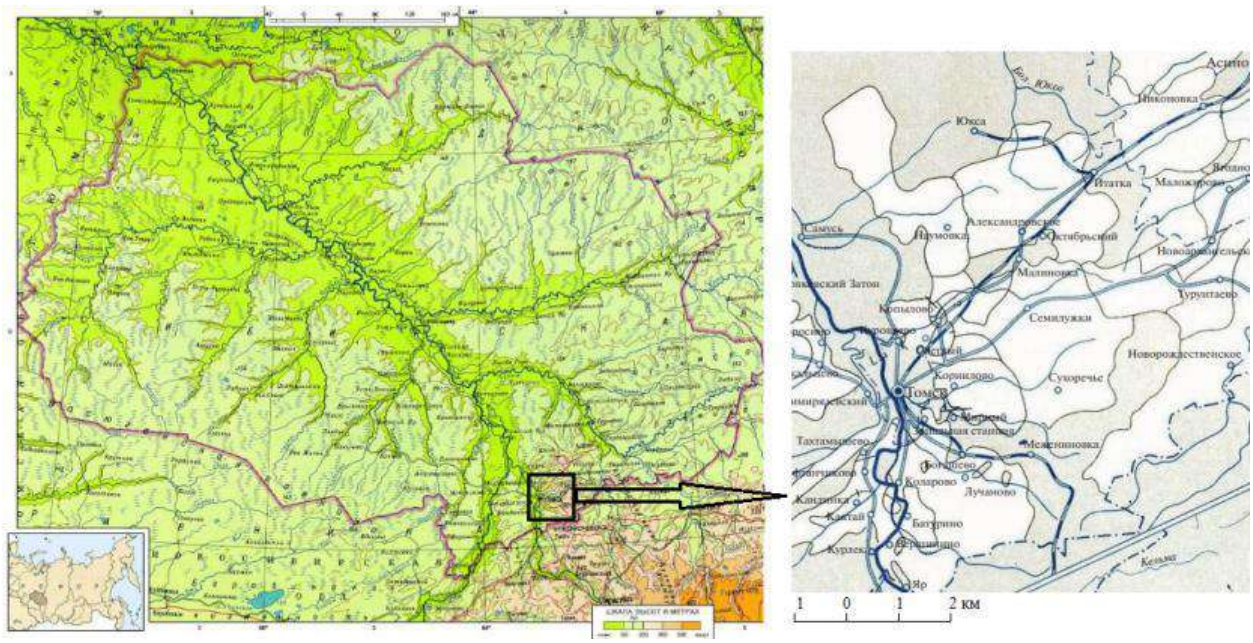


Рис. 1.Фрагмент схемы земель сельскохозяйственного назначения (белый цвет) на юго-востоке Томской области

Fig. 1. Fragment of the scheme of agricultural lands (white) in the south-east of Tomsk region

С поверхности исследуемая территория сложена карбонатными лессовыми породами. Лессовидные суглинки не водостойкие, они размокают в воде (в течение 2–120 минут), легко размываются. Мощность лессовых пород изменяется от 1–3 до 12 м, для них характерно развитие суффозии и просадочности. Вследствие этого на поверхности плакоров и в верхних частях склонов пашни развиты суффозионно-просадочные депрессии. Часто они не распахиваются, облесены березой, осиной, сосной, местами образуются мелкие озерки. Глубина депрессий достигает 3–5 м, длина их склонов – до 30–50 м, а крутизна – до 3–5°. Депрессии на пашне часто являются местными базисами эрозии для стока талых и дождевых вод, они способствуют формированию мозаичности крутизны склонов на пашне, что влияет на величину смыва почв, а также отложение делювия на дне депрессий. Лессовые суглинки являются почвообразующими.

Исследуемая территория находится в пределах двух подзон: южной тайги и подтайги, с преобладанием мелколиственных пород из березы, осины. Климат – умеренно-континентальный. Основу пахотных угодий в Томской области составляют серые лесные оподзоленные почвы (почти 74 %). В.А. Хмелев и др. [2001] отмечают, что

вследствие развития водно-эрозионных процессов происходит снижение потенциального плодородия почв: при стоке талых снеговых вод смыв почв на северных слонах составляет 5–15 м^3/га, а на южных склонах достигает 50–70 м^3/га. Таким образом, роль ливневых осадков в деградации почв не учтена, но она по данным наблюдений авторов настоящей статьи, значительна.

Вследствие этого нами проведен анализ режима выпадения дождей в теплое время года, их интенсивности, времени выпадения и эрозионных последствий. В работе проведен анализ литературных источников по теме исследования, а также данных суточного разрешения об атмосферных осадках со станций Томск и Бакчар с 1960 по 2023 годы из архива ВНИИГМИ-МЦД; полевых наблюдений за последствиями 20 ливней в пределах южных районов исследуемой территории (см. рис. 1) и ливня 1996 г. в Бакчарском районе Томской области.

Опасность эрозии в зависимости от слоя осадков, времени их выпадения иногда оценивается по показателю метеорологической силы дождя: $S = H / \sqrt{T}$ {1}; $S = i\sqrt{T}$ {2}; $S = \sqrt{Hi}$, {3}; где S – сила дождя, H – слой осадков, мм, T – период выпадения осадков, мин, i – интенсивность осадков, мм/мин [Горбачев, 1937]. Нами в силу имеющихся возможностей выбрана первая зависимость {1}. Этот параметр, связывающий простой зависимостью величину выпавших осадков и время их выпадения, позволяет оценить эффект воздействия дождя.

Для оценки потенциального смыва почв от стока ливневых осадков нами была использована зависимость Г.А. Ларионова [1993]:

$$C = Д \times П \times Р \times К_д$$

где C – модуль смыва от стока дождевых вод, т/га за год; $Д$ – эрозионный потенциал дождевых осадков; $П$ – смываемость почв, т/га на единицу эрозионного потенциала осадков; $Р$ – эрозионный потенциал рельефа; $К_д$ – почвозащитный коэффициент растительного покрова и агротехники.

Результаты и их обсуждение

В пределах исследуемой территории по данным наблюдений на метеостанциях Томск и Бакчар среднегодовая сумма осадков с 1960 по 2023 гг. изменялась от 300 до 765 мм/год, но отмечалась значительная вариация сумм осадков по годам. Из общего количества осадков за год на лето в среднем приходится 242,9 мм, но случаются годы с количеством летних осадков больше нормы. Например, в 1987 г. за лето выпало 414,1 мм, больше нормы их наблюдалось по данным метеостанции Томск в 1956, 1970, 2001–2004, 2009, 2011, 2022 годы. В 2024 году в Томске, за лето выпало 278,5 мм из них в августе 142 мм. Значительное количество осадков за лето в последние годы выпадало и в Бакчаре – 2017, 2018, 2022. За лето 2024 г. в Бакчаре выпало 338,5 мм осадков из них в августе 148 мм.

Аналитический обзор ливневой деятельности над территорией Томской области показал, что ливни здесь случаются ежегодно, в результате чего происходит смыв и размыв почв в агроландшафтах, а также полегание и вымокание сельскохозяйственных культур в депрессиях рельефа. Ливни в Томской области выпадают с апреля по октябрь. За период с 1967 по 2023 гг. по данным метеостанции Томск и Бакчар было зафиксировано изменение слоя осадков от 10 до 87 мм за время выпадения ливня (рис. 2).

Продолжительность ливней изменяется от 1 минуты до 7–9 часов; средняя интенсивность варьирует от 0,11–0,15 мм/мин до 1,0–3,0 мм/мин, но случаются ливни с очень высокой интенсивностью – более 5 мм/мин, на их долю приходится около 2 % всех дождей. Примеры таких ливней в южной тайге приводят Н.Н. Чередько и др. [2022] по данным метеостанций Старица, расположенной в южной тайге, среднем течении

р. Парабель: в течение 2018–2021 гг. здесь отмечалось 5 сильных дождей (с количеством осадков не менее 35 мм за 12 часов).

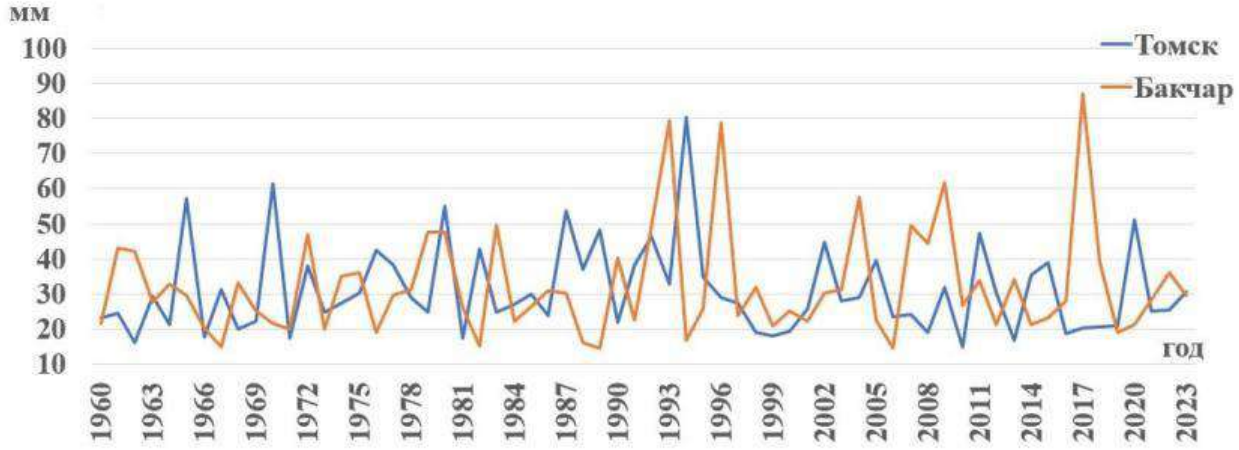


Рис. 2. Максимальный слой осадков (мм), зафиксированный во время ливня по метеостанциям Томск и Бакчар
Fig. 2. Maximum precipitation during heavy rain according to weather stations in Tomsk and Bakchar

Ливни с высокой интенсивностью выпадения особенно опасны для развития эрозии почв, а также оказывают влияние на инфраструктуру селитебных территорий. Анализ суточных норм осадков за 1967–2023 гг. показал, что отмечается увеличение числа случаев выпадения ливней (табл. 1). Практически ежегодно случаются ливни со слоем ≥ 30 мм/сут, например, на станции Бакчар таких ливней в 1996 г. было четыре. Характерной чертой выпадения ливней в пределах исследуемой территории является значительная сумма атмосферных осадков за сутки – до 87 мм; за двое суток – до 75 мм, за пять суток – до 130–150 мм. Такие осадки относятся к экстремальным и наносят значительный урон особенно на парах и сельскохозяйственных землях, занятых пропашными культурами, но также вызывают смыв и размыв почв под льном, зерновыми и даже многолетними травами, вызывают подтопление территории и др. Далее в статье нами приведены ряд примеров.

Таблица 1
Table 1

Число случаев ливней с разной суточной суммой осадков за 1967–2023 годы
Number of showers with different daily precipitation amounts for 1967–2023

Суточная сумма осадков, мм	Число случаев по метеостанциям, годы			
	Томск		Бакчар	
	1967–2017 (50 лет)	2018–2023 (6 лет)	1967–2017 (50 лет)	2018–2023 (6 лет)
10–20	11	45	8	45
20–30	22	9	22	15
30–50	25	1	27	5
>50	5	1	5	–

Исследователи отмечают тенденцию увеличения годовых сумм сильных осадков, в том числе максимальной пентадной суммы осадков, то есть осадков, выпавших за последовательные 5 суток (R5d) [Кужевская и др., 2018]. Увеличение повторяемости максимальной пентадной суммы осадков относительно месячной нормы отмечается над центральными и южными районами Западной Сибири, в том числе на территории Томской области. В отдельные годы суммы осадков, выпавших за 5 последовательных суток, могут превышать месячную норму осадков более чем на 190 % и выявляют ситуации, ассоциируемые с возникновением дождевых паводков (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Примеры экстремальных осадков над территорией юга Томской области за 1951–2017 годы (по [Кужевской и др. 2018])
Examples of extreme precipitation over the south of Tomsk region for 1951–2017 (according to [Kuzhevskaya et al. 2018])

Станции	Абсолютный максимум пентадной суммы осадков, мм месяц / год	Месячные нормы осадков, мм	Пентадная сумма осадков норма суммы осадков	Чрезвычайные происшествия / из них после 2000 г.
Первомайское	72,2 / август 1962	67	107,8	5 / 1
Томск	102,8 / август 1994	76	135,3	5 / 3
Бакчар	113 / июль 1996	74	152,7	8 / 4

В рядах многолетней повторяемости R5d отчетливо прослеживается квазипериодичность (2 года и 6 лет), обусловленная, скорей всего, повторяемостью синоптических процессов. Но предвидеть год (климатический прогноз) благоприятный для формирования экстремальных осадков на территорию не представляется возможным. Повторяемость экстремумов в рядах осадков показывает наличие высокой пространственной неоднородности их проявления, а сумма выпавших осадков часто превышает уровень средних значений в 2–3 раза. Эти данные подтверждают и наблюдения Л.Ф. Литвина и др. [2013], отмечающих, что сильные ливни характеризуются многоочаговостью, неравномерностью выпадения: суммы осадков за 1–2 часа под дождемером, установленным на расстоянии 120 м друг от друга, могут отклоняться на 50 % от средней. Ряд исследователей считают, что экстремальные ливни редкой повторяемости обладают исключительной эрозионной эффективностью, такие ливни дают 66–88 % суммарного объема смыва [Edwards, Owens, 1991].

Для решения вопроса о роли дождевых осадков в развитии эрозии почв нами проведены камеральные и полевые работы. В течение последних 38 лет обследовано воздействие 20 ливней с разным слоем осадков и временем выпадения на сельскохозяйственные ландшафты с различным агрофоном.

Для оценки эрозионного потенциала дождя – его стокоформирующей и эрозионной опасности – в настоящее время предлагаются разнообразные количественные показатели, учитывающие интенсивность и величину слоя осадков. Наиболее широко используется эрозионный индекс осадков *R*, предложенный W.H. Wischemyer и D.D. Smith [1978] расчетные методы изложены в работах П.Ф. Горбачева [1937], Г.А. Ларионова [1993], М.С. Кузнецова и др. [2024]. Кроме того, предложено «универсальное уравнение эрозии почв» (модели *USLE, RUSLE*), предполагается прямая пропорциональность между

среднемноголетней интенсивностью смыва и среднемноголетними годовыми суммами эрозионного потенциала дождя R_{30}.

Н.С. Евсеевой и Р.В. Кнаубом [2004] по методике Г.А. Ларионова [1993] рассчитана величина потенциального смыва почв от стока дождевых осадков в пределах Томь-Яйского междуречья юга Томской области. Смыв почв на исследуемой территории изменяется от 0 до 3,7 т/га и может достигать 12,7–32,2 т/га. Авторами работы также проведены расчеты метеорологической силы дождя (по методике П.Ф. Горбачева [1937]) для ливней с разными слоями осадков и временем выпадения (около 100 случаев) разных лет. Выявлено, что сила дождей изменяется от 0,3–0,5 до 10; в результате ливни вызывают как слабое разрушение почвы, так и очень сильный смыв, и размыв грунтов в соответствии с классификацией дождей для оценки по силе их гидрологических последствий, предложенной П.Ф. Горбачевым [1937].

Во время ливней, продолжительность которых варьирует от 1 минуты до 9 часов, на поверхность почвы попадает большая масса воды: И.Г. Грингоф и А.Д. Клещенко [2011], отмечают, что 1 мм осадков – это 10 т воды на 1 га. При выпадении ливней со слоем более 30 мм эродирующая сила воды весьма значительна, но большую роль на эрозионный процесс оказывают микрорельеф пашни, длина и крутизна склонов, состояние агрофона. Рассмотрим это влияние на примере ряда ливней с разным слоем осадков, временем выпадения. Как показали исследования при ливневой эрозии, почвогрунты смываются со склонов текучий водой, но механизм удаления различен и осуществляется:

1 – в результате воздействия кинетической энергии капель дождя, около 30 % расходуется на диспергирование почвенных частиц. Как следствие, на открытых или слабо защищенных растительным покровом участках, мелкозем поднимается в воздух на высоту 1–1,5 м и переносится на расстояние до 1,5 м от точки удара [Сластихин, 1980]. Результаты полевых наблюдений, проведенных нами, подтверждают закономерности, выявленные в цитируемой работе. Например, после ливней 21 августа и 26 августа 2024 года со слоем осадков 29 мм дождевая эрозия на склонах пашни юго-востока Томской области со всходами озимых привела к «выбиванию» их с образованием оголенных участков, а в депрессиях рельефа – к замыванию посевов. Подобное отмечалось нами неоднократно (рис. 3).



Рис. 3. Состояние посадок льна на пашне Томь-Яйского междуречья после ливня в 2020 году (фото А.С. Батмановой)
Fig. 3. The state of flax plantings in the arable land of the Tom-Ya interfluve after the downpour in 2020 (photo by A.S. Batmanova)

2 – во время сильных ливней на склонах происходит сток воды, но эрозионный эффект, как отмечалось ранее, различен. Рассмотрим примеры влияния агрофона, длины, крутизны склонов на примере ряда ливней с разным слоем осадков, а также эрозионный эффект от сильных ливней (табл. 3). Анализ таблицы показывает, что метеорологическая сила ливней (*S*) значительна и дожди производят смыв и размыв почв за короткий период времени: по зяби – за 1 минуту до 2 м^3/га, по пропашным культурам за 9,5 часов – до 40–110 м^3/га.

Таблица 3
Table 3

Примеры оценок объема смыва почв со склонов пашни с разным агрофоном в пределах Томь-Яйского междуречья
Examples of the volume of soil erosion from the slopes of arable land with different agricultural backgrounds within the Tom-Ya interfluve

Дата выпадения ливня	Слой осадков, мм / время выпадения, мин /сила ливня, *S*	Состояние агрофона	Микрорельеф пашни, крутизна склона, эрозионные процессы, смыв почв
30.06.1987 01.07.1987	74,3/570/3	Боронованная зябь поперек склона	Прямой склон (3–11°), длиной 100 м. Смыв 4–6 м^3/га
		Посадки картофеля	Прямой склон (2–8°), длиной 300–500 м. Струйчатые размывы (длина 200 м, ширина до 1,5 м, глубина 0,7 м). Смыв 40–100 м^3/га
14.06.1990	9,9/57/1,3	Посевы злаков в стадии кущения	Прямой склон (2–7°), южная экспозиция, длиной 300 м. Четырнадцать водороин (длина 27–36 м, глубина 1–15 см). Конус выноса площадью 12 м^2 с мощностью делювия 7–12 см, смыв 1–4 м^3/га
09.09.2002	26,0/350/1,4	Стерня после уборки льна	Склон северной экспозиции. Девять размывов длиной 9 м, шириной 0,3 м и глубиной 0,05 м. Смыв 3–3,5 м^3/га
			Склон южной экспозиции с промоинами длиной до 257 м, глубиной 63 см. Семь размывов. Смыв 5–8 м^3/га
22.06.2003	28/65/3,5	Посевы овса в стадии кущения	Склон прямой (1–5°), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв и размыв почв с образованием конусов выноса. Смыв 4–5 м^3/га
05.07.2013	34,1/1105/>1	Посевы злаковых, высотой 20–30 см. Полевая дорога между полей	Пологоволнистый склон (2–7°), экспозиция южная. Размывы длиной 57 м, глубиной 105 см и шириной 95 см. Местами на склонах депрессии размывы длиной 5–7 м, местам посевы «выбиты»
03.06.2015	3,7/1/3,7	Боронованная зябь поперек склона	Прямой склон (2–11°), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв 0,5–2 м^3/га
03.07.2020 04.07.2020	21/245/8,1	Злаковые в стадии кущения, рядки поперек склона	Прямой склон (2–11°), экспозиция южная, длиной 300 м. Местами выбиты посевы, смыв 1–3 м^3/га
		Густые посевы льна высотой 60–70 см	Склон сложной формы (1–10°), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв почвы 1–10 м^3/га, у подножия склона

			образовался делювиальный шлейф, мощностью 5–10 см

Согласно СП 115.13330.2016 [2021] интенсивность смыва почвы со склонов пашни ливневыми осадками изменяется от умеренно опасного процесса – 1–5 м^3/га до весьма опасного – 10–15 м^3/га. В отдельные годы при выпадении экстремальных осадков (за одни сутки, за 3–5 суток) происходит большой объем смыва почв со склонов пашни крутизной более 3°, особенно по пропашным культурам.

В случае плоского, плоско-волнистого микрорельефа пашни происходит заиление делювием растений в депрессиях рельефа, а также их вымокание. Например, в 1996 г. после сильных ливней в июле произошло стопроцентное полегание посевов на полях одного из хозяйств Бакчарского района Томской области. Этим ливнем были повреждены зерновые на площади 2900 га, кормовые – на 1800 га, ущерб составил 1 млрд 475 млн. руб. (цены 1996 г.) [Евсеева и др., 2021].

Ливни, как и затяжные дожди, приводят к подъему уровня воды в реках, подтоплению селитебных территорий, повреждению дорожных полотен, мостов. Примеры такого воздействия многочисленны: ливни 15–17 июня 2017 г. привели к размыву дорог в Томском районе, а ливни 20–22 июля 2018 г. вызвали повреждение мостов в Бакчарском районе [Дорогу…, 2025]; ливни 18–19 июля 2022 г., когда выпало 70 мм осадков, привели к обводнению улиц и затоплению подземных переходов в Томске [«Венеция» …, 2025], сильные ливни 26–27 мая 2024 г. в Томске вызвали локальные подтопления [На Томск…, 2025], а 18 июня 2024 г. вызвали возникновение грязевых потоков [В Томске…, 2025].

Заключение

Комплексный анализ полевых, камеральных и литературных данных за период с 1967–2024 гг. позволил установить основные закономерности и последствия ливневой деятельности на территории агроландшафтов юго-востока Томской области. Отмечается усиление ливневой деятельности над территорией Томской области с 2017 г. и частота вызванных ею чрезвычайных происшествий, что согласуется с общими тенденциями изменения климата.

Характерной чертой выпадения ливней является значительная сумма атмосферных осадков за сутки – до 87 мм; за пять суток – до 152,7 мм. Ливни являются одним из факторов деградации почвенного покрова в агроландшафтах Томской области, вызывая смыв и размыв почв, полегание и вымокание сельскохозяйственных культур. Величина потенциального смыва почв от стока дождевых осадков может достигать значительных показателей (до 30 т/га). Наибольшая интенсивность денудационных процессов в агроландшафтах зафиксирована на боронованной зяби и пропашных культурах, достигая 40–100 м³/га на склонах крутизной свыше 2–3°.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании рекомендаций для сельскохозяйственных производителей по снижению эрозионной опасности ливневых осадков, оценки рисков и разработки стратегий адаптации к изменению климата в сельском хозяйстве Томской области.

Критический анализ показал, что традиционные расчетные методы оценки эрозионного потенциала осадков предоставляют лишь усредненную картину для получения репрезентативных данных о динамике ливневой денудации, что обусловливает необходимость мультиметодологического подхода, включающего ГИС-технологии, дистанционное зондирование с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и детальные верификационные полевые наблюдения. Поэтому дальнейшее детальное изучение пространственно-временного распределения интенсивности ливневых осадков и объемов смыва почв в разных агроландшафтах Томской области на основе

комплексного подхода позволит разработать более эффективные меры по снижению негативного воздействия ливневой эрозии на почвы и обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях меняющегося климата.

Список источников

В Томске ливневки затопили улицы города. Комсомольская правда. Электронный ресурс. URL: https://www.tomsk.kp.ru/daily/27596/4947105/ (дата обращения: 11.03.2025).

«Венеция» в Томске: после ливня 17 июня город утонул в лужах. Комсомольская правда. Электронный ресурс. URL: https://www.tomsk.kp.ru/daily/27407.5/4603908 (дата обращения: 11.03.2025).

Горбачев П.Ф. 1937. Методы расчета ливневого стока. М., Издательство «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, 167 с.

Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. 2011. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 808 с.

Дорогу Бакчар – Большая Галка в Томской области разрушил паводок. ФедералПресс. Электронный ресурс. URL: https://fedpress.ru/news/70/incidents/2074493 (дата обращения: 10.02.2025).

Иванова О.И., Бураков Д.А. 2020. Эрозия почв. Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет, 103 с.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. 2024. Эрозия и охрана почв. М., Издательство Юрайт, 387 с.

На Томск обрушился ливень. Московский комсомолец. Электронный ресурс. URL: https://tomsk.mk.ru/social/2024/05/21/na-tomsk-obrushilsya-liven.html (дата обращения: 11.03.2025).

СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. 2021. Актуализированная редакция. М., Стандартинформ, Электронный ресурс. URL: https://docs.cntd.ru/document/456054202 (дата обращения: 07.08.2025).

Список литературы

Володин Е.М. 2022. Вероятные изменения климата в XXI веке на территории России по данным модели климата INM-CM5-0. Метеорология и гидрология, 5: 5–13. https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-5-13

Гавриленко М.А. 2023. Динамика и режим выпадения атмосферных осадков в летний период в условиях глобального потепления климата. В кн.: Агрометеорология XXI века. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию кафедры метеорологии и климатологии, Москва, 19 декабря 2023. Москва, Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных: 138–144.

Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. 2021. Ливни как природный риск и их экологические аспекты (на примере южной части Томской области). Геосферные исследования, 4: 73–84. https://doi.org/10.17223/25421379/21/6

Евсеева Н.С., Кнауб Р.В. 2004. Оценка потенциального смыва почв на юго-востоке таежной зоны Западно-Сибирской равнины стока дождевых осадков (на примере Томской области). В кн.: Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования: Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, 20–24 сентября 2004. Новосибирск: 105–107.

Ермолаев О.П., Усманов Б.М., Гафуров А.М., Голосов В.Н. 2019. Оценка темпов смыва на склонах методом наземного лазерного сканирования. В кн.: Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природноантропогенной эрозии на Русской равнине. Казань, АН РТ: 115–122.

Калинин Н.А., Сивков Б.А., Дмитриев А.В. 2020. Условия формирования ливневых осадков теплого периода в Пермском крае. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 30(3): 295–306. https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-3-295-306

Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Шарапова А.А. 2018. Характеристики конвективных кластеров, восстановленные по данным инструментов зондирования ATOVS. Фундаментальная и прикладная климатология, 2: 69–85. https://doi.org/ 10.21513/2410-8758-2018-2-69-85

Ларионов Г.А. 1993. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности количественная оценка. Москва, МГУ, 200 с.

Литвин Л.Ф., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф. 2013. Вариабельность факторов и количественные оценки эрозии. В кн.: Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения, Пермь, 08–10 октября 2013. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет: 129–131.

Мун Д.В., Попета В.В., Мингалеев С.Г. 2022. Климатические изменения: Россия в зоне повышенного риска. Экономика, предпринимательство и право, 12(10): 2895–2914. https://doi.org/10.18334/epp.12.10.116575

Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г. Шанталиский К.М. 2021. Изменение температуры влажностного режима на территории России 1976-2019 гг. В кн.: Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле, Томск, 08–12 ноября 2021. Томск, Томский центр научно-технической информации: 180–183.

Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. 2025. Особенности проявления эрозионных процессов при снеготаянии и выпадении ливневых дождей на юге России. Мелиорация и гидротехника, 15(1): 1–22.

Сластихин В.В. 1980. Методика исследования эрозии почв, вызываемой интенсивными осадками. В кн.: Современные аспекты изучения эрозионных процессов. Новосибирск, Наука: 28–32.

Ташилова А.А. 2021. Изменения в распределении региональных осадков в ответ на глобальное потепление. Наука. Инновации. Технологии, 3: 73–90. https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.5

Хмелев В.А., Каличкин В.К., Азаренко В.Г., Шипилин Н.Н. 2001. Агроэкологические основы землепользования в Томской области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 255 с.

Чередько Н.Н., Волкова М.А., Кужевская И.В., Чурсин В.В. 2022. Экстремальные летние осадки в Сибири в 2015–2021 гг. В кн.: ENVIROMIS-2022. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 12–17 сентября 2022. Томск, Томский ЦНТИ: 332–335.

Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., … Ballabio C. 2020. Land Use and Climate Change Impacts on Global Soil Erosion by Water (2015–2070). PNAS, 117(36): 21994–22001. https:doi.org/10.1073/pnas.2001403117

Dunkerley D.L. 2019. Rainfall Intensity Bursts and the Erosion of Soils: an Analysis Highlighting the Need for High Temporal Resolution Rainfall Data for Research Under Current and Future Climates. Earth Surface Dynamics, 7: 345–360. https://doi.org/10.5194/esurf-7-345-2019

Edwards W.M., Owens L.B. 1991. Large Storm Effects on Total Soil Erosion. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 75–78. https://doi.org/10.1080/00224561.1991.12456579

Piacentini T., Galli A., Marsala V., Miccadei E. 2018. Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy. Water, 10(10): 1314. https://doi.org/10.3390/w10101314

Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., … Borrelli P. 2020. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. Remote Sens, 12(9): 1365. https:doi.org/10.3390/rs12091365

Wischemyer W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Maryland, USDA Agriculture Handbook, 69 p.

Yin S., Nearing M.A., Borrelli P., Xue X. 2017. Rainfall Erosivity: An Overview of Methodologies and Applications. Vadose Zone Journal, 16(12): 1–16. https:doi:10.2136/vzj2017.06.0131

Yu Z. 2022. Effects of Soil Erosion and Heavy Rainfall on Ecosystem with Respect to Time Intervals. Global Science Research Journal, 11(3): 1–2. https:doi: 10.15651/2449-1780.22.11.013

References

Volodin E.M. 2022. Possible Climate Change in Russia in the 21st Century Based on the INM-CM5-0 Climate Model. Russian Meteorology and Hydrology, 47(5): 327–333 (in Russian). https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-5-13

Gavrilenko M.A. 2023. Dinamika i rezhim vypadeniya atmosfernykh osadkov v letniy period v usloviyakh global'nogo potepleniya klimata [Dynamics and Regime of Precipitation in Summer Under Conditions of Global Warming]. In: Agrometeorologiya XXI veka [Agrometeorology of the 21st century]. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the Department of Meteorology and Climatology, Moscow, 19 December 2023. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii. Mirovoy tsentr dannykh: 138–144.

Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kuzhevskaya I.V. 2021. Rainfalls as a Natural Risk and Their Ecological Aspects (on the Example Southern Part of the Tomsk Region). Geosphere research, 4: 73–84 (in Russian). https://doi.org/10.17223/25421379/21/6

Evseeva N.S., Knaub R.V. 2004. Otsenka potentsial'nogo smyva pochv na yugo-vostoke taezhnoy zony Zapadno-Sibirskoy ravniny stoka dozhdevykh osadkov (na primere Tomskoy oblasti) [Assessment of Potential Soil Erosion in the Southeastern Taiga Zone of the West Siberian Plain Due to Rainfall Runoff (Using Tomsk Oblast as an Example)]. In: Relief-forming processes theory, practice, and research methods: Proceedings of the XXVIII Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences, 20–24 September 2004. Novosibirsk: 105–107.

Ermolaev O.P., Usmanov B.M., Gafurov A.M., Golosov V.N. 2019. Estimation of the Rate of Flush on Slopes by Ground Laser Scanning. In: Spatio-Temporal Patterns of Contemporary Processes Dynamics of Natural and Human-Induced Erosion on Agricultural Lands of the Russian Plain. Kazan, Publ. AN RT: 115–122 (in Russian).

Kalinin N.A., Sivkov B.A., Dmitriev A.V. 2020. Formation Conditions of Warm-Season Storm Rainfall in Perm Region.Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle, 30(3): 295–306. https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-3-295-306

Kuzhevskaya I.V., Pustovalov K.N., Sharapova A.A. 2018. Characteristics of Convective Clusters Reconstructed from Data Obtained with Atovs Sensing Tools. Fundamental and applied climatology, 2: 69–85 (in Russian).

Larionov G.A. 1993. Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnye zakonomernosti kolichestvennaya otsenka [Soil Erosion and Deflation: Main Patterns and Quantitative Assessment]. Moscow, Pabl. MGU, 200 p.

Litvin L.F., Dobrovol'skaya N.G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F. 2013. Variabel'nost' faktorov i kolichestvennye otsenki erozii [Variability of Factors and Quantitative Assessments of Erosion]. In: Twenty-eighth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes: reports and short communications, Perm, 8–10 October 2013. Perm, Pabl. Perm State National Research University: 129–131.

Mun D.V., Popeta V.V., Mingaleev S.G. 2022. Climate Change: Russia at High Risk. Journal of Economics, Entrepreneurship and Law, 12(10): 2895–2914 (in Russian). https://doi.org/10.18334/epp.12.10.116575

Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G. Shantaliskiy K.M. 2021. Izmenenie temperatury vlazhnostnogo rezhima na territorii Rossii 1976-2019 gg. [Temperature and Humidity Regime Changes in Russia from 1976 to 2019]. In: Dynamics and interaction of the Earth's geospheres [Dynamics and Interaction of the Earth's Geospheres]. Proceedings of the All-Russian conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of the training of specialists in the field of earth sciences at Tomsk State University, Tomsk, 8–12 November 2021. Tomsk, Pabl. Tomskiy tsentr nauchno-tekhnicheskoy informatsii: 180–183.

Poluektov E.V., Balakay G.T. 2025. Features of erosion processes manifestation during snowmelt and heavy rainfall in the south of Russia. Land Reclamation and Hydraulic Engineering, 15(1): 1–22 (in Russian).

Slastikhin V.V. 1980. Metodika issledovaniya erozii pochv, vyzyvaemoy intensivnymi osadkami. [Methodology for Studying Soil Erosion Caused by Intense Precipitation]. In: Sovremennyye aspekty izucheniya erozionnykh protsessov [Modern Aspects of the Study of Erosion Processes]. Novosibirsk, Pabl. Nauka: 28–32.

Tashilova A.A. 2021. Changes in Regional Precipitation Distribution in Response to Global Warming. Science. Innovations. Technologies, 3: 73–90 (in Russian). https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.5

Khmelev V.A., Kalichkin V.K., Azarenko V.G., Shipilin N.N. 2001. Agroekologicheskie osnovy zemlepol'zovaniya v Tomskoy oblasti [Agroecological Principles of Land Use in the Tomsk Region]. Novosibirsk, Pabl. SO RAN, 255 p.

Chered'ko N.N., Volkova M.A., Kuzhevskaya I.V., Chursin V.V. 2022. Ekstremal'nye letnie osadki v Sibiri v 2015–2021 gg. [Extreme Summer Precipitation in Siberia in 2015–2021]. In: ENVIROMIS-2022. International Conference and School of Young Scientists on Measurements, Modeling, and Information Systems for Environmental Studies, Tomsk, 12–17 September 2022. Tomsk, Pabl. Tomskiy TsNTI: 332–335.

Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., … Ballabio C. 2020. Land Use and Climate Change Impacts on Global Soil Erosion by Water (2015–2070). PNAS, 117(36): 21994–22001. https:doi.org/10.1073/pnas.2001403117

Dunkerley D.L. 2019. Rainfall Intensity Bursts and the Erosion of Soils: an Analysis Highlighting the Need for High Temporal Resolution Rainfall Data for Research Under Current and Future Climates. Earth Surface Dynamics, 7: 345–360. https://doi.org/10.5194/esurf-7-345-2019

Edwards W.M., Owens L.B. 1991. Large Storm Effects on Total Soil Erosion. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 75–78. https://doi.org/10.1080/00224561.1991.12456579

Piacentini T., Galli A., Marsala V., Miccadei E. 2018. Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy. Water, 10(10): 1314. https://doi.org/10.3390/w10101314

Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., … Borrelli P. 2020. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. Remote Sens, 12(9): 1365. https:doi.org/10.3390/rs12091365

Wischemyer W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Maryland, USDA Agriculture Handbook, 69 p.

Yin S., Nearing M.A., Borrelli P., Xue X. 2017. Rainfall Erosivity: An Overview of Methodologies and Applications. Vadose Zone Journal, 16(12): 1–16. https:doi:10.2136/vzj2017.06.0131

Yu Z. 2022. Effects of Soil Erosion and Heavy Rainfall on Ecosystem with Respect to Time Intervals. Global Science Research Journal, 11(3): 1–2. https:doi: 10.15651/2449-1780.22.11.013

Поступила в редакцию 18.09.2025;
поступила после рецензирования 27.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025

Received September 18, 2025;
Revised October 27, 2025;
Accepted November 24, 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

Евсеева Нина Степановна, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Каширо Маргарита Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Квасникова Зоя Николаевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Кужевская Ирина Валерьевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры метеорологии и климатологии, Национальный исследовательский Томский государственный

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nina S. Evseeva, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Margarita A. Kashiro, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Zoya N. Kvasnikova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Irina V. Kuzhevskaya, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Meteorology and Climatology, National Research Tomsk State University, Tomsk,

университет, г. Томск, Россия Russia

УДК 631.436; 910.3; 551.4.022
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-285-298
EDN BJLLFY

Влияние выпаса на температурный режим почв Терско-Кумского междуречья

[1]Пинской В.Н., [2]Атаев З.В., [3]Идрисов И.А., [1]Борисов А.В.
[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Россия, 142290, г. Пущино, ул. Институтская, 2а,
[2]Дагестанский государственный университет,
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а
[3]Институт геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН
Россия, 367010, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75
pinskoy@inbox.ru

Аннотация. Исследовано влияние различной интенсивности выпаса на температурный режим почв Терско-Кумского междуречья. Изучали годовой ход температур на глубинах 7 и 18 см в каштановых почвах, солонцах и почвах пастбищных бедлендов (абраземах солонцовых). Установлено, что интенсивный выпас и скотопрогон приводят к более глубокому зимнему промерзанию почв по сравнению с территориями с умеренной пастбищной нагрузкой. Причиной этого являются высокая плотность, более тяжелый гранулометрический состав и более высокая влагоудерживающая способность почв в условиях перевыпаса, обусловленные развитием солонцового процесса. Летом на участках с перевыпасом наблюдаются снижение температур и уменьшение их суточной амплитуды вследствие увеличения альбедо верхнего горизонта солонцов и в результате формирования осветленной корочки из опесчаненного материала на поверхности почв пастбищных бедлендов. В зоне умеренного выпаса для каштановых почв характерны отсутствие промерзания и более высокие летние температуры, что объясняется интенсивным десукционным иссушением и меньшим альбедо каштановых почв при относительно низком проективном покрытии. При дальнейшем усилении пастбищной нагрузки в пустынно-степной зоне Терско-Кумского междуречья будет происходить общее снижение температуры почв и их переход из фации непромерзающих в фацию кратковременно промерзающих почв.

Ключевые слова: температура почв, солонцы, выпас, эрозия, каштановые почвы

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20040 «Пространственно-временная изменчивость приморских природных и антропогенных ландшафтов Дагестана под влиянием современных климатических изменений и колебаний уровенного режима Каспийского моря», http: //rscf.ru/project/25-17-20040/».

Для цитирования: Пинской В.Н., Атаев З.В., Идрисов И.А., Борисов А.В. 2026. Влияние выпаса на температурный режим почв Терско-Кумского междуречья. Региональные геосистемы, 50(2): 285–298. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-285-298 EDN: BJLLFY

Effect of Grazing on the Temperature Regime of the Soils of the Tersko Terek-Kuma Interfluve

[1]Viktor N. Pinskoy, [2]Zagir V. Ataev, [3]Idris A. Idrisov, [1]Aleksandr V. Borisov
[1]Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences,
2a Institutskaya St., Pushchino, 142290, Russia

© Пинской В.Н., Атаев З.В., Идрисов И.А., Борисов А.В., 2026

[2]Dagestan State University,
43a M. Gadzhiev St., Makhachkala 367000, Russia
[3]Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
75 Yaragskogo St., Makhachkala 367010, Russia
pinskoy@inbox.ru

Abstract. The paper presents the results of a study into the effect of grazing on soil temperature in the Terek-Kuma interfluve. Annual temperature variations were examined at depths of seven and 18 cm in chestnut soils, solonetz soils, and pasture badlands (abrazems). We have found that intensive grazing and trampling lead to deeper winter soil freezing compared to areas with moderate grazing pressure. This is connected with a higher soil density, heavier texture, and higher water-holding capacity of overgrazed soils. These soil properties are caused by the development of the solonetz process. In summer, temperatures go down and the diurnal amplitude decreases on overgrazed plots due to the increased albedo of the upper horizon of solonetz soils and the formation of a lightened crust of sandy material on the soil surface of pasture badlands. In the moderate grazing zone, chestnut soils do not freeze, and summer temperatures are higher. This is explained by intense desiccation and the lower albedo of chestnut soils with relatively sparse vegetation. As the pasture load increases further in the desert-walled zone of the Terek-Kuma interfluve, the soil temperature will decrease overall, and the transition from a non-freezing to a briefly freezing soil phase will take place.

Keywords: soil temperature, solonetz soils, grazing, erosion, kastanozems

Acknowledgements: The study was supported by grant No. 25-17-20040 from the Russian Science Foundation, “Spatio-temporal variability of coastal natural and anthropogenic landscapes of Dagestan under the influence of modern climate change and fluctuations in the level regime of the Caspian Sea,” http: //rscf.ru/project/25-17-20040/”

For citation: Pinskoy V.N., Atayev Z.V., Idrisov I.A., Borisov A.V. 2026. Effect of Grazing on the Temperature Regime of the Soils of the Terek-Kuma Interfluves. Regional Geosystems, 50(2): 285–298 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-285-298 EDN: BJLLFY

Введение

Температурный режим почв представляет собой один из ключевых факторов, влияющих на биологическую активность, физико-химические процессы и продуктивность природных экосистем [Onwuka, Mang, 2018; Guan et al., 2022]. В степной зоне состояние пастбищных почв напрямую зависит от степени пастбищной нагрузки [Лазарева, 2018].

Интенсивный выпас приводит к изменению структуры и снижению проективного покрытия, что в свою очередь изменяет альбедо, теплообмен почвы и атмосферы, а также температурный и выпотной режим почвы [Аветов и др., 2011; Козунь и др., 2013; Казиев и др., 2015; Залибеков, 2016], что в итоге приводит к снижению продуктивности пастбищ [Насиев, 2016; Насиев, Беккалиев, 2019; Темботова и др., 2023]. В то же время умеренный режим выпаса может поддерживать оптимальные условия для растительности и биологических процессов в почве, способствуя устойчивому природопользованию территории [Муратова и др., 2006; Зубкова и др., 2014].

Выпас скота изменяет температуру почвы, что, в свою очередь, влияет на активность микроорганизмов, скорость разложения органического вещества и круговорот питательных веществ [Butenschoen et al., 2011]. При наличии доступных субстратов биологическая активность в условиях выпаса увеличивается [Frey et al., 2008]. Однако эффект влияния температуры не прямой, а в значительной мере опосредованный через водный режим почв [Poll et al., 2013].

Общепринято, что выпас увеличивает суточную изменчивость температуры и среднюю температуру почвы [Odriozola et al., 2014]. Особенно интенсивно при выпасе изменяется температурный режим верхнего сантиметрового слоя [Zhang et al., 2023]. Известны работы, в которых показано, что температура почвы увеличивалась

экспоненциально с увеличением интенсивности выпаса в теплый сезон из-за удаления надземной биомассы и уменьшалась линейно с увеличением интенсивности выпаса в холодный сезон [Yan et al., 2018]. Интенсивный выпас повышал температуру почвы (глубина 10 см) в среднем на 2,6 °C с апреля по октябрь (наибольшее почасовое повышение температуры составило 8,8 °C), что представляет собой эффект нагревания почвы в 3,7 раза больше, чем глобальное потепление [Yan et al., 2018].

Выпас повышает водоудерживающую способность почвы, особенно на крупнозернистых почвах [Odriozola et al., 2014]. Показаны ковариации изменений температуры почвы с ее влажностью в различные временные периоды. При температуре почвы выше 0 °C ее температура и влажность демонстрировали обратную корреляцию, когда температура почвы опускалась ниже 0 °C, корреляции были положительными [Chang et al., 2021].

Современные исследования включают комплексный анализ температуры почв, их физико-химических свойств, агрохимических характеристик и биологических параметров [Жилкин, Батановская, 2003; Гасанов и др., 2017; Любимова, 2022]. В то же время для аридных регионов особую значимость приобретают исследования закономерностей изменений температурного режима почв в зависимости от степени интенсивности антропогенного воздействия, которое, зачастую выступает в качестве определяющего фактора развития экосистем [Муратова и др., 2006; Сотнева, 2006; Аветов и др., 2011; Козунь и др., 2013; Зубкова и др., 2014; Казиев и др., 2015; Любимова, 2022;]. В этой связи целью данного исследования была оценка динамики температур почв естественных пастбищ пустынных степей Терско-Кумского междуречья в условиях разной интенсивности выпаса.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования расположены на территории Прикаспийской низменности в северной части Терско-Кумского междуречья – Прикумской супесчано-суглинистой равнине. Территория относится к наиболее аридным районам нашей страны с резко континентальным климатом, характеризующимся значительными сезонными колебаниями температуры и низким уровнем осадков (среднегодовое количество осадков около 290 мм) [Агроклиматический справочник …, 1963]. Длительность засушливого периода достигает 5 месяцев [Агрометеорологический обзор…, 2015]. Среднегодовая температура воздуха составляет +11,0 °C, среднегодовая температура теплого периода года +18,1 °C, холодного +0,5 °C, относительная влажность воздуха в теплый период довольно низкая – 46,2 %. Продолжительность безморозного периода составляет 288 дней. Период с температурой выше +5 °C продолжается 232 дня. Период с температурой выше +10 °C составляет 192 дня. Сумма температур за период с температурой выше +5 °C составляет 4076 °C, за период с температурой выше +10 °C – 3770 °C. В Тарумовском районе Республики Дагестан максимальная температура воздуха может достигать +40,2–40,4 °C. Минимальная температура составляет –24,3... –27,3 °C. Снежный покров неустойчивый, образуется раз в 3–5 лет, и может сохраняться до 5–7 дней. Характерна частая повторяемость южных и юго-восточных ветров. Число дней с сильным ветром (> 15 м/сек) в разных точках низменности колеблется от 19 (Терекли–Мектеб) до 49 м/сек (Кочубей). Коэффициент увлажнения составляет 800–900 мм [Керимханов и др., 1975].

В пустынной зоне уровень осадков несколько ниже – от 180 до 200 мм в год, максимум приходится на середину весны, преимущественно на апрель и начало мая. Среднегодовая температура воздуха здесь также около +7 °C, с июльской максимальной температурой до +30 °C и январской минимальной – до –30 °C [Агрометеорологический обзор…, 2015].

Почвообразующие породы представлены супесчаными отложениями древних трансгрессий Каспия, покрытыми легкосуглинистыми наносами эолового происхождения. Значительные площади, прежде всего в приморской зоне, заняты солончаками и солеными озерами.

Природные условия Терско-Кумской низменности определяют специфический температурный режим почв, в который свой вклад, наряду с климатическими факторами, вносят и локальные условия, такие как состояние растительного покрова и степень антропогенной нагрузки [Сотнева, 2006; Аветов и др., 2011; Казиев и др., 2015]. Данная территория используется в основном под зимние пастбища, чему способствуют бесснежные и мягкие зимы [Курбанов, 2021].

Объекты исследования располагались в 12 км к северо-западу от п. Кочубей Тарумовского района Республики Дагестан (координаты: 44.48050602162179 N, 46.45893074008299 E (рис. 1).

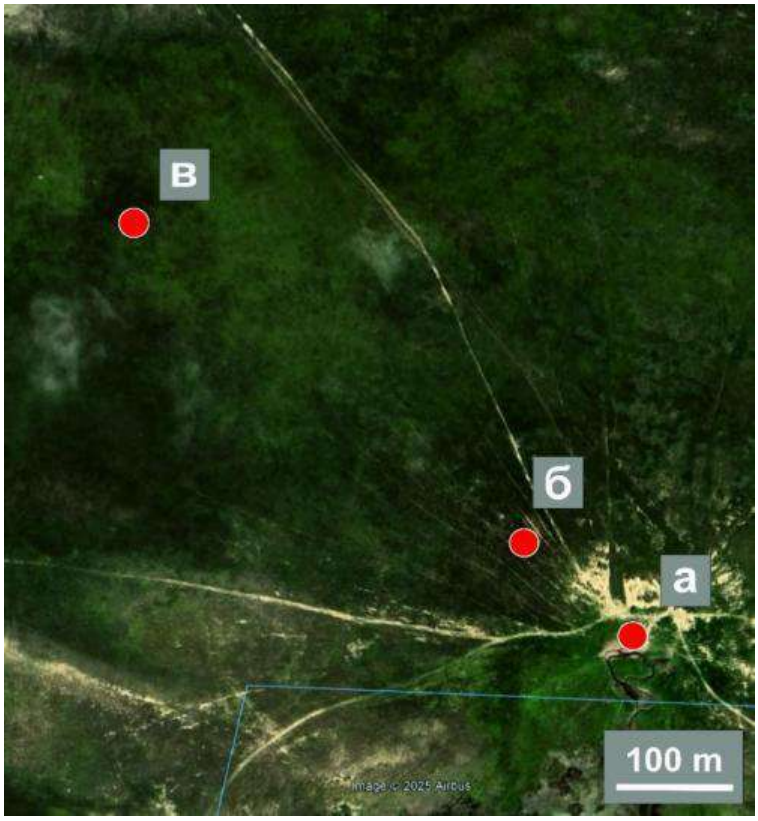


Рис. 1. Расположение тестовых площадок на разном удалении от артезианского источника
а – абраземы в районе водопоя, б – комплексы каштановых почв и солонцов на площадке «100 м»,
в – каштановые почв на площадке «500 м»
Fig. 1. The location of the test sites at different distances from the watering hole.
а – anthrosols in the watering area, б – complexes of kastanozems and solonetz at the site "100 m",
в – kastanozems at the site "500 m"

Измерения температуры почв выполняли на трех площадках, различающихся по интенсивности пастбищной нагрузки. Площадки располагались на разном удалении от артезианского источника, который используется для водопоя скота. По мере приближения к водопою интенсивность пастбищных трансформаций почвенного и растительного покрова возрастает, формируя явно выраженный градиент пастбищной нагрузки. По градиенту пастбищной нагрузки изменяются и почвы. На тестовой площадке у водопоя с максимально интенсивным выпасом и скотопрогоном растительный покров фрагментарный, значительные площади занимают участки с солонцами, утратившими верхний горизонт в результате эрозии и дефляции. В таких местах развиты пастбищные абраземы солонцовые (рис. 2). По классификации почв России 2004 почвы относятся к отделу Абраземы, типу почв абраземы солонцовые (утратившие верхний горизонт). Схема строения профиля: BSN – BCAs – Cca [Классификация и диагностика почв…, 2004].



Рис. 2. Почвенно-растительный покров на тестовых площадках:
а – абраземы в районе водопоя, б – комплексы каштановых почв и солонцов на площадке «100 м», в – каштановые почв на площадке «500 м»
Fig. 2. Soil and vegetation cover on test sites: a – anthrosols in the watering area, б – complexes of kastanozems and solonetz at the site "100 m", в – kastanozems at the site "500 m"

На второй тестовой площадке (на удалении 100 м от водопоя) почвенный покров представлен комплексами солонцов и каштановых почв. Проективное покрытие до 50–70 % на участках с каштановыми почвами, и 30–50 % – на участках с солонцами. Тип почв – солонцы светлые входят в отдел щелочно-глинисто-дифференцированных почв (схема строения: SEL-BSN-BCAs-Cca), каштановые почвы относятся к отделу светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв (схема строения: AJ-BMK-BM-CAT-Cca) [Классификация и диагностика почв…, 2004]. На уделении 500 м (площадка 3) в почвенном покрове абсолютно доминируют каштановые почвы, солонцов нет, проективное покрытие 70–90 %. Особенности проявления солонцового процесса в этих почвах показаны ранее в работе А.В. Борисова с соавторами [2024].

Анализ температуры почв проводили с помощью логгеров TR-2V (DS1923-F5, производство ООО «Инженерные технологии»), которые были установлены в почву на глубинах 7 и 18 см. Установка логгеров на этих глубинах обусловлена строением профиля солонцовых разностей: как правило, мощность горизонта SEL составляла около 7–12 см, поэтому логгеры установили в нижней части горизонта, где динамика суточных температур менее резкая. Глубина 18 см близка к нижней границе горизонта BSN. В непосредственной близости от водопоя, где распространены абраземы солонцовые, утратившие верхний горизонт SEL, установка логгера осуществлялась в гор. BSN на глубину 7 см. Частота съемки температур составляла 4 замера в сутки, таким образом, было получено более 1400 записей с каждого логгера. Дата установки логгеров: 16 июня 2023 г. Температурные данные сняты программой *TR Complex*.

Результаты и их обсуждение

Морфологические свойства почв.

На площадке «500 м» в условиях умеренного выпаса развиты каштановые почвы. В отдельных местах, где растительный покров наиболее сильно нарушен, заметны слабые признаки солонцового процесса в виде более светлых тонов в окраске горизонта AJ. Мощность горизонта AJ достигает 20 см. Горизонт BMK до 15–20 см, в массе бурый с сероватыми тонами в окраске, без признаков солонцового процесса. В горизонте CAT преобладают пропиточные формы карбонатов. Гипсовый горизонт с глубины 100–110 см.

На площадке «100 м» в почвенном покрове участвуют каштановые почвы и солонцы. В солонце горизонт SEL имеет мощность до 8 см с характерной листовато-

порошистой структурой. Горизонт BSN до глубин 20–22 см, бурый, структура призматическая с хорошо заметной вертикальной ориентировкой призм. Бронирующий эффект солонцового горизонта обусловил близкое к поверхности залегание верхней границы слоевого горизонта – новообразования гипса и легкорастворимых солей отмечены с глубины 30 см. В каштановых почвах солонцовый процесс проявляется в более светлой окраске верхнего горизонта и призмовидной структуре горизонта BSN.

Морфологические и химические свойства «бедленда» исследовали в разрезе на удалении 70 м от водопоя, где доля таких почв достигает 20 %. Профиль почвы не дифференцирован на генетические горизонты, монотонный по цвету, красновато-бурый, влажный. Структура непрочная призмовидно-ореховатая. Карбонатная пропитка появляется при подсыхании профиля. Легкорастворимые соли с поверхности. Скопления кристаллов гипса с глубины 40–50 см.

Температурный режим почв.

Средняя годовая температура исследуемых горизонтов почв коррелировала с их физико-химическими свойствами. В зоне максимально интенсивных пастбищных трансформаций почв в профиле абразема на глубине 7 см выявлена минимальная средняя месячная температура – +0,3 °С (табл. 1). Вероятно, основным фактором уменьшения температур в холодные месяцы на скотосбоях является повышенная влажность почв (рис. 3) и отсутствие десукции в условиях полного стравливания растительного покрова. Возможно, более высокая влажность почвы бедленда связана с несколько более тяжелым гранулометрическим составом, что потенциально может влиять на водоудерживающую способность почв [Болотов и др., 2019]. Влияние выпаса на увеличение водоудерживающей способности почвы на легких породах хорошо доказана [Odriozola et al., 2014]. Также показана обратная корреляция температуры почвы и влажности в теплый сезон года [Chang et al., 2021].

Таблица 1
Table 1

Количество осадков (по метеостанции Кочубей) и температурные характеристики почв Терско-Кумского междуречья
Precipitation amount (according to Kochubey weather station) and temperature characteristics of the soils in the Terek-Kuma interfluve

Объект	Глубина, см	2023 г.							2024 г.					
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Среднемесячное количество осадков, мм														
Метеостанция		19,7	29,0	0,0	47,0	7,7	39,0	36,0	11,0	20,0	24,0	1,0	19,0	22,3
Среднемесячная температура воздуха, °С														
Метеостанция		23,1	25,3	28	20	13	8,8	3,1	–2,1	2,9	5,9	16,2	16,4	25,3
Среднемесячная температура почв, °С														
«100 м»	**7**	**27,0**	**29,7**	**31,0**	**23,0**	**15,8**	**11,2**	**4,1**	**0,3**	**2,8**	**6,5**	**18,5**	**18,3**	**28,9**
«200 м»	**7**	**27,0**	**30,2**	**31,6**	**22,7**	**15,9**	**11,1**	**4,1**	**0,8**	**2,8**	**6,6**	**18,7**	**18,8**	**28,4**
	18	25,6	29,8	31,4	23,3	16,6	12,0	5,0	1,7	3,3	6,7	18,1	19,3	28,6
«500 м»	**7**	**26,4**	**29,9**	**31,5**	**22,4**	**15,7**	**11,0**	**4,3**	**1,1**	**3,0**	**6,8**	**19,1**	**19,6**	**28,7**
	18	27,0	29,4	30,9	23,0	16,7	12,2	5,6	2,4	3,9	7,2	18,4	19,8	27,8

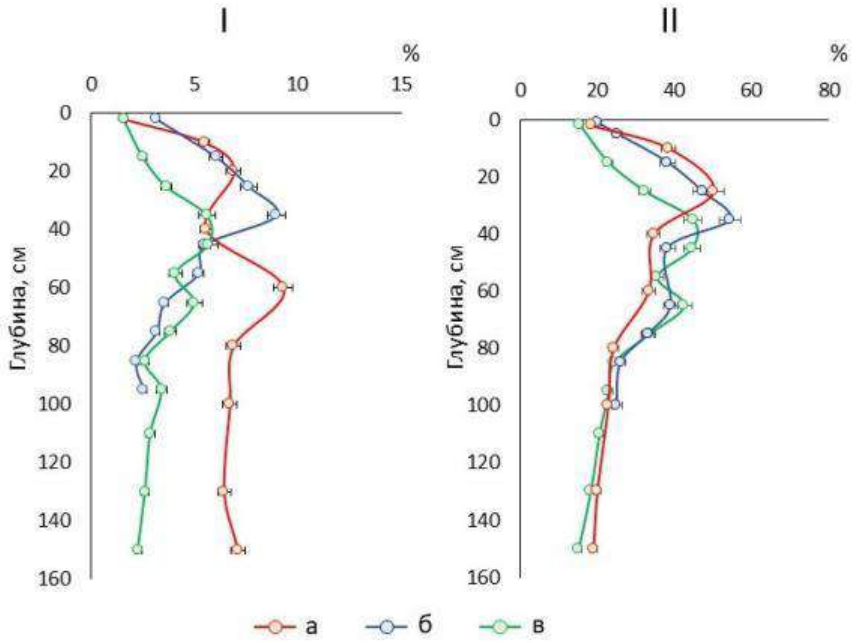


Рис. 3. Влажность (I) и содержание физ. глины (II) абраземов (а), солонцов (б) и каштановых почв (в) на период третьей декады апреля – первой декады мая
Fig. 3. Humidity (I) and phys. clays (II) of Anthrosols (а), solonetz (б) and Kastanozems (в) from the third ten-day period of April – to the first ten-day period of May

В зоне с умеренной пастбищной нагрузкой (площадка на рис. 2) средняя месячная температура гор. ВМК была выше на +0,7 °С в январе. Норма осадков в этом месяце составляла 11 мм.

В период с января по май в верхних горизонтах почв отмечено возрастание средних месячных температур по площадкам в ряду «бедленд» – «интенсивный выпас» – «умеренный выпас».

С июня по август средняя за месяц температура была больше в солонцах в зоне интенсивного выпаса, в то время как каштановая почва прогревалась слабее. Схожая закономерность отмечена и для более глубоких слоев.

Максимальное количество осадков выпадало в сентябре и составляло 47 мм. В этот месяц также максимальная средняя месячная температура была зафиксирована в абраземах. Минимальные различия по средней месячной температуре в верхних горизонтах почв было с октября по декабрь.

Следует также отметить контрастные переходы средних месячных температур: с марта на апрель абсолютное значение увеличилось в среднем на 12 °С, а с мая на июнь ≈ 10 °С. В период с августа на сентябрь температура снизилась на 9° С, в то время как разница выпадения осадков составила 47 мм. Общее количество осадков в регионе в год проведения исследования составляло 254,7 мм [Расписание погоды rp5.ru, 2025].

Средняя годовая температура *(Tcp)* почв была максимальной в почвах в зоне умеренного выпаса, что связано с более высокими температурами в холодные месяцы (табл. 2). В зимний период датчики фиксировали незначительный переход почвенной температуры ниже 0 °С во второй и третьей декаде января. Следует отметить, что в этот период абраземы были более подвержены промерзанию (рис.4.а). В зимний период абраземы пребывали 17 дней при температуре от 0 до –6 °С, в то время как гор. SEL в солонцах промерзал 19 дней при температуре от 0 до –4,5 °С (рис.4.б), каштановые почвы промерзали 12 дней при температуре от 0 до –2,1 °С (рис. 4.в). На глубине 18 см количество дней промерзания солонцов составила всего 3 дня, в то время как каштановые почвы не промерзали вовсе.

Таблица 2
Table 2

Средняя месячная температура почв на глубине 7 и 18 см в условиях разной пастбищной нагрузки
Average monthly soil temperature at depths of seven and 18 cm under conditions of different pasture loads

Объект	Глубина, см	*Tcp*	Количество дней с температурой			*CAT*	*Tmin*, °C	*Tmax*, °C
			< 0 °C	0–10 °C	> 10 °C	> 10 °C		
Бедленд	7	15,8	17	100	249	5312	–6,0	37,1
Интенсивный выпас	7	16	19	111	236	5373	–4,5	38,6
	18	16,3	3	127	236	5396	–1,5	34,6
Умеренный выпас	7	16,1	12	131	235	5386	–2,1	40,1
	18	16,5	0	128	238	5341	0,1	34,6

Примечание: *Tcp* – средняя годовая температура; *CAT* – сумма активных (положительных) температур за год; *Tmin* – минимальное значение температуры за год; *Tmax* – максимальное значение температуры за год.

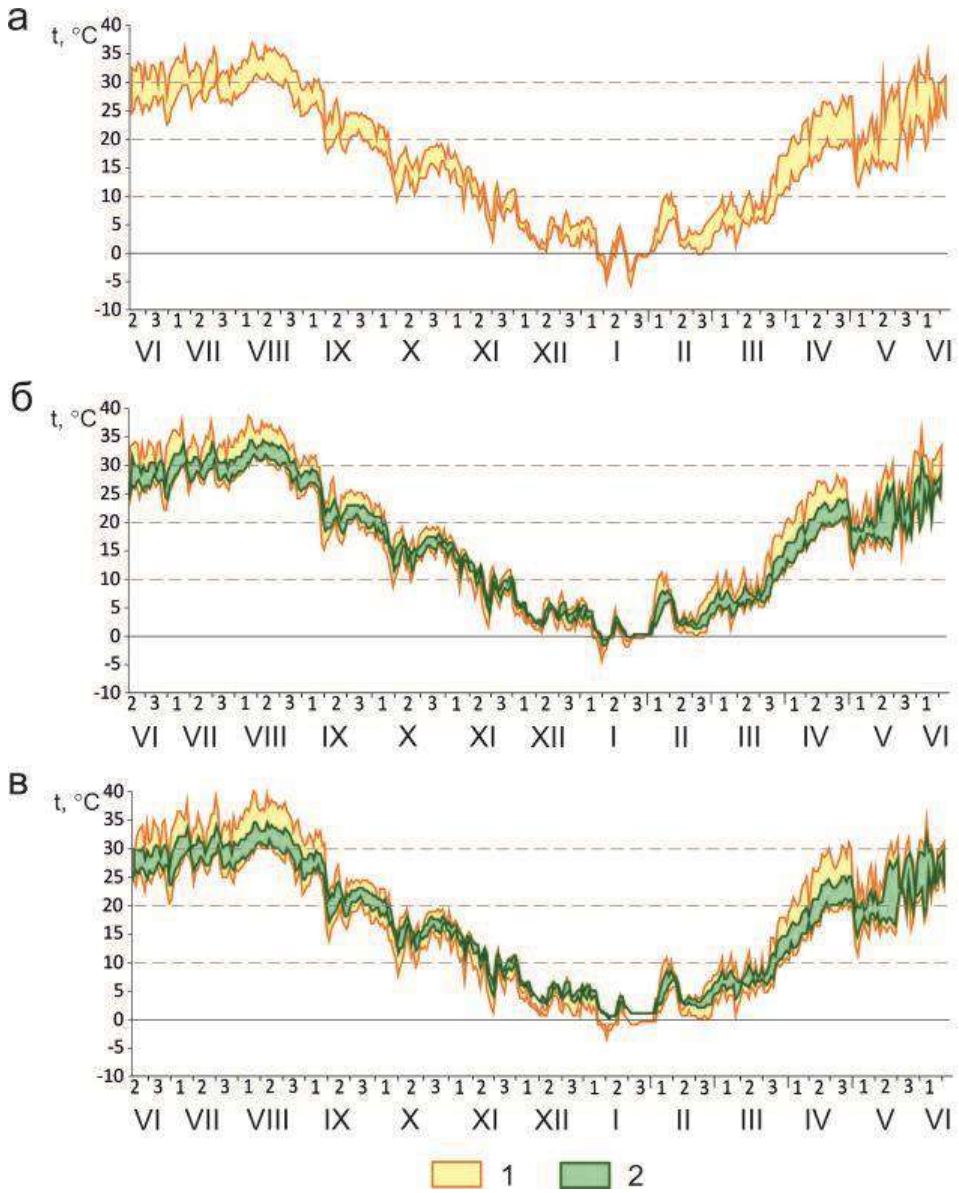


Рис. 4. Максимальные и минимальные суточные колебания температуры на глубине 7 см (1) и 18 см (2) в бедлендах (а), солонцах (б), каштановых почвах (в)
Fig. 4. Maximum and minimum daily temperature fluctuations at depths of seven cm (1) and 18 cm (2) in bedlands (a), solonetz soils (б), and kastanozems (в)

При этом количество дней с температурой выше +10 °С в солонцах и каштановых почвах было приблизительно одинаковым и составляло 235 и 238 дней, в то время как в абраземе – 249 дней.

Основное различие верхних горизонтов почв заключалось в сумме суточных температур вегетационного периода (≥ +10 °С): на площадке в почвах бедлендов – 5312 °С, в зоне интенсивного выпаса – 5373 °С, в зоне умеренного выпаса (каштановые почвы) – 5386 °С. Максимальное значение суммы активных температур *(САТ)* зафиксировано в гор. ВСА (на глубине 18 см) в солонце в зоне интенсивного выпаса – 5396 °С.

Максимальная температура в абраземе была зарегистрирована 8 августа 2023 г в 15:00 и составляла +37,1 °С. На площадке с каштановыми почвами, где проективное покрытие составляло более 50 % и альбедо должно было обусловить более низкий прогрев почв, была зафиксирована максимальная температура почв – +40,1 °С (8 августа 2023 г в 15:00). В горизонтах ВСА (солонец) и ВМК (каштановая почва) *Tmax* было одинаковым, при этом в верхнем гор. солонцов температура была ниже на 1,5 °С, что вероятно также подтверждается менее выраженным десукционным иссушением этого горизонта.

Более значительное промерзание *(Tmin)* отмечено в абраземе, также здесь выявлено уменьшение весеннего прогрева почв и менее выраженные суточные колебания температур летом (на глубине 7 см). В верхнем слое профиля абразема (0–5 см) влажность составляла 1,5 %, в то время как в нижележащих горизонтах почв содержание воды достигало 5,5–7 % (см. рис. 2).

Промерзание солонцов было менее глубоким, но более длительным, а колебание среднесуточных температур больше.

В случае с каштановыми почвами были хорошо выражены максимальные температуры в теплое время года и минимальное количество дней промерзания, а также полное отсутствия отрицательных температур на глубине 18 см.

Для анализа многомерной структуры данных о свойствах почв Прикаспийской низменности был применен метод главных компонент (рис. 5.). Факторы объясняют 83,01 % общей дисперсии данных (48,52 % и 34,49 % соответственно), что позволяет адекватно редуцировать данные по градации выпаса.

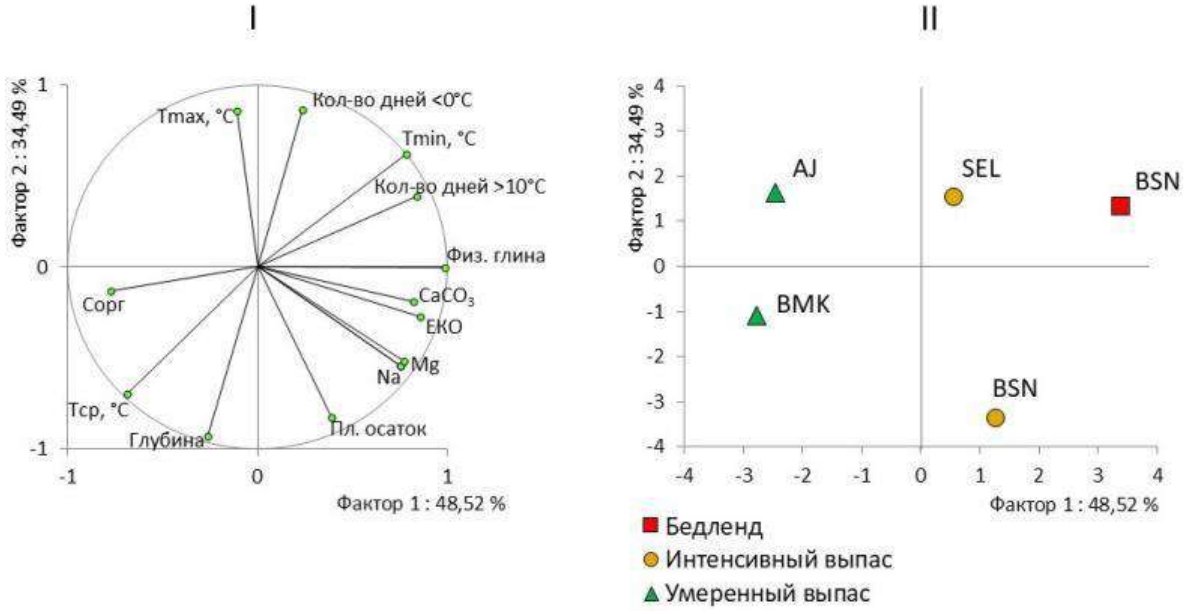


Рис. 5. Проекции температурных и физико-химических характеристик почв (I) и диаграмма рассеивания (II) исследуемых горизонтов, приуроченных к различной градации выпаса
Fig. 5. Projections of temperature and physicochemical characteristics of soils (I) and a scattering diagram (II) of the studied horizons, associated with different grazing gradations

Первый фактор (объясняет 48,52 % дисперсии данных) демонстрировал сильную положительную связь с содержанием токсичных солей, емкостью катионного обмена, содержанием карбонатов, физической глины и количеством дней с температурой > +10 °C. Содержание органического углерода имело отрицательную корреляцию с перечисленными параметрами почв по первому фактору. Направления отмеченных векторов обусловило разделение почвенных площадок по интенсивности выпаса и типовой принадлежности почв.

Вторая главная компонента имеет высокие положительные нагрузки по таким признакам как экстремальные положительные и отрицательные температуры, а также количество дней с температурой < 0 °C. В отрицательную полуось второй главной компоненты основной вклад вносят повышенные значения средней годовой температуры, глубины и величина плотного остатка. Таким образом, вторая ось (34,49 %) показывает распределение точек на диаграмме по глубине: поверхностные горизонты (положительная полуось) и срединные горизонты (отрицательная полуось).

Многофакторный анализ выявил, что перевыпас обуславливает распределение точек на левую и правую полуось и является основным фактором, влияющим на различие почв в пределах исследуемых площадок. В случае с бедлендом эрозия и дефляция привели к тому, что срединный гор. BSN стал поверхностным и подвергся более значительному промерзанию зимой, а также концентрации солей и увеличению содержания $CaCO_3$, физ. глины и ЕКО.

Заключение

Впервые для Прикаспийской низменности показано влияние выпаса на температурный режим почв на легких породах. Установлено, что в ареалах с наиболее интенсивным выпасом и скотопрогоном зимнее промерзание почв выше, чем в почвах под умеренной пастбищной нагрузкой. Это связано с большей теплоемкостью почв пастбищных бедлендов, что, в свою очередь, объясняется большей влагоудерживающей способностью, обусловленной засолением и более тяжелым гранулометрическим составом таких почв.

В целом для пастбищных абраземов и солонцов в зоне интенсивного выпаса и скотопрогона характерны более низкие температуры весной и летом. В случае с солонцами это обусловлено высоким альбедо верхнего горизонта SEL солонцов на фоне низкого проективного покрытия. В свою очередь, высокое альбедо абраземов солонцовых в зонах распространения бедлендов связано с формированием светлой минеральной корочки ноздреватой структуры, аналогичной таковой в почвах такыров.

Для каштановых почв в зоне умеренного выпаса характерно практически полное отсутствие промерзания и максимальные температуры в летний период.

Наши данные противоречат общепринятой точке зрения, что выпас увеличивает суточную динамику температуры, и что температура почв пастбищ увеличивается экспоненциально с увеличением интенсивности выпаса в теплый сезон. Очевидно, в нашем случае температурный режим во многом зависит от степени выраженности солонцового процесса: чем более развит солонцовый процесс, тем сильнее альбедо, что на фоне довольно низкого в целом проективного покрытия на всех участках пастбищ оказывается определяющим фактором. Однако, влияние солонцового процесса проявляется еще и в более тяжелом гранулометрическом составе горизонта BSN, в результате чего увеличивается водоудерживающая способность почвы. Еще одним фактором, объясняющим большие температуры почв в условиях умеренного выпаса, является более интенсивное десукционное иссушение почв в жаркие летние месяцы.

Таким образом, в условиях пустынных степей Терско-Кумского междуречья дальнейшее усиление пастбищной нагрузки приведет к общему снижению температур

почв. В летний период этот эффект будет достигаться благодаря усилению выраженности солонцового процесса и возрастанию альбедо почв, а также за счет уменьшения десукционного иссушения при стравливании растительности и более активного поступления влаги в верхние горизонты почвы. Следствием этого станет засоление почв и более интенсивное внутрипочвенное оглинивание, что приведет к повышению теплоемкости почв и станет причиной их более сильного промерзания в холодный период года. В более общем плане можно говорить об изменении фациальной принадлежности: в результате перевыпаса почвы пустынных степей будут переходить из фации непромерзающих в фацию кратковременно промерзающих почв.

Список источников

Агроклиматический справочник Дагестанской АССР. 1963. Ленинград, Гидрометеоиздат, 72 с.

Агрометеорологический обзор по Республике Калмыкия за 2014–2015 сельскохозяйственный год. 2015. Калмыцкий республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Филиал ФГБУ “Северо-Кавказское УГМС”, 8 с.

Аветов Н.А., Александровский А.Л., Алябина И.О., Ананко Т.В., Барсова Н.Ю., … Январева Л.Ф. 2011. Национальный атлас почв Российской Федерации. М., Астрель, 632 с.

Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск, Ойкумена, 343 с.

Расписание погоды гр5/ru. Электронный ресурс. URL: https://гр5.ru/ (дата обращения 23.10.2025).

Список литературы

Болотов А.Г., Шеин Е.В., Макарычев С.В. 2019. Водоудерживающая способность почв Алтайского края. Почвоведение, 2: 212–219. https://doi.org/10.1134/S0032180X19020035

Борисов А.В., Ельцов М.В., Идрисов И.А., Пинской В.Н., Ходжаева А.К. 2024. Антропогенное осолонцевание почв естественных пастбищ пустынно-степной зоны. Аридные экосистемы, 30(4(101)): 70–77. https://doi.org/10.24412/1993-3916-2024-4-70-77

Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Баширов Р.Р. 2017. Зависимость урожайности пастбищных фитоценозов на различных типах почв Северо-западного Прикаспия от экологического фактора и ФАР. Аридные экосистемы, 23(2): 24–28.

Жилкин А.А., Батовская Е.К. 2003. Генетическая и агрохимическая характеристика свойств почв Прикаспийской низменности. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 8: 106–112.

Залибеков З.Г. 2016. Основные критерии формирования разнообразия почв и их ресурсов в регионах Прикаспийской низменности. Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, 67: 200–206.

Зубкова Т.А. Ташнинова Л.Н., Котенко М.Е., Ташнинова, А.А. 2014. Почвы равнин Западного Прикаспия и проблемы их использования. Электронное научное издание Альманах Пространство и Время, 5(1–2): 8.

Казеев К.Ш. Козунь Ю.С., Самохвалова Л.С., Колесников С.И. 2015. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону–Астрахань. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 5: 46–53. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-46-53

Керимханов С.У., Балаширов М.А., Мирзоев Э.Р, Залибеков З.Г. 1975. Почвы равнинной зоны Дагестана. Земельные и растительные ресурсы Дагестана и пути их рационального использования. Махачкала, Дагкнигоиздат, 321 с.

Козунь Ю.С. Казеев К.Ш., Колесников С.И. 2013. Влияние климата на биологические свойства почв юга России. Ростов-на-Дону, Издательство Южного федерального университета, 112 с.

Курбанов М.Ю. 2021. Миграция и проблемы сельскохозяйственного использования равнинных земель. В кн.: Диалог культур в глобализирующемся мире. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Махачкала, 29 апреля 2021. Махачкала, АЛЕФ: 114–116.

Лазарева В.Г. 2018. Трансформация пространственной структуры растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в связи с антропогенным воздействием. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 20(2-1): 116–123.

Любимова И.Н. 2022. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата. Почвоведение, 10: 1301–1309. https://doi.org/10.31857/S0032180X22100112

Муратова Н.Р. Северская С., Терехов А.Г., Аманова Н.Т., Цычуева Н. 2006. Оценка состояния естественной растительности Прикаспийского региона в зависимости от погодных и ландшафтных особенностей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 3(2): 351–358.

Насиев Б.Н. 2016. Влияние режимов выпаса на почвенный покров пастбищ. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 3–1: 160–162.

Насиев Б.Н., Беккалиев А.К. 2019.Изменение показателей почвенного покрова пастбищ под влиянием выпаса. Почвоведение и агрохимия, 4: 36–44.

Сотнева Н.И. 2006. Опыт земледельческого использования территории севера Прикаспия. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 58: 45–57.

Темботова Ф.А., Чадаева В.А., Горобцова О.Н., Пшегусов Р.Х., Цепкова Н.Л., … Хакунова Е.М. 2023. Закономерности пастбищной деградации семиаридных горных экосистем Центрального Кавказа. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 87(7): 1097–1112. https://doi.org/10.31857/S2587556623070142

Butenschoen O., Scheu S., Eisenhauer N. 2011. Interactive Effects of Warming, Soil Humidity and Plant Diversity on Litter Decomposition and Microbial Activity. Soil Biology and Biochemistry, 43(9): 1902-1907. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.011

Chang, Y., Zhang, R., Hai, C., Zhang, L. 2021. Seasonal Variation in Soil Temperature and Moisture of a Desert Steppe Environment: a Case Study from Xilamuren, Inner Mongolia. Environmental Earth Sciences, 80(7): 290.

Frey S.D., Drijber R., Smith H., Melillo J. 2008. Microbial Biomass, Functional Capacity, and Community Structure after 12 Years of Soil Warming. Soil Biology and Biochemistry, 40(11): 2904–2907. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.020

Guan C., Chen N., Qiao L., Zhao C. 2022. Photosynthesis Regulates the Diel Hysteresis Pattern between Soil Respiration and Soil Temperature in a Steppe Grassland. Geoderma, 408: 115561.

Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N.A., Aldezabal A. 2014. Livestock Grazing Modifies the Effect of Environmental Factors on Soil Temperature and Water Content in a Temperate Grassland. Geoderma, 235: 347–354.

Onwuka B., Mang B. 2018. Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth. Advances in Plants & Agriculture Research, 8(1): 34–37.

Poll C., Marhan S., Back F., Niklaus P.A., Kandeler E. 2013. Field-Scale Manipulation of Soil Temperature and Precipitation Change Soil CO_2 Flux in a Temperate Agricultural Ecosystem. Agriculture, Ecosystems and Environment, 165: 88–97.

Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D.J., ... Xu L. 2018. Grazing Modulates Soil Temperature and Moisture in a Eurasian Steppe. Agricultural and Forest Meteorology, 262: 157–165.

Zhang H., Du H., Sun S., Wang Y., Wang T., Li L. 2023. A Symmetrical Exponential Model of Soil Temperature in Temperate Steppe Regions of China. Open Geosciences, 15(1): 20220523.

References

Bolotov A.G., Shein, E.V., Makarychev S.V. 2019. Water Retention Capacity of Soils in the Altai Region. Eurasian Soil Science, 52(2): 187–192 (in Russian). https://doi.org/10.1134/S1064229319020030

Borisov A.V. Eltsov M.V., Idrisov I.A., Pinskoy V.N., Khodjaeva A.K. 2024. Anthropogenic Impact on Solonetz Soils Development in the Desert–Steppe Zone. Arid Ecosystems, 14(4): 456–462 (in Russian).

Hasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S., Bashirov R.R. 2017. The Dependence of the Yield of Pasture Phytocenoses on Various Types of Soils in the Northwestern Caspian Region on the Environmental Factor and the FAR. Arid ecosystems, 23(2(71)): 24–28 (in Russian).

Zhilkin A.A., Batovskaya E.K. 2003. Genetical and Agrochemical Chakactiristics of Soil Properties of the Near-Caspian Lowland. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety, 8: 106–112 (in Russian).

Zalibekov Z.G. 2016. Osnovnyye kriterii formirovaniya raznoobraziya pochv i ikh resursov v regionakh Prikaspiyskoy nizmennosti [The Main Criteria for the Formation of the Diversity of Soils and Their Resources in the Regions of the Caspian Lowland]. Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN, 67: 200–206.

Zubkova T.A. Tashninova L.N., Kotenko M.E., Tashninova, A.A. 2014. The Western Pre-Caspian Plains Soils and Problem of Their Using. Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time, 5(1–2): 8 (in Russian).

Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Samokhvalova L.S., Kolesnikov S.I. 2015. Influence of Aridity and Continentality of Climate on Soil Biological Properties in Transect of Rostov-on-Don – Astrakhan. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 5: 46–53 (in Russian). https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-46-53

Kerimkhanov S.U., Balashirov M.A., Mirzoev E.R., Zalibekov Z.G. 1975. Pochvy ravninnoy zony Dagestana. Zemelnyye i rastitelnyye resursy Dagestana i puti ikh ratsionalnogo ispolzovaniya [Soils of the Lowland Zone of Dagestan. Dagestan's Land and Plant Resources and Ways of Their Rational Use]. Makhachkala, Pabl. Dagknigoizdat, 321 p.

Kozun Yu.S. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. 2013. Vliyaniye klimata na biologicheskiye svoystva pochv yuga Rossii [The Influence of Climate on the Biological Properties of Soils in Southern Russia]. Rostov-on-Don, Publ. Southern Federal University, 112 p.

Kurbanov M.Y. 2021. Migratsiya i problemy selskokhozyaystvennogo ispolzovaniya ravninnykh zemel [Migration and Problems of Agricultural Use of Lowland Lands]. In: Dialog kultur v globaliziruyushchemsya mire [Dialogue of Cultures in a Globalizing World]. Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference (with International Participation), Makhachkala, 29 April 2021. Makhachkala, Pabl. ALEPH: 114–116.

Lazareva V.G. 2018. Features of Spatial Distribution of Anthropogenic Vegetation on Drevneishikh Terraces of the Caspian Depression. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 20(2–1): 116–123 (in Russian).

Lyubimova I.N. 2022. Possible Changes in Soils of the Dry Steppe Zone Under the Global Climate Change. Eurasian Soil Science, 55(10): 1482–1489. https://doi.org/10.1134/s1064229322100118

Muratova N.P. Severskaya C., Terekhov A.G., Amanova N.T., Tsychueva N. 2006. Assessment of the State of the Natural Vegetation of the Caspian Region Depending on Weather and Landscape Features. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 3(2): 351–358 (in Russian).

Nasiev B.N. 2016. The Influence of Grazing Regimes on the Soil Cover of Pastures. Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences, 3–1: 160–162 (in Russian).

Nasiev B.N., Bekkaliyev A.K. 2019. Change of Indicators of Soil Cover of Pastures Under the Influence of Graps. Soil Science and Agrichemistry, 4: 36–44 (in Russian).

Sotneva N.I. 2006. Opyt zemledelcheskogo ispolzovaniya territorii severa Prikaspiya [The Experience of Agricultural Use of the Territory of the North of the Caspian Sea]. Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva, 58: 45–57 (in Russian).

Tembotova F.A., Chadaeva V.A., Gorobtsova O.N., Pshegusov R.H., Tsepkova N.L., … Khakunova E.M. 2023. Assessment of the Grassland Degradation Stages in Highland Semiarid Ecosystems of the Central Caucasus. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 87(7): 1097–1112 (in Russian). https://doi.org/10.31857/S2587556623070142.

Butenschoen O., Scheu S., Eisenhauer N. 2011. Interactive Effects of Warming, Soil Humidity and Plant Diversity on Litter Decomposition and Microbial Activity. Soil Biology and Biochemistry, 43(9): 1902-1907. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.011

Chang, Y., Zhang, R., Hai, C., Zhang, L. 2021. Seasonal Variation in Soil Temperature and Moisture of a Desert Steppe Environment: a Case Study from Xilamuren, Inner Mongolia. Environmental Earth Sciences, 80(7): 290.

Frey S.D., Drijber R., Smith H., Melillo J. 2008. Microbial Biomass, Functional Capacity, and Community Structure after 12 Years of Soil Warming. Soil Biology and Biochemistry, 40(11): 2904–2907. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.020

Guan C., Chen N., Qiao L., Zhao C. 2022. Photosynthesis Regulates the Diel Hysteresis Pattern between Soil Respiration and Soil Temperature in a Steppe Grassland. Geoderma, 408: 115561.

Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N.A., Aldezabal A. 2014. Livestock Grazing Modifies the Effect of Environmental Factors on Soil Temperature and Water Content in a Temperate Grassland. Geoderma, 235: 347–354.

Onwuka B., Mang B. 2018. Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth. Advances in Plants & Agriculture Research, 8(1): 34–37.

Poll C., Marhan S., Back F., Niklaus P.A., Kandeler E. 2013. Field-Scale Manipulation of Soil Temperature and Precipitation Change Soil CO_2 Flux in a Temperate Agricultural Ecosystem. Agriculture, Ecosystems and Environment, 165: 88–97.

Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D.J., ... Xu L. 2018. Grazing Modulates Soil Temperature and Moisture in a Eurasian Steppe. Agricultural and Forest Meteorology, 262: 157–165.

Zhang H., Du H., Sun S., Wang Y., Wang T., Li L. 2023. A Symmetrical Exponential Model of Soil Temperature in Temperate Steppe Regions of China. Open Geosciences, 15(1): 20220523.

Поступила в редакцию 05.11.2025;
поступила после рецензирования 29.12.2025;
принята к публикации 31.03.2026

Received November 05, 2025;
Revised December 29, 2025;
Accepted March 31, 2026

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

Пинской Виктор Николаевич, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино, Россия

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

Идрисов Идрис Абдулбутаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии, Институт геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, г. Махачкала, Россия

Борисов Александр Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor N. Pinskoy, Candidate of Geographical Sciences, Research Fellow at the Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Zagir V. Ataev, Candidate of Geographical Sciences, Professor at the Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Idris A. Idrisov, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Aleksandr V. Borisov, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

УДК 574.5
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-299-311
EDN JOFLGE

Особенности формирования гидроэкологического состояния реки Везёлка (Болховец) в пределах Белгородской городской агломерации

Киселев В.В., Раевская М.В., Корнилов А.Г.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
kiselev_v@bsuedu.ru, raevskaya@bsuedu.ru, kornilov@bsuedu.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности формирования современного гидроэкологического состояния р. Везёлка (Болховец) в пределах Белгородской городской агломерации. Представлен комплекс гидрохимических показателей в части загрязнения реки биогенными элементами (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, PO_4^{3-}), а также проанализированы органолептические и физико-химические свойства воды. В результате полевых гидрохимических исследований выявлено, что динамика биогенного загрязнения варьируется в зависимости от источника антропогенной нагрузки на различных участках водосборной территории. Участок в верховье реки, у истока, с сельским типом расселения характеризуется более высокими концентрациями нитрат-иона и фосфат-иона. Содержание иона аммония увеличивается в центральной части реки, имеющей серию расширений с замедленным водообменом. Максимальное содержание нитрит-иона наблюдается для замыкающей части реки у устья, что сопряжено с функционированием водных экосистем. Отмечается, что для 2 створов на реке Северский Донец (выше устья и ниже устья р. Везёлка) наблюдается четкая дифференциация по содержанию биогенных компонентов, которая указывает на общее ухудшение качества воды от 10 до 25 % после впадения р. Везёлка. Эта тенденция свидетельствует о её негативном вкладе (как притока р. Северский Донец) в общую картину гидроэкологического состояния бассейна р. Северский Донец.

Ключевые слова: гидрохимическое загрязнение, р. Везёлка (Болховец), гидроэкологическое состояние, антропогенная нагрузка, малые реки, Белгородская городская агломерация

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2025-0006.

Для цитирования: Киселев В.В., Раевская М.В., Корнилов А.Г. 2026. Особенности формирования гидроэкологического состояния реки Везёлка (Болховец) в пределах Белгородской городской агломерации. Региональные геосистемы, 50(2): 299–311. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-299-311 EDN: JOFLGE

Features of the Formation of the Hydroecological State of the Vezelka River (Bolkhovets) within the Belgorod Urban Agglomeration

Vladislav V. Kiselev, Maria V. Raevskaya, Andrey G. Kornilov
Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
kiselev_v@bsuedu.ru, raevskaya@bsuedu.ru, kornilov@bsuedu.ru

© Киселев В.В., Раевская М.В., Корнилов А.Г., 2026

Abstract. This article discusses the formation of the current hydroecological state of the Vezelka (Bolkhovets) River within the Belgorod urban agglomeration. It presents a set of hydrochemical indicators of the river's pollution with biogenic elements (NO3-, NO2-, NH4+, $PO4^{3-}$) and analyzes the organoleptic and physical-chemical properties of the water. Field hydrochemical studies have revealed that the dynamics of biogenic pollution vary depending on the source of anthropogenic load in different areas of the catchment territory. The upstream section of the river, near the source, follows a rural settlement pattern and contains higher concentrations of nitrate and phosphate ions. The ammonium ion concentration increases in the central part of the river, which has a series of widened areas with slower water exchange. The highest concentration of nitrite ions is observed in the downstream section of the river, near the mouth, which is associated with the functioning of aquatic ecosystems. It is noted that for two gates on the Seversky Donets River (above the mouth of the Vezelka River and below its mouth. There is a clear differentiation in the content of biogenic components, which reveals a general deterioration in the water quality from 10 to 25% after the confluence of the river. This trend indicates its negative contribution (as a tributary of the Seversky Donets River) to the overall picture of the hydroecological state of the Seversky Donets River basin.

Keywords: hydrochemical pollution, Vezelka River (Bolkhovets), hydroecological state, anthropogenic load, small rivers, Belgorod urban agglomeration

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: Kiselev V.V., Raevskaya M.V., Kornilov A.G. 2026. Features of the Formation of the Hydroecological State of the Vezelka River (Bolkhovets) within the Belgorod Urban Agglomeration. Regional Geosystems, 50(2): 299–311 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-299-311 EDN: JOFLGE

Введение

Белгородская область является густонаселённым регионом. При этом, высокая плотность населения сочетается здесь с активной хозяйственной деятельностью. В результате возникают проблемы экологического характера, так как под сопутствующий антропогенный пресс попадают все компоненты природной среды.

В особенности негативному влиянию подвержены малые реки региона. Ввиду его малой водной обеспеченности эта проблема является одной из основных и требует особого внимания и детального изучения [Дегтярь, 2005; Дмитриева, 2010; Ермолаев и др., 2023; Киселев и др., 2024].

В последние годы публикуется значительное количество работ, в которых поднимается проблематика загрязнения водной среды Белгородской области [Чепелев и др., 2014; Lisetskii et al., 2014; Лисецкий и др., 2015; Buryak et al., 2022, Корнилова и др., 2023; Киселев и др., 2024; Раевская, Корнилов, 2025].

При этом отмечается, что наибольшие показатели гидрохимического загрязнения характерны для водных объектов и малых рек, находящихся в зоне влияния высоко урбанизированных ландшафтов с преобладанием городских и селитебно-промышленных территорий, где рост показателей загрязнения за последние годы варьируется в пределах 25–30 % [Киселев, Корнилова, 2025].

В данной работе мы бы хотели уделить внимание, пожалуй, главной реке г. Белгорода – р. Везёлка (Болховец), протекающей с запада на восток города и находящейся под антропогенным воздействием около 40 % территории Белгородской городской агломерации. Это делает её гидроэкологический и гидрохимический мониторинг одной из первостепенных задач [Стороженко и др., 2018; Полякова, Благочевская, 2025].

Объекты и методы исследования

Полевые гидроэкологические и гидрохимические исследования проводились в летний период 2025 г. Выбор пунктов отбора проб на р. Везёлка (Болховец) обусловлен интегрированным влиянием на них сложной мозаики городских и сельских селитебных зон с достаточно высокой плотностью населения.

В качестве примера на рис. 1 приведены створы наблюдения для р. Везёлка и р. Северский Донец. Координаты точек отбора проб определялись с помощью мобильного приложения *Carry Map* на смартфоне в полевых условиях.

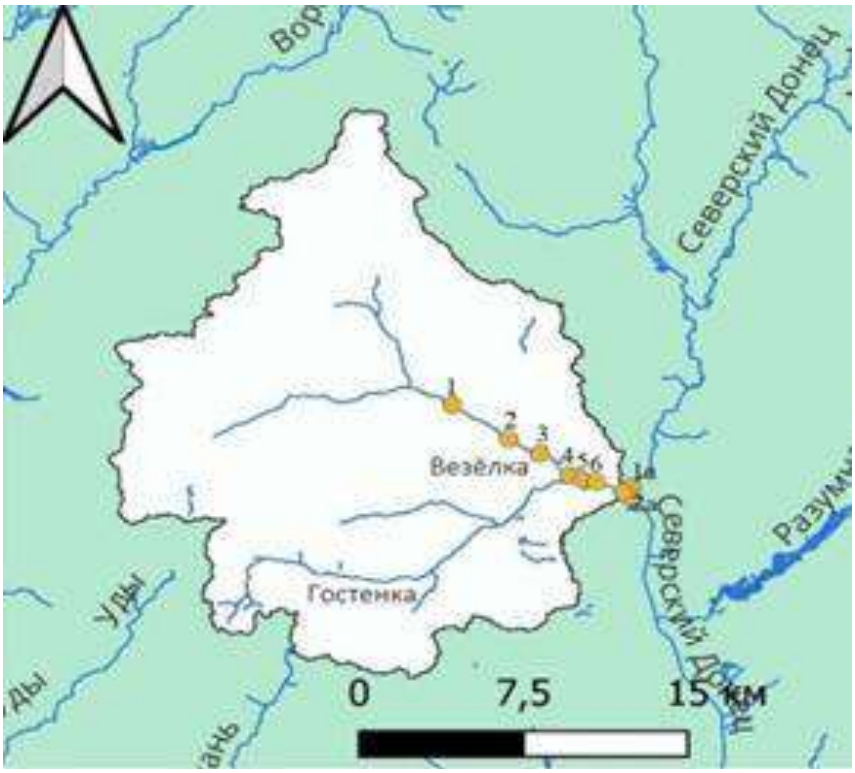


Рис. 1. Река Везёлка со створами наблюдения (№№ 1–6) и р. Северский Донец (№№ 1а–2а)
Fig. 1.The Vezelka River with observation stations (No 1–6) and the Seversky Donets River (No 1a–2a)

В табл. 1 представлено антропофункциональное зонирование водосборной территории реки, а также некоторые особенности элементов каскадной системы русла (каскадной эколого-гидрологической системы), которая представляет собой систему чередования каскадных участков полифункциональных расширений на русле с замедленным водообменом (створы отбора проб № 2, 3, 4, 5), а также участков с высоким водообменом (быстротоков), к которым относятся створы отбора проб № 1 и № 6. Для изучения каскадной системы русла реки Везёлка использовались гидрологические и гидрохимические методы исследования [Кумани, Бабкина, 2005; Георгиади и др., 2014; Петин и др., 2014; Georgiadi et al., 2023].

Картографическая информация подготовлена с использованием программных пакетов *QGIS 3.40.2, Google Earth Pro* с применением открытых данных *Open Street Maps, Google Maps* и других сервисов.

Отбор проб осуществлялся на основе ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» [2022]. Определение органолептических показателей природных вод проводилось на основе ГОСТ Р 57164-2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности» [2019] и ГОСТ 31868-2012 «Вода. Метод определения цветности» [2014].

Таблица 1
Table 1

Створы наблюдения на р. Везёлка с учетом характера их водосборных территорий
Observation gates on the Vezelka River, taking into account the nature of their catchment areas

Створ	Особенности элементов каскадной системы	Антропофункциональное зонирование водосбора, % от площади				Антропогенный объект-доминанта на водосборе приближенный к руслу (1) и другие особенности водоохранной зоны (2)
		Пашня	Лесные насаждения	Селитебная зона	Промышленная зона	
Ст. № 1. Пер. Юбилейный	Начальная каскадная система, соответствующая участку бассейна с сельским типом расселения, высокий водообмен	69	17	8	–	(2) Валежник на русле образует небольшие плотины. Удовлетворительное состояние водозащитной зоны
Ст. № 2. Зона теплотрассы	Центральная каскадная система с городским типом застройки и высокой плотностью автомагистралей (слабая проницаемость покрытий). Характеризуется системой полифункциональных расширений на русле с более медленной скоростью течения, медленный водообмен.	63	15	17	–	(2) Осуществляются работы по расчистке русла, интенсивный смыв грунтов в водоток
Ст. № 3. Расширение № 1, Цементный завод		57	13	19	2	(1) Цементный завод (2) Неудовлетворительное состояние водозащитной зоны (стихийные свалки)
Ст. № 4. Пруд около СК им. Хоркиной		61	14	20	3	(2) В пруд впадает р. Гостенка (Гостянка), испытывающая высокую агронагрузку
Ст. № 5. Парк Победы		52	14	21	4	(1) Крупная транспортная развязка и АЗС
Ст. № 6. Парк Победы (завершение). Расширение № 4	Устьевая (замыкающая) каскадная система вблизи впадения в р. Северский Донец	52	14	22	4,5	(2) Зеленая зона в черте города с потенциально высоким уровнем грунтовых вод

Применялись физико-химические и химические методы анализа гидрохимических показателей природных вод с соблюдением требований к консервированию проб:

– температура воды и воздуха, минерализация общая, окислительно-восстановительный потенциал (*Eh*), водородный показатель (*pH*) определялись с помощью портативных тестеров воды EZ-9908 и EZ-9910 в ходе полевых исследований;

– водородный показатель и окислительно-восстановительный потенциал, концентрация нитрат-ион исследовались с помощью потенциометрического метода (иономер *pX-150МИ*);

– общая жесткость воды устанавливалась титриметрически на основе ГОСТ 31954-2012 (метода В) [2018];

– нитрит-ионы, ионы аммония, и фосфат-ион анализировались с использованием фотоколориметрических методов с помощью фотоколориметра «Экотест 2020», причем контроль для фосфат-иона осуществлялся с использованием ГОСТ 18309-2014 [2015].

Корреляционные зависимости между рядом показателей определялись в программе *STATISTICA 10.0.*

Временная динамика (за период с 2008 по 2024 гг.) гидрохимического состояния реки Везёлка (Болховец) оценивалась на основе данных Белгородского ЦГМС филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Росгидромет).

Результаты и их обсуждение

На первоначальном этапе исследования была рассмотрена временная динамика гидроэкологического состояния р. Везёлка по мониторинговым данным Росгидромета [Ежегодники качества.., 2024]. В результате выявлена общая тенденция к ухудшению гидрохимического состояния реки за рассматриваемый период по следующим показателям: сульфаты, органические соединения, азот аммонийный, медь, марганец, азот нитритный, соединения железа, а также нефтепродукты.

При этом динамика комплексного комбинированного показателя степени загрязнённости поверхностных вод (УКИЗВ), показанного на рис. 2, имеет слабо отрицательный тренд загрязнения (3–5%), хотя класс качества воды в реке на протяжении всего исследуемого периода сохраняется на стабильно высоком уровне загрязнения 4а – грязная.

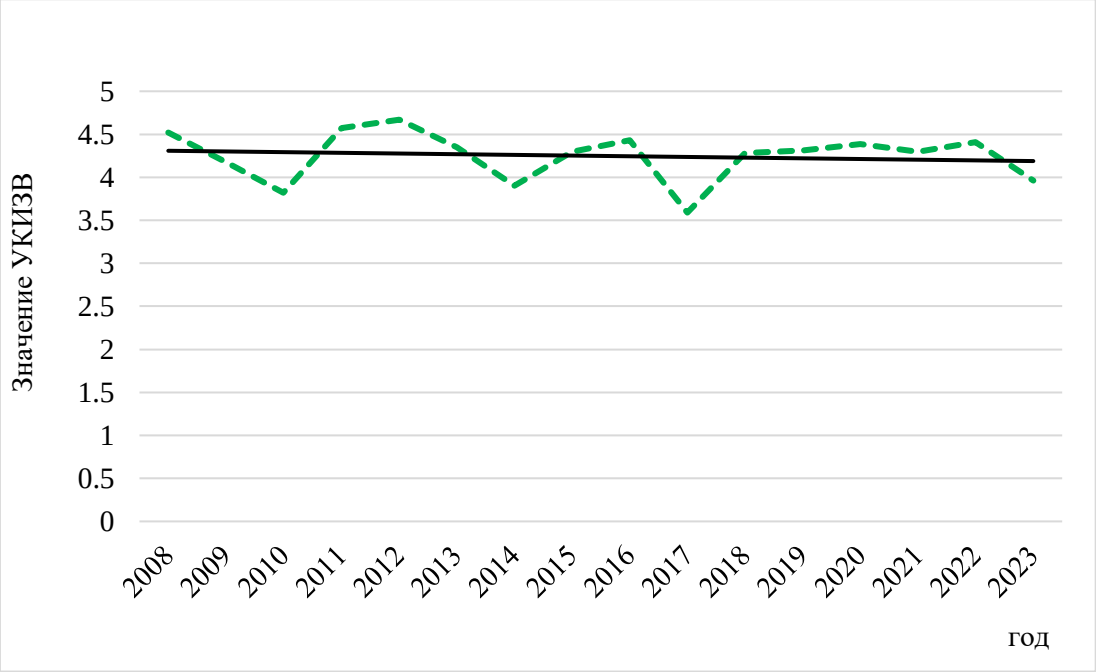


Рис. 2. Динамика удельного комплексного индекса загрязненности воды в р. Везёлка
Fig. 2. .Dynamics of the specific comprehensive water pollution index in the Vezelka River

Основной этап исследования включил изучение гидрохимического состояния р. Везёлка. Были проанализированы органолептические и физико-химические показатели р. Везёлка (ст. №№ 1–6) и р. Северский Донец (ст. №№ 7–8) в пределах Белгородской городской агломерации, показанные в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Органолептические и физико-химические показатели р. Везёлка и р. Северский Донец
Organoleptic and physical-chemical indicators of the Vezelka River and the Seversky Donets River

Створ	Мутность, ЕФМ	Цветность, градусы	Привкус, баллы	Запах, баллы	pH	$М_{общ}$, мг/л	$Ж_{общ}$, °Ж	Eh, мВ	$Т_{возд}$, °С	$Т_{воды}$, °С
	Нормативный показатель[1]									
	2,6	20	2	2	6,0–9,0	1000	7	–	–	–
05.07.2025 (серия 1)										
р. Везелка (Болховец)										
Ст. № 1. Пер. Юбилейный	6,5	25	2	2	7,18	495	5,9	+85	22,2	16,5
Ст. № 2. Зона теплотрассы	8,0	35	3	3	7,26	485	5,6	+91	22,6	17,6
Ст. № 3. Расширение № 1, Цементный завод	13,6	45	3	3	7,24	403	6,0	+109	22,8	18,1
Ст. № 4. Пруд около СК им. Хоркиной (впадает р. Гостенка)	8,0	25	2	2	7,43	523	5,9	+141	26,3	20,5
Ст. № 5. Парк Победы	10,2	25	2	2	7,39	513	6,7	+129	25,1	19,5
Ст. № 6. Парк Победы (завершение). Расширение № 4	6,4	25	2	2	7,42	521	6,2	+116	24,5	19,0
р. Северский Донец										
Ст. № 1а. Выше устья р. Болховец, ул. Волчанская	2,8	20	2	2	7,39	336	5,6	+85	25,0	20,1
Ст. № 2а. Ниже устья р. Болховец, ул. Волчанская	4,0	25	2	2	7,48	399	5,9	+103	26,3	20,3
30.08.2025 (серия 2)										
р. Везелка (Болховец)										
Ст. № 1. Пер. Юбилейный	5,4	20	2	2	7,23	472	6,4	+96	24,1	16,0
Ст. № 2. Зона теплотрассы	6,6	25	3	3	7,80	482	6,6	+66	24,0	16,4
Ст. № 3. Расширение № 1, Цементный завод	7.6	35	3	3	8,22	503	6,4	−18	24,8	17,1
Ст. № 4. Пруд около СК им. Хоркиной (впадает р. Гостенка)	6,4	25	2	2	7,90	489	6,8	+68	26,5	19,3
Ст. № 5. Парк Победы	12,5	35	2	3	7,95	513	7,8	+83	25,6	19,5
Ст. № 6. Парк Победы (завершение). Расширение № 4	8,0	30	2	3	7,85	523	7,4	+72	26,2	19.0
р. Северский Донец										
Ст. № 1а. Выше устья р. Болховец, ул. Волчанская	2,6	20	2	2	8,31	330	6,0	+13	27,0	19,8
Ст. № 2а. Ниже устья р. Болховец, ул. Волчанская	4,8	20	2	2	8,41	351	6,4	+25	28,2	22,4

[1] СанПиН 1.2.3685-21 [2021] (раздел «Нормативы качества и безопасности воды», табл. 3.1, 3.3, 3.5, 3.12, 3.13) .

Серии измерений от 12.07.2025 (серия 1) и 30.08.2025 (серия 2) резко отличались по особенностям гидрометеорологической ситуации, которая складывалась на водосборе: начало июля характеризовалось обильными дождями и более низкими температурами воздуха; конец августа – устойчивой жаркой погодой с незначительными осадками.

По органолептическим показателям (цветность, запах, мутность) превышение нормативных показателей характерно практически для всех проб. Соответствующие показатели более низкие для ст. №№ 1а–2а (р. Северский Донец), что уже на этапе первичной оценки говорит о негативном вкладе р. Везелка в суммарное загрязнение р. Северский Донец, а также об определенных процессах самоочищения, которые свойственны более крупным рекам.

Для каждой серии измерений характерно увеличение значения pH от ст. № 1 к замыкающему ст. № 6 (от нейтральной к слабо щелочной). Более высокие показатели pH для р. Северский Донец наблюдаются в период минимума осадков (август) и, соответственно, активного развития водной растительности на большой площади водоема. Сезонные колебания pH зависят как от температуры, так и фотосинтетических процессов, которые протекают в водных и прибрежных экосистемах.

Общая минерализация воды в р. Везёлка незначительно увеличивается к замыкающему створу (ст. № 6), и за исследуемый период колеблется в пределах 400–523 мг/л. Максимальная флуктуация наблюдается для створа № 3 (расширение № 1, Цементный завод). Створы на р. Северский Донец отличают показатели минерализации, которые в среднем ниже в 1,4 раза, чем для р. Ворскла (в пределах городской агломерации).

Превышение ПДК по общей жесткости наблюдается в августе для створов №№ 5–6 (7,4–7,8 °Ж), которые приурочены к зоне речной долины и, с учетом особенностей рельефа, испытывают более активный обмен в системе «поверхностные воды – подземные воды» в черте г. Белгорода. Причем, в маловодный период увеличивается вклад грунтовых вод в питании водотока.

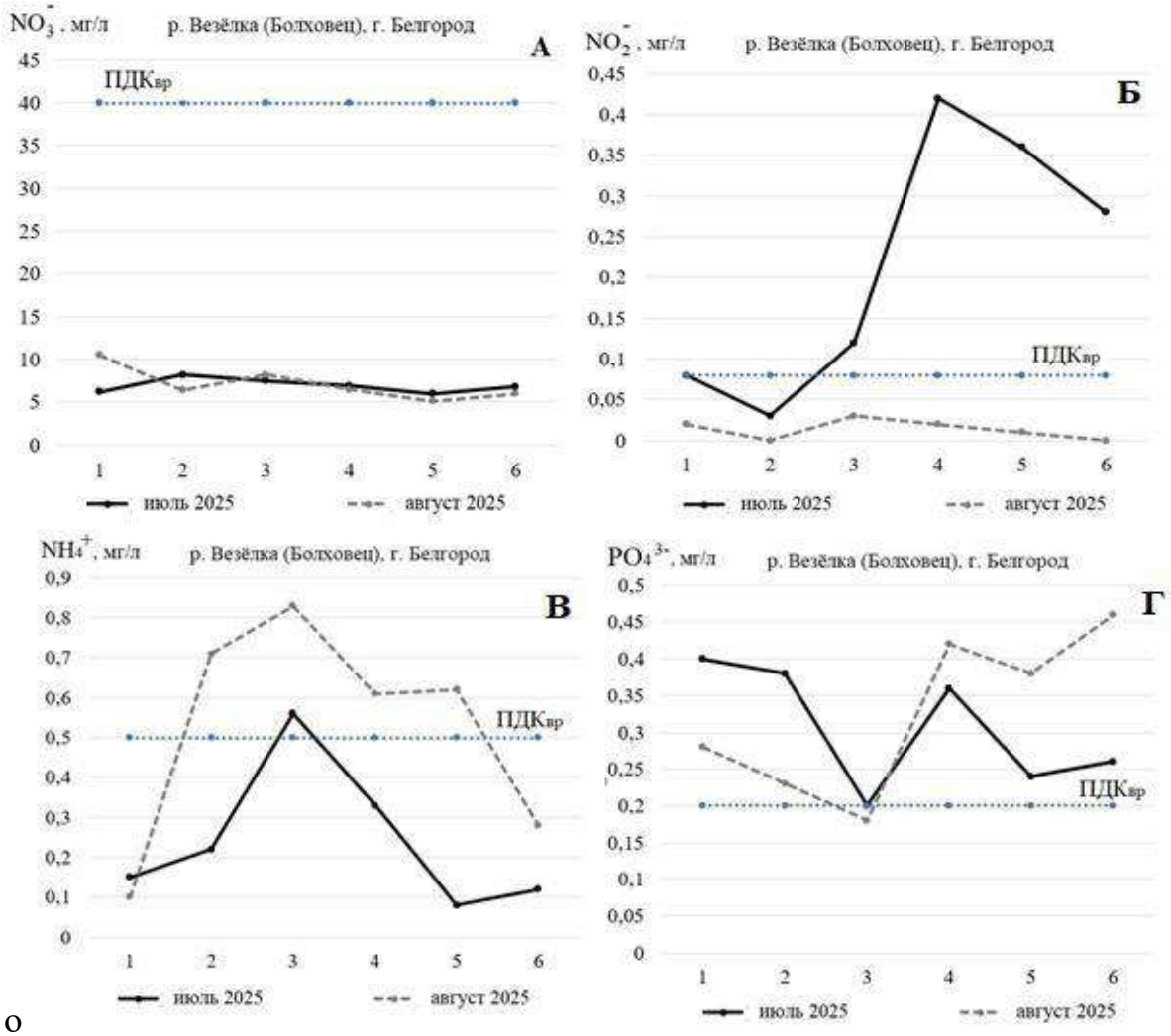
Окислительно-восстановительный потенциал воды (*Eh*, мВ) в прямом смысле не является маркером загрязнения поверхностных вод, однако, данный показатель позволяет учитывать роль окислительно-восстановительных барьеров в каскадной системе водотока. За исследуемый период диапазон изменения *Eh* составил от −18 мВ до +141 мВ, причем максимальная его флуктуация наблюдалась для ст. № 3 (расширение № 1, Цементный завод). Однозначно только для серии измерений 1 (июль 2025 г.) можно выявить тренд увеличения ОВП от ст. № 1 к замыкающему ст. № 6 на р. Везёлка.

В целом, значения ОВП в июле указывают на окислительную обстановку для природных вод, что обуславливает существование ряда химических элементов в их высших степенях окисления. В августе обстановку можно охарактеризовать как переходную окислительно-восстановительную, что подчёркивает неустойчивость геохимического режима и возможность флуктуации различных показателей.

Пространственно-временные особенности биогенного загрязнения р. Везёлка в июле–августе 2025 года представлены на графиках ниже (рис. 3). Для каждого графика показатели изменяются от истока (ст. № 1) к замыкающему створу (ст. № 6).

Из рис. 3А следует, что содержание нитрат-иона в августе (минимум осадков) выше, чем в июле (период летних паводков). Данная закономерность более отчетливо проявляется для створов, приуроченных к зоне с сельским типом расселения. Превышение $ПДК_{в}$ и $ПДК_{вр}$ по нитратному загрязнению не выявлено.

Содержание нитрит-иона в реке, показанное на рис. 3Б, в июле значительно выше, чем в августе. Увеличение концентрации наблюдается для створов с выраженной селитебной нагрузкой.



о

Рис. 3. Содержание биогенных элементов (мг/л) в р. Везёлка (июнь–август 2025 года):
А – нитраты, Б – нитриты, В – аммоний, Г – фосфаты
Fig. 3. Content of biogenic elements (mg/l) in the Vezelka River (June–August 2025):
А – nitrates, Б – nitrites, В – ammonium, Г – phosphates

Для р. Везёлка в августе наблюдается высокое и устойчивое загрязнение NH_4^+ (ст. №№ 2–5) – рис. 3В, что говорит об оперативности поступления органических поллютантов в водоток, а также благоприятных условиях для процессов разложения. Следует отметить, что в августе значения *Eh* (мВ) характеризуют переходную окислительно-восстановительную обстановку, в которой ион аммония более устойчив, чем в окислительной.

По сравнению с содержанием соединений азота, для фосфатов характерна достаточно устойчивая картина загрязнения реки как в июле, так и в августе.

Из рис. 3Г следует, что концентрации фосфатов практически во всех пунктах отбора проб превышают $ПДК_{вр}$. При анализе функциональной принадлежности створов с высокими концентрациями фосфатов отмечается, что преимущественно это селитебная зона с высокой плотностью застройки, в том числе частным сектором.

В табл. 3 приведены средние, максимальные и минимальные концентрации исследуемых биогенных элементов (мг/л) в сравнительной характеристике.

Из табл. 3 следует, что средние концентрации фосфатов в р. Везёлка, в отличии от азота, превышают $ПДК_{вр}$, причем максимальные концентрации наблюдаются в августе.

Таблица 3
Table 3

Показатели биогенного загрязнения р. Везёлка в июле–августе 2025 г.
Indicators of biogenic pollution in the Vezelka River in July–August 2025

Показатель	NO_2^-, мг/л		NO_3^-, мг/л		NH_4^+, мг/л		PO_4^{3-}, мг/л	
	река Везёлка	река Северский Донец[1]	река Везелка	река Северский Донец[1]	река Везелка	река Северский Донец[1]	река Везелка	река Северский Донец[1]
Среднее значение	0,11	0,01	7,025	2,95	0,38	0,02	**0,32**[2]	0,087
Максимальное значение	0,42	0,05	10,5	3,2	0,83	0,08	0,46	0,13
Минимальное значение	0	0	5,1	2,5	0,10	0	0,18	0,02
Количество проб, превышающих $ПДК_{вр}$, %	35,7	0	–	–	33,3	0	**83,3**[2]	0

[1] Створы выше и ниже места впадения р. Везелка (4 пробы), [2] Превышение $ПДК_{вр}$

В табл. 4 на примере р. Везёлка и прилегающих к ней створов р. Северский Донец приведены корреляционные зависимости между различными формами биогенных элементов за летний период 2025 г. Полужирным начертанием в табл. 4 выделены значения более тесных корреляционных зависимостей (на уровне $p < 0,05$).

Таблица 4
Table 4

Корреляция между различными формами биогенных элементов для р. Везёлка и р. Северский Донец
Correlation between different forms of biogenic elements for the Vezelka River and the Seversky Donets River

Формы биогенных элементов	Нитраты, мг/л	Нитриты, мг/л	Аммонийный ион, мг/л	(Орто)фосфаты, мг/л
Нитраты, мг/л	1,00	0,19	0,41	**0,54**
Нитриты, мг/л	0,19	1,00	–0,14	0,14
Аммонийный ион, мг/л	0,41	–0,14	1,00	0,32
(Орто)фосфаты, мг/л	**0,52**	0,14	0,32	1,00

Умеренная положительная корреляция, наблюдаемая между нитрат- и (орто) фосфат-ионами, характеризует особенности загрязнения биогенными элементами реки с представленностью различных функциональных зон на водосборе. Слабая положительная и слабая отрицательная связи между различными формами азота в летний период объясняется их разнонаправленной сезонной динамикой: снижение концентрации нитрат-иона в летний период и рост концентрации нитрит-иона.

Заключение

На основе проведённого исследования были сделаны следующие выводы.

1. По характеру функциональной структуры территории и ряда гидрометрических показателей (ширина, глубина, скорость течения) р. Везёлка, в пределах изучаемых пунктов, можно разделить на 3 части:

1) Участок (створы №№ 1–2) характеризуется узким руслом, шириной 1–2 м, вода проходит сквозь заросли высшей водной растительности. Тип местности – селитебно-сельскохозяйственный.

2) Участок створа № 3. При сохранении сельского типа местности, значительно увеличивается расход воды в 1,5–2 раза, за счёт (предположительно) разгрузки более глубоких горизонтов подземных вод, в том числе из меловых отложений.

3) Участок (створы №№ 4–6) характеризуется городской застройкой, большим количеством выходов ливневой канализации.

Каждый из рассматриваемых участков имеет собственную динамику гидрохимических показателей.

2. Для нитрат-иона наблюдается тесная взаимосвязь с гидрометеорологическими условиями: его концентрация для большинства пунктов отбора выше в июле (период летних паводков). Содержание нитрит-иона в дождливый период увеличивается в ещё большей степени по сравнению с сухим периодом.

3. Содержание фосфат-иона, для разных участков реки имеет разнонаправленную динамику: в селитебно-сельскохозяйственной зоне она увеличивается в дождливый период, а для застроенной территории наблюдается противоположная тенденция; в зоне 2 (ст. № 3) наблюдается двукратное снижение концентрации, что мы связываем с повышенной разгрузкой на этом участке подземных вод из меловых отложений (геохимический барьер для фосфора на меловых отложениях, слабая растворимость фосфата кальция).

4. Участок р. Везелка (ст. №№ 1–3) с сельским типом расселения и определенной агро-нагрузкой характеризуется более высокими концентрациями нитрат-иона (на 15–17 %) по сравнению с урбанизированной территорией (ст. №№ 4–6). Содержание иона аммония имеет устойчивый пик на втором участке (ст. № 3), также за счет усиленного поступления грунтовых вод, сформированных на обширных площадях не канализованной селитебной застройки (в отличие от фосфат-иона соли аммония меловыми отложениями не адсорбируются). Максимальное содержание нитрит-иона наблюдается для замыкающей части каскадной системы (ст. №№ 5–6), что сопряжено с функционированием водных экосистем.

5. Для створов № 1а (выше устья р. Везёлка) № 2а (ниже устья р. Везёлка) на р. Северский Донец наблюдается четкая дифференциация по содержанию многих компонентов (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, $Fe_{общ}$, Mn, минерализация общая): выше впадения р. Везёлка они ниже, чем собственно для р. Везёлка, после впадения их повышение варьируется от 10 до 25 %, что говорит о тенденции негативного вклада притоков с комплексной антропогенной нагрузкой в общую картину гидроэкологического состояния относительно крупных рек региона («р. Везёлка – р. Северский Донец»).

Список источников

Ежегодники качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий по территории деятельности ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» за 2008–2023 г. 2024. Курск, Министерство природных ресурсов Российской Федерации Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

ГОСТ 18309-2014. 2015. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. М., Стандартинформ, 22 с.

ГОСТ 31868-2012. 2014. Вода. Метод определения цветности. М., Стандартинформ, 8 с.

ГОСТ 31954-2012. 2018. Вода питьевая. Методы определения жесткости. М., Стандартинформ, 13 с.

ГОСТ Р 59024-2020. 2022. Вода. Общие требования к отбору проб. М., Российский институт стандартизации, 17 с.

ГОСТ Р 57164-2016. 2019. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М., Стандартинформ, 18 с.

СанПиН 1.2.3685-21. 2021. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., Минюст России, 988 с.

Список литературы

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., … Бородин О.О. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. М., Макс-Пресс, 214 с.

Дмитриева В.А. 2010. Структура использования водных ресурсов в Воронежской области. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 28–40.

Дегтярь А.В. 2005. Гидролого-экологический анализ деградационных процессов в речных бассейнах малых рек юго-запада Центрально-Черноземного региона. Дис. … канд. геогр. наук. Воронеж, 247 с.

Ермолаев О.П., Мухарамова С.С., Мальцев К.А., Иванов М.А., Гафуров А.М., … Янцитов Р.О. 2023. География и геоэкология России в мозаике речных бассейнов. География и природные ресурсы, 44(3): 25–33. https://doi.org/10.15372/GIPR20230303.

Киселев В.В., Бархатов А.С., Корнилов А.Г., Зеленская Е.Я. 2024. Оценка современного гидроэкологического состояния Белгородской области в условиях реализации программы интенсификации сельскохозяйственного производства. Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 84 с.

Киселев В.В., Корнилова Е.А. 2025. Оценка общего гидроэкологического состояния малых рек Белгородской области. Региональные геосистемы, 49(1): 80–92. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-80-92.

Киселев Вл. В., Корнилов А.Г., Киселев Вик. В., Корнилов А.А. 2024. Оценка гидрохимического состояния малых рек Белгородской области в пределах сельских территорий. Региональные геосистемы, 48(3): 368–381. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-368-381.

Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. 2023. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений. Региональные геосистемы, 47(4): 550–568. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568.

Кумани М.В., Бабкина О.П. 2005. Изучение трансформации гидрологического режима рек Курской области под влиянием сельскохозяйственного производства. В кн.: Геоэкологические исследования Курской области. Курск, Курский Государственный Университет: 101–111.

Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожняя А.Г., … Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.

Петин А.Н., Петина М.А. Новикова Ю.И. 2014. Северский Донец: гидрологический режим и экологическое состояние вод. Белгород, ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 182 с.

Полякова Т.А., Благочевская П.С. 2025. Анализ наземного покрова в бассейне реки Везелка (Болховец) на основе номенклатуры CORINE. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы XI Международной научной конференции, Белгород, 15–17 октября 2025. Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет: 364–369.

Раевская М.В., Корнилов А.Г. 2025. Элементы фонового мониторинга в гидроэкологических исследованиях рек Белгородской области. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 93–101. https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/93-101

Стороженко Е.А., Корнилов А.Г., Марыныч С.Н. 2018. Пространственная динамика азотного загрязнения рек города Белгорода. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42(3): 427–434. https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-3-427-434

Чепелев О.А., Пичура В.И., Павлюк Я.В., Самофалова О.М., Терехин Э.А. 2014. Оценка влияния добычи железных руд на водность рек Белгородской области. Научные ведомости

Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 17(188): 160–164.

Buryak Z., Lisetskii F., Gusarov A., Narozhnyaya A., Kitov M. 2022. Basin-Scale Approach to Integration of Agro- and Hydroecological Monitoring for Sustainable Environmental Management: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. Sustainability, 14(2): 927. https://doi.org/10.3390/su14020927

Georgiadi A.G., Milyukova I. P., Borodin O.O., Gusarov A.V. 2023. Water Flow Changes in the Don River (European Russia) During 1891–2019. Geography, Environment, Sustainability, 16(2): 6–17. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-083

Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. 2014. Basin Organizations of Nature Use, Belgorod Region. Biogeosystem Technique, 2(2): 163–173. https://doi.org/10.13187/bgt.2014.2.163

References

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A., … Borodin O.O. 2014. Sovremennyye i stsenarnyye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneyshikh rek Rossii [Modern and Scenario Changes in River Flow in the Basins of the Most Important Rivers in Russia]. Moscow, Pabl. Max-Press, 214 p.

Dmitrieva V.A. 2010. Water Resources Use Structure in Voronezh Oblast. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 28–40 (in Russian).

Degtyar A.V. 2005. Gidrologo-ekologicheskiy analiz degradatsionnykh protsessov v rechnykh basseynakh malykh rek yugo-zapada Tsentralno-Chernozemnogo regiona [Hydrological-Ecological Analysis of Degradation Processes in the River Basins of Small Rivers in the Southwest of the Central Black Earth Region]. Dis. … cand. geogr. sciences. Voronezh, 247 p.

Ermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Gafurov A.M., … Yantsitov R.O. 2023. Geography and Geoecology of Russia in the Mosaic of River Basins. Geography and Natural Resources, 44(3): 25–33 (in Russian). https://doi.org/10.15372/GIPR20230303.

Kiselev V.V., Barkhatov A.S., Kornilov A.G., Zelenskaya E.Ya. 2024. Otsenka sovremennogo gidroekologicheskogo sostoyaniya Belgorodskoy oblasti v usloviyakh realizatsii programmy intensifikatsii selskokhozyaystvennogo proizvodstva [Assessment of the Current Hydroecological State of the Belgorod Region in the Context of the Implementation of the Agricultural Production Intensification Program]. Belgorod, Pabl. Belgorodskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatelskiy universitet, 84 p.

Kiselev V.V., Kornilova E.A. 2025. Assessment of the General Hydroecological Condition of Small Rivers in the Belgorod Region. Regional Geosystems, 49(1): 80–92 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-80-92.

Kiselev Vl. V., Kornilov A.G., Kiselev Vik. V., Kornilov A.A. 2024. Assessing the Hydrochemical State of Small Rivers within Rural Areas of Belgorod Region. Regional Geosystems, 48(3): 368–381 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-368-381.

Kornilova E.A., Lisetsky F.N., Rodionova M.E. 2023. Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes. Regional Geosystems, 47(4): 550–568 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568.

Kumani M.V., Babkina O.P. 2005. Izucheniye transformatsii gidrologicheskogo rezhima rek Kurskoy oblasti pod vliyaniyem selskokhozyaystvennogo proizvodstva [Studying the Transformation of the Hydrological Regime of Rivers Kursk Region Under the Influence of Agricultural Production]. In: Geoekologicheskiye issledovaniya Kurskoy oblasti [Geoecological Studies of the Kursk Region]. Kursk, Pabl. Kursk State University: 101–111.

Lisetskiy F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnaya A.G., … Marinina O.A. 2015. Reki i vodnyye obyekty Belogoria [Rivers and Water Bodies of Belogorye]. Belgorod, Pabl. Constanta, 362 p.

Petin A.N., Petina M.A., Novikova Yu.I. 2014. Severskiy Donets: gidrologicheskiy rezhim i ekologicheskoye sostoyaniye vod [Seversky Donets: Hydrological Regime and Ecological State of Waters]. Belgorod, Pabl. ID «Belgorod» NIU «BelGU», 182 p.

Polyakova T.A., Blagochevskaya P.S. 2025. Analiz nazemnogo pokrova v basseyne reki Vezelka (Bolkhovets) na osnove nomenklatury CORINE [Land Cover Analysis in the Vezelka (Bolkhovets)

River Basin Based on the CORINE Nomenclature]. In: Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i na sopredelnykh territoriyakh [Problems of Nature Management and the Environmental Situation in European Russia and Adjacent Territories]. Proceedings of the XI International Scientific Conference, Belgorod, 15–17 October 2025. Belgorod, Pabl. Belgorodskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatelskiy universitet: 364–369.

Raevskaya M.V., Kornilov A.G. 2025. Elements of Baseline Monitoring in Hydroecological Studies of Rivers in the Belgorod Region. Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia, 2: 93–101 (in Russian). https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/93-101

Storozhenko E.A., Kornilov A.G., Marynych S.N. 2018. Spatial Dynamics of Nitrogen Pollution of Small Rivers of Belgorod. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 42(3): 427–434 (in Russian). https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-3-427-434

Chepelev O.A., Pichura V.I., Pavlyuk Y.V., Samofalova O.M., Terekhin E.A. 2014. Assessment of Mining Iron Ore on the Water Availability in Belgorod Region. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 17(188): 160–164 (in Russian).

Buryak Z., Lisetskii F., Gusarov A., Narozhnyaya A., Kitov M. 2022. Basin-Scale Approach to Integration of Agro- and Hydroecological Monitoring for Sustainable Environmental Management: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. Sustainability, 14(2): 927. https://doi.org/10.3390/su14020927

Georgiadi A.G., Milyukova I. P., Borodin O.O., Gusarov A.V. 2023. Water Flow Changes in the Don River (European Russia) During 1891–2019. Geography, Environment, Sustainability, 16(2): 6–17. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-083

Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. 2014. Basin Organizations of Nature Use, Belgorod Region. Biogeosystem Technique, 2(2): 163–173. https://doi.org/10.13187/bgt.2014.2.163

Поступила в редакцию 15.01.2026;
поступила после рецензирования 19.03.2026;
принята к публикации 21.04.2026

Received January 15, 2026;
Revised March 19, 2026;
Accepted April 21, 2026

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

Киселев Владислав Викторович, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Раевская Мария Викторовна, ассистент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Корнилов Андрей Геннадьевич, доктор географических наук, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladislav V. Kiselev, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Maria V. Raevskaya, Teaching Assistant at the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Andrey G. Kornilov, Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 911.2:556:11
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-312-325
EDN MLRQOV

Стратиграфирование меловых вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна

Квачев В.Н., Леонтьева Е.В., Донецкий С.В., Игнатенко И.М.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
kvachev@bsuedu.ru, leonteva@bsuedu.ru, donetskiy@bsuedu.ru, ignatenko_i@bsuedu.ru

Аннотация. Подземные воды меловых водоносных комплексов в северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна находятся под интенсивным антропогенным прессингом, обусловленным высокой степенью техногенной нагрузки предприятий горнопромышленного производства, сельскохозяйственного профиля, муниципальных и коммерческих водозаборов. Воспроизвести данное многообразие воздействий возможно только методом численного моделирования геофильтрации, основу которого составляют расчетные стратиграфированные слои гидрогеологических подразделений. Целью данного исследования является выделение стратиграфированных слоев гидрогеологических подразделений для концептуальной гидрогеологической и геофильтрационной модели. Методика исследований включала: анализ гидродинамики подземного стока меловых подземных вод; создание и анализ сводной карты кайнозойских отложений; сравнительный анализ стратиграфических схем и их схематизация для северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна; кодирование по принятой стратиграфической схеме геологической, гидрогеологической составляющей учетных карточек водозаборных скважин, карт и разрезов. В результате исследований выделено три стратиграфических гидрогеологических подразделения для расчетных слоев геофильтрационной модели меловых подземных вод: кайнозойский терригенный водоносный комплекс (KZ); верхнемеловой водоносный карбонатно-терригенный комплекс (K_2); верхне-нижнемеловой водоносный, терригенный комплекс (K_{1-2}).

Ключевые слова: гидрогеологические подразделения, водоносные горизонты, стратиграфические схемы, структура потока, Курская область, Белгородская область

Благодарности Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2025-0006.

Для цитирования: Квачев В.Н., Леонтьева Е.В., Донецкий С.В., Игнатенко И.М. 2026. Стратиграфирование меловых вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна. Региональные геосистемы, 50(2): 312–325. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-312-325 EDN: MLRQOV

Stratigraphy of Cretaceous Waters in the North-Eastern Part of the Donets-Don Artesian Basin

Vasily N. Kvachev, Elena V. Leontyeva, Sergey V. Donetsky, Ignat M. Ignatenko
Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
kvachev@bsuedu.ru, leonteva@bsuedu.ru, donetskiy@bsuedu.ru, ignatenko_i@bsuedu.ru

Abstract. Groundwater of the Cretaceous aquifers in the north-eastern part of the Donets-Don artesian basin is under intense anthropogenic pressure caused by the high degree of technogenic load of mining enterprises, agriculture, municipal and commercial water intakes. It is possible to reproduce this variety of

© Квачев В.Н., Леонтьева Е.В., Донецкий С.В., Игнатенко И.М., 2026

impacts only by numerical modeling of geofiltration, the basis of which are calculated stratigraphic layers of hydrogeological units. The objective of this study is to identify stratigraphic layers of hydrogeological units for a conceptual hydrogeological and geofiltration model. The research methodology included: analysis of the hydrodynamics of underground flow of Cretaceous groundwater; creation and analysis of a summary map of Cenozoic deposits; comparative analysis of stratigraphic schemes and their schematization for the north-eastern part of the Donets-Don artesian basin; coding of the geological and hydrogeological components of water intake well records, maps, and cross-sections using the adopted stratigraphic scheme. As a result of the research, three stratigraphic hydrogeological units were identified for the calculated layers of the Cretaceous groundwater geofiltration model: the Cenozoic terrigenous aquifer complex (KZ); the Upper Cretaceous carbonate-terrigenous aquifer complex (K_2); and the Upper-Lower Cretaceous terrigenous aquifer complex (K_{1-2}).

Keywords: hydrogeological units, aquifers, stratigraphic schemes, groundwater flow structure, Kursk region, Belgorod region

Acknowledgements: This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under State Assignment No. FZWG-2025-0006.

For citation: Kvachev V.N., Leontyeva E.V., Donetsky S.V., Ignatenko I.M. 2026. Stratigraphy of Cretaceous Waters of the North-Eastern Part of the Donets-Don Artesian Basin. Regional Geosystems, 50 (2): 312–325 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-312-325 EDN: MLRQOV

Введение

Подземные меловые воды в северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна, который относится к гидрогеологической структуре 3 порядка, приурочены к территории Белгородской, Курской и Воронежской областей Российской Федерации (РФ), а на юге выходят за их пределы [Челидзе, 2015; Челидзе и др., 2015; Лукьянчиков и др., 2019; Трубицын, Дешевых, 2021]. Таким образом, они относятся к типу трансграничных и межрегиональных вод и являются основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Меловые подземные воды рассматриваемого региона находятся под интенсивным антропогенным прессингом, обусловленным высокой степенью техногенной нагрузки, включая дренажные системы, хвостохранилища горнопромышленного (Лебединский, Стойленский, Яковлевский горнообогатительные комбинаты, «КМА-руда»), металлургического (Оскольский металлургический комбинат) и сельскохозяйственного профиля, подземные рудники, интенсивное развитие водоемких производств агропромышленного комплекса, индивидуальной жилищной застройки, которые несут последствия техногенного воздействия [Некрич, 2025].

В области подземных вод данный процесс сопровождается трансформацией подземной гидросферы, прежде всего через нарушение гидродинамического равновесия, истощение и загрязнение подземных вод. При этом интенсивную техногенную нагрузку испытывают все зоны активного, замедленного и затрудненного водообмена земной коры.

Управление подземными водными ресурсами организовано Министерством природных ресурсов (МПР) по административному принципу посредством Департамента по недропользованию по Центральному федеральному округу (Роснедра) и его территориальным отделом геологии и лицензирования по Белгородской и Курской областям, без учета гидрогеологических особенностей, степени нагрузки и состояния подземных вод в пределах бассейнов подземного стока различного порядка природного и антропогенного генезиса и характера взаимодействия их с бассейнами поверхностного стока.

Специфика условий залегания подземных вод на северо-востоке Белгородской области и южной части Курской области заключается в том, что первые от поверхности эксплуатируемые альб-сеноманский и турон-маастрихтский водоносные горизонты на большей части территории являются незащищенными от поступления

загрязнений от хозяйственной, аграрной и промышленной деятельности с поверхности водосборов, это определяет их уязвимость и требует постоянного мониторинга и решения задач рационального и ответственного водопользования [Питьева и др., 2016; Бочаров, 2017]. В силу того, что профильный информационный ресурс из федеральных источников [Информационный бюллетень…, 2025] имеет обобщенный вид, ограниченный объем и степень информативности, данные ресурса неприменимы при выработке и принятии управляющих решений для устойчивого развития региона на уровне субъектов Федерации. В связи с этим НИУ БелГУ в 2024 г. выступил с инициативой разработки для рассматриваемого региона «Концепции современного формирования ресурсов природных вод и вопросов их рационального использования для решения региональных проблем водопользования», которая приобрела статус госзадания FZWG-2025-0006. Приведенные в статье исследования выполнены в рамках данного госзадания и являются актуальными для его реализации.

В сложившейся ситуации концепцию современного формирования ресурсов меловых подземных вод в северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна возможно только на основе цифрового двойника – компьютерной модели области развития меловых подземных вод, особенностей геофильтрации и эксплуатации их водозаборными устройствами [Леонтьева, Квачев, 2020; Леонтьева и др., 2024].

Поэтому основной целью первого этапа работы «Концепции современного формирования ресурсов природных вод и вопросы их рационального использования для решения региональных проблем водопользования» в части подземных вод была разработка в 2025 г. концептуальной гидрогеологической модели меловых подземных вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна.

Систематизированное изучение гидрогеологических условий Донецко-Донского артезианского бассейна имеет почти вековую историю, а его результаты отражены в различных публикациях, каталогах, базах знаний. Из них, с точки зрения гидрогеологического стратиграфирования, следует выделить монографии по гидрогеологии бассейна Курской магнитной аномалии (КМА) [Геология, гидрогеология …, 1972], Воронежской, Курской, Белгородской, Брянской, Орловской, Липецкой, Тамбовской областей под ред. А.Т. Бобрышев [Гидрогеология СССР…, 1972], сводную легенду государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 200000, Московская и Брянско-Воронежская серии [Государственная гидрогеологическая…, 1989], гидрогеологические карты развития докайназойских отложений в пределах Белгородской, Курской и Воронежской областей в редакции В.В. Куренного [База знаний, 2025], электронный каталог карточек буровых скважин на воду Российского федерального геологического фонда [Квачев, 2004; Электронный каталог, 2025].

Существующие стратиграфические схемы гидрогеологических подразделений Курской Магнитной Аномалии (КМА) 1972 г., государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 200000, Московская и Брянско-Воронежская серии 1989 г, гидрогеологических карт ВСЕГИНГЕО масштаба 1 : 500000 в редакции В.В. Куренного 2002 г. не учитывают гидродинамику потока меловых подземных вод и технологические требования процесса численного моделирования геофильтрации.

Одной из задач исследований было стратиграфирование цифровых геологоразведочных и архивных материалов на бумажных носителях, созданных различными авторами и в разные периоды времени – привести их к одной стратиграфической схеме, позволяющей по этой схеме и концептуальной гидрогеологической основе создать численно моделируемые слои меловых подземных вод.

Объекты и методы исследования

Для создания геофильтрационной модели были использованы растровые изображения 12 геологических карт и прилагающихся к ним разрезов масштаба 1 : 200000 номенклатурных листов M 36-6, M 36-12, M 37-1, M 37-2, M 37-3, M 37-7, M 37-8, M 37-9, M 37-13, M 37-14, M 37-15, которые трансформированы (привязаны) в систему координат *Pulkovo 1942 /* проекцию *Gauss-Kruger*, с центральным меридианом *CM 39E*, в том числе в *3D* формате (рис. 1, 2).

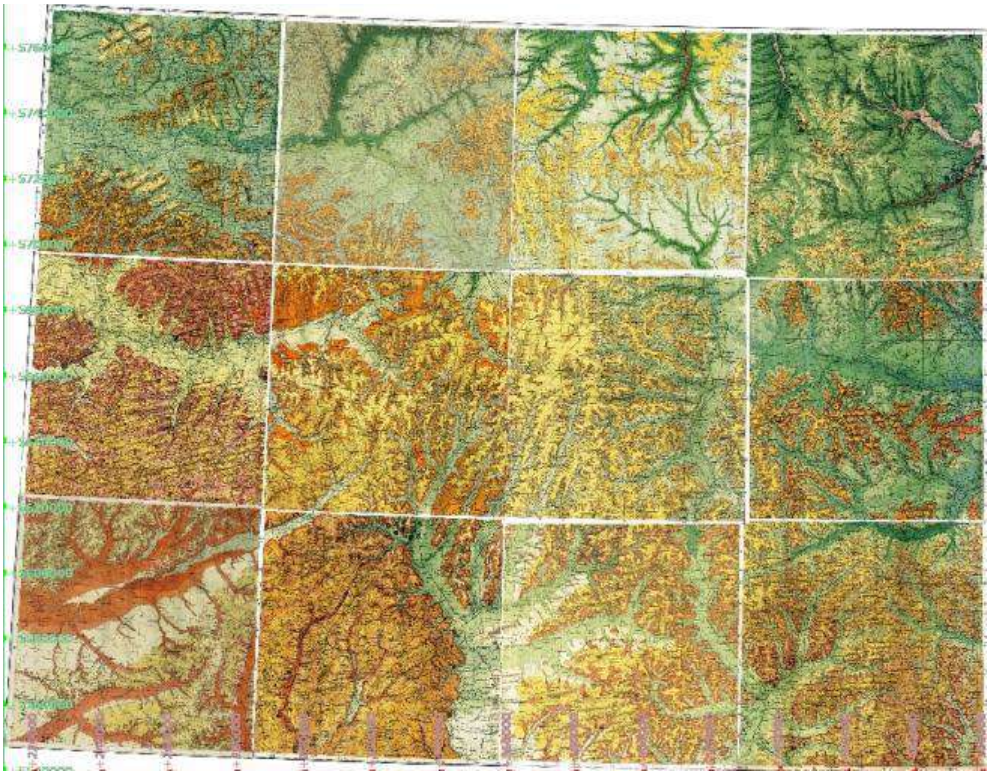


Рис. 1. Сводный растр карт дочетвертичных отложений северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна
Fig. 1. Composite raster of pre-Quaternary deposit maps for the northeastern part of the Donets-Don Artesian Basin

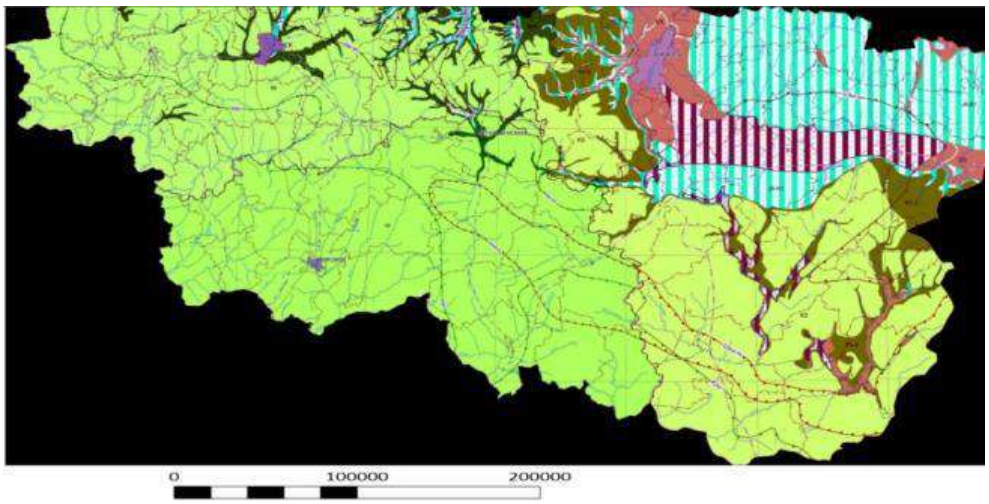


Рис. 2. Сводная гидрогеологические карты развития докайназойских отложений в пределах Белгородской, Курской и Воронежской областей в редакции В.В. Куренного
Fig. 2. Hydrogeological maps of the development of pre-Cenozoic deposits within the Belgorod, Kursk, and Voronezh regions, edited by V.V. Kurennoy

В монографиях по гидрогеологии бассейна Курской магнитной аномалии (КМА), Гидрогеологии СССР на территорию Курской, Белгородской и Воронежской областей [1972] на основе геологической стратиграфической схемы, в том числе для геологических карт масштаба 1 : 2000000, была представлена сводная стратиграфическая гидрогеологическая колонка, по которой в пределах исследуемой территории до подошвы меловых вод выделено 15 гидрогеологических подразделений, из них 3 водоупорных. Данная стратиграфическая схема использована при издании геологических и гидрогеологических карт масштаба 1 : 200000 [База знаний, 2025].

Сводная легенда государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 200000, Московская и Брянско-Воронежская серии 1989 г. представляет собой переработанный вариант сводной легенды Московской и Брянско-Воронежской серий масштаба 1 : 200000 Совета ВСЕГЕИ (при ВСЕГИНГЕО) от 1977 г. Необходимость переработки была вызвана разработкой современных принципов и требований к стратификации гидрогеологического разреза при составлении и подготовке к изданию Государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 200000, согласно которой выделено 11 водоносных, 3 слабоводоносных и один водоупорный горизонты.

Семантическое отличие данной схемы от гидрогеологической стратиграфической колонки под редакцией А.Т. Бобрышев [Гидрогеология СССР …, 1972] заключалось в том, что на первое место вынесен тип водоносного горизонта (водоносный, слабоводоносный, водоупорный), а затем идет название. Индекс меловых подразделений *Cr* заменен на *K*.

В 2002 г. В.В. Куренным (ВСЕГИНГЕО) составлены гидрогеологические карты водоносных комплексов докайнозойских и кайнозойских отложений масштаба 1 : 500000 отдельно на Белгородскую, Курскую и Воронежскую области, которые в электронном виде опубликованы в базе знаний Института геоэкологии РАН [База знаний, 2025], а созданная авторами сводная гидрогеологическая карта отображена на рис. 2.

Отличительной особенностью данной стратиграфической схемы было то, что в меловых горизонтах выделено 4 гидрогеологических подразделений, из которых два водоносных и два водоупорных и слабоводоносных. В настоящее время Российским Федеральным Геологическим Фондом аккумулированы в виде электронного каталога карточки буровых скважин на воду по территории России. Для ограничения выборки из электронного каталога в 2025 г. Е.В. Леонтьева и В.Н. Квачев [2026] выполнили реконструкцию изопьез турон-маастрихтского и альб-сеноманского водоносных горизонтов для ненарушенного режима с сечением 5 м и наложили на сводную гидрогеологическую карту докайнозойских отложений, а также произвели гидрогеологическое районирование меловых подземных вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна и определили границы их подземного стока (рис. 3, 4).

В пределах выделенных границ подземного стока меловых подземных вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна выявлено и загружено в базу данных «Объекты хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения» 1302 учетных карточек водозаборных скважин по Белгородской области и 325 учетных карточек водозаборных скважин по Курской области. Таким образом, материалы исследования включали 12 геологических карт масштаба 1 : 200000 и разрезы к ним, 6 гидрогеологических карт масштаба 1 : 500000, три гидрогеологические стратиграфические колонки, две карты гидрогеологического районирования, 1627 учетных карточек водозаборных скважин, имеющие различные индексации и наименования геологических и гидрогеологических подразделений, которые необходимо привести к одной стратиграфической схеме и выделить моделируемые слои геофильтрационной модели.

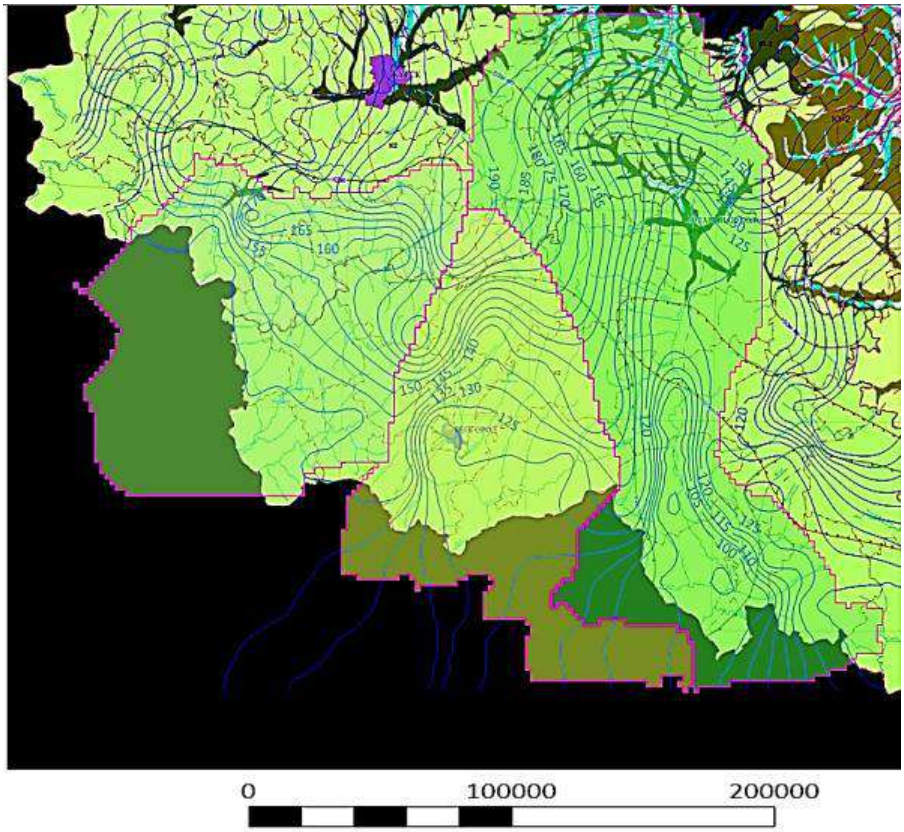


Рис. 3. Изопьезы и границы водосборных площадей турон-маастрихтского водоносного горизонта
Fig. 3. Isopiezes and boundaries of drainage areas of the Turonian-Maastrichtian aquifer

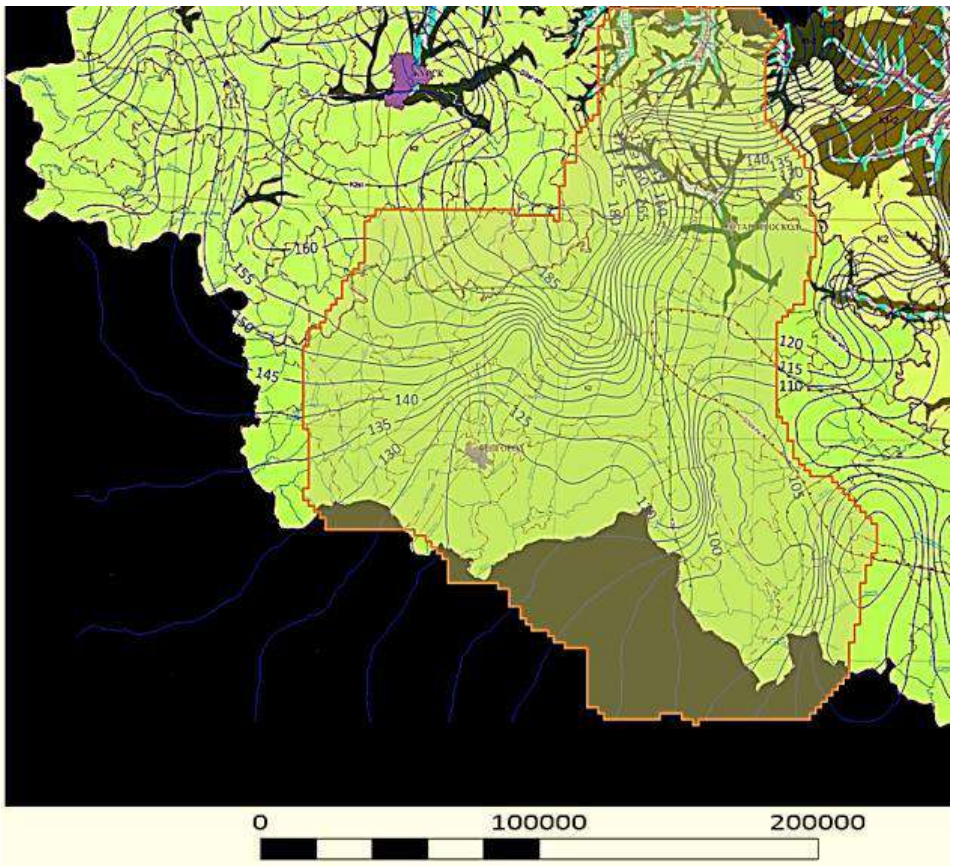


Рис. 4. Изопьезы и границы водосборных площадей альб-сеноманского водоносного горизонта
Fig. 4. Isopiezes and boundaries of drainage areas of the Albian-Cenomanian aquifer

Методы исследований включали:

– анализ гидродинамики подземного стока;

– создание и анализ сводной карты кайнозойских отложений [База знаний, 2025];

– сравнительный анализ стратиграфических схем и их схематизация для концептуальной гидрогеологической модели северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна;

– кодирование по принятой стратиграфической схеме геологической составляющей учетных карточек водозаборных скважин, карт, разрезов.

Результаты и их обсуждение

Анализ гидродинамики подземного стока меловых подземных вод.

Форма распределения изопьез в пределах верхнемеловых водоносных карбонатно-терригенных горизонтов K_2 позволила установить два явно выраженных региональных водораздела и одну впадину меридионального простирания. Один из водоразделов расположен в северной части рассматриваемой области фильтрации площадного типа с абсолютными отметками пьезоизогипс 180–190 м, а второй – в восточной части линейного типа с отметками пьезоизогипс 190–125 м, между ними региональная впадина с абсолютными отметками пьезоизогипс 120–100 м. Площадной водораздел, оконтуренный соответствующими пьезоизогипсами, охарактеризован как область питания, линейный водораздел – водораздельной границей с территорий подземного стока р. Дон, а площадь впадины – областью разгрузки фильтрационного потока. Территория между водораздельными пространствами и областью разгрузки принята за область транзита.

В верхнемеловых водоносных карбонатно-терригенных горизонтах K_2 выделен один подрайон – гидрогеологическая структура IV порядка, представленная трансграничной водосборной площадью подземного стока, и три участка – гидрогеологические структуры V порядка, представленные региональными водосборными площадями подземного стока. Подрайон назван северо-восточным – K_2 по местоположению в пределах Донецко-Донского артезианского бассейна и гидрогеологической стратификации, а участки наименованы по основным дренирующим водным артериям:

1 – Оскольский,

2 – Северско-Донецкий,

3 – Ворскло-Псельский.

Границами подрайона и участков являются водораздельные линии, ортогональные к изопьезам. При этом границы северо-восточного подрайона K_2, участков 1 – Оскольского, 2 – Северско-Донецкого, 3 – Ворскло-Псельского и пьезоизогипсы турон-маастрихтского водоносного горизонта не согласуются с границей развития сантонского водоупорного горизонта K_2st (на рис. 5 показан красным цветом), а пересекают его в произвольном порядке. Это указывает на то, что сантонский водоупорный горизонт K_2st не оказывает существенного влияния на гидродинамику потока турон-маастрихтского водоносного горизонта и отдельно его выделять в стратиграфической схеме не целесообразно, и можно представить в виде фильтрационной неоднородности. Доминирующее влияние на гидродинамическую структуру потока турон-маастрихтского водоносного горизонта в северо-восточном подрайоне K_2 оказывает дренирующая роль таких региональных речных систем как Оскол, Северский Донец, Ворскла, Псел.

Форма распределения изопьез в пределах верхне-нижнемелового водоносного терригенного горизонта K_{1-2} позволила установить также два явно выраженных региональных водораздела и одну впадину меридионального простирания. Один водораздел в северной части рассматриваемой области фильтрации площадного типа с абсолютными отметками пьезоизогипс 180–190 м, а второй – в восточной части линейного типа с отметками пьезоизогипс 190–110 м, между ними расположена региональная впадина с абсолютными отметками пьезоизогипс 120–100 м.

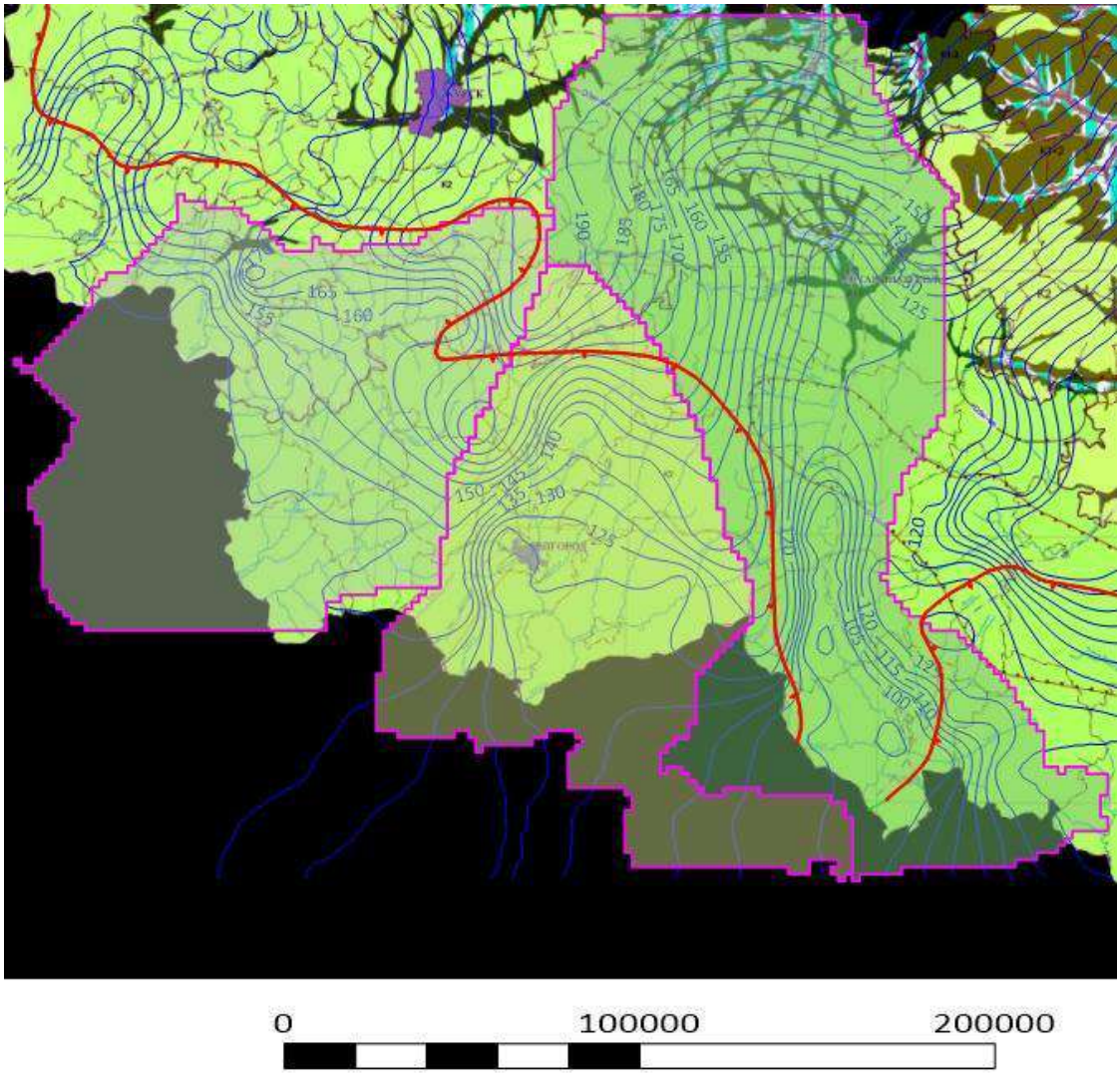


Рис. 5. Пространственные взаимоотношения границ развития сантонского водоупорного горизонта K_2st, (красная линия) с гидрогеологическими подразделениями верхнего мела
Fig.5. Spatial relationships of the development boundaries of the Santonian aquiclude K2st (red line) with the hydrogeological units of the Upper Cretaceous

Площадной водораздел, оконтуренный соответствующими пьезоизогипсами, охарактеризован как область питания, линейный – водораздельной границей с территорий подземного стока р. Дон, а площадь впадины – областью разгрузки фильтрационного потока. Территория между водораздельными пространствами и областью разгрузки принята за область транзита.

В верхне-нижнемеловом водоносном терригенном горизонте $K_{1–2}$ выделен один подрайон – гидрогеологическая структура IV порядка без участков, поскольку данный тип вод меньше подвержен дренированию поверхностными водными артериями, представлен трансграничной водосборной площадью подземного стока.

Границами подрайона являются водораздельные линии, ортогональные к изопьезам. Подрайон назван – северо-восточным – $K_{1–2}$ по местоположению в пределах Донецко-Донского артезианского бассейна и гидрогеологической стратификации. Доминирующее влияние на гидродинамическую структуру потока альб-сеноманского водоносного горизонта в северо-восточном подрайоне $K_{1–2}$ оказывает дренирующая роль таких региональных речных систем как Оскол, Северский Донец.

Следует отметить, что практическая вся дневная поверхность исследуемой территории кайнозойского возраста перекрыта терригенными водоносными, водоупорными горизонтами и комплексами островного развития. Исключение составляют отдельные участки на востоке, где верхнемеловые отложения выходят на дневную поверхность. Исходя из островного развития терригенных водоносных и водоупорных горизонтов и комплексов, а также требований геофильтрационной модели сплошности развития моделируемого слоя [Chmakov et al., 2009; Anderson et al., 2015; Popescu, 2020] все кайнозойские терригенные водоносные и водоупорные горизонты и комплексы целесообразно представить для моделирования фильтрации подземных вод единым стратиграфическим слоем – кайнозойским (*KZ*). Взаимодействие всех гидрогеологических подразделений с нижележащими верхемеловыми гидрогеологическими подразделениями будет осуществляться через дифференцированое инфильтрационное питание.

Сравнительный анализ стратиграфических схем и их схематизация для концептуальной гидрогеологической модели северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна.

Анализ гидродинамики подземного стока, особенностей развития кайнозойских отложений, технологические требования программных комплексов моделирования фильтрации подземных вод и ретроспективный сравнительный анализ используемых стратиграфических схем для северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна позволил выделить три стратиграфических подразделения для расчетных слоев геофильтрационной модели меловых подземных вод (см. таблицу): Кайнозойский терригенный водоносный комплекс (*KZ*); Верхнемеловой водоносный карбонатно-терригенный комплекс (K_2); Верхне-нижнемеловой водоносный, терригенный комплекс (K_{1-2}.)

Кодирование по принятой стратиграфической схеме геологической составляющей учетных карточек водозаборных скважин, карт, разрезов.

Для картографического комплекса и создания концептуальной гидрогеологической модели северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна были перекодированы в соответствии с определенной стратиграфической схемой 12 геологических карт масштаба 1 : 200000 и разрезы к ним, 1627 учетных карточек водозаборных скважин, имеющие различные индексации и наименования геологических и гидрогеологических подразделений. Сформирован загрузочный модуль *Гидрогеологические объекты* (*interval*), состоящая из четырех полей и содержит данные об уникальном номере скважин (*hole_id*), интервале залегания (*from to*) моделируемого слоя (от, до), стратиграфическом индексе слоя из 3672 строк, всего 14688 записей.

Сравнительная таблица гидрогеологических подразделений, получивших развитие до подошвы меловых вод в северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна
Comparative table of hydrogeological units developed up to the base of the Cretaceous waters in the northeastern part of the Donets-Don artesian basin

№ стратиграфического подразделения геофиль трационной модели	№ гидрогеологического подразделения	Гидрогеологические подразделения КМА Курской, Воронежской и Белгородской областей по монографиям [Геология, гидрогеология …, 1972; Гидрогеология СССР …, 1972]	Гидрогеологические подразделения согласно легенды государственной гидрогеологической карты СССР М 1:200 000, Московская и Брянско-Воронежская серии (Донецко-Донской артезианский бассейна [Государственная гидрогеологическая…, 1989])	Гидрогеологические подразделения гидрогеологических карт докайнозойских отложений масштаба 1 : 500000 в редакции Куренного В.В [База знаний, 2025]	Гидрогеологические подразделения геофильтрационной модели
1	1	Современный аллювиальный водоносный горизонт (*al Q_{IV}*)	Водоносный четвертичный аллювиальный горизонт, al-IV	Слабоводоносный современный болотный гори-зонт торфа с включением супесей и суглинков bIV	Кайнозойский терригенный водоносный комплекс *KZ*
	2	Верхне-среднечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт (*alQ_{II-III}*)	Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт, a II-III	Водоносный средне-верхнечетвертичный голоценовый аллювиальный горизонт a II-IV	
	3	Воды спора-дического распро-странения в нерас-члененных покров-ных отложениях (*prQ $_{I_IV}$*)	Слабоводоносный (локально-водоносный) нижне-верхнечетвертичный почвенно-лессовый горизонт, pr I-II	Водоносный, нижне-верхнечетвертичный, надморенный аллювиально-флювиогляциальный горизонт a,fl I-III	
	4	Московско-Днепровский флювиогляциаль-ный водоносный горизонт (Q dn-m)	Слабоводоносный донской ледниковый горизонт, gl dns	Слабоводоносный, нижне-верхнечетвертичный ледниковый комплекс, gl I-III	
	5	Днепровский водоупор ((glQdn)	Водоупорный донской ледниковый горизонт, gl dns		
	6	Днепровско-окский флювиогляциаль-ный водоносный го-ризонт (fgl Q ok-dn)	Водоносный донской водно-ледниковый горизонт, f,lg dns	Водоносный, нижне-верхнечетвертичный водно-ледниковый комплекс, f,lg I-III	
	7	Неогеновый водоносный комплекс (N)	Водоносный плиоце-новый терригенный горизонт N_2	Водоносный плиоценовый терригенный горизонт N_2	
	8	Полтавско-харьковский водоносный горизонт (Pg3 hr-pl)	Водоносный (слабо-водоносный) харьков-ско-полтавский терри-генный горизонт Pg3 hr-pl	Водоносный(слабоводоносный) кантемировско-берегский терригенный комплекс P3	
	9	Киевский водоупор (Pg2 kv)	Слабоводоносный локально-водоупорный киевско-дерризовский терригенный комплекс, P2 kv-dr	Водоупорный киевско-обуховский терригенный комплекс P2	
	10	Бучакско-сумской водоносный горизонт (Pg sm-bc)	Водоносный (слабо-водоносный) каневско-бучакский терригенный горизонт, Pg2 kn-bc	Водоносный сумско-бучакский терригенный комплекс Pg	
2	11	Маастрихт-туронский водоносный горизонт (Cr2t-m)	Водоносный турон-маастрихтский карбона-тный комплекс, K_2 t-m	Верхнемеловые водоносные карбонатно-терригенные горизонты и комплексы K_2	Верхнемеловой водоносный карбонатно-терригенный комплексы K2
	12	Сантонский водоупор (Cr2 st)	Водоносный (слабоводоносный) сантонский терри-генный комплекс, K_2 st	Верхнемеловые водоупорные и слабоводоносные карбонатно-терригенные горизонты K_2	
	13	Коньяк-туронский водоносный горизонт (Cr2t-cn)	Водоносный турон-коньякский карбонат-ный комплекс, K_2 t-k		
3	14	Сеноман-альбский водоносный горизонт (Cr al-cm)	Водоносный альб-сеноманский терри-генный горизонт, K_2 al-s	Верхне-нижнемеловой водоносный терригенный горизонт K_{1-2}	Верхне-нижнемеловой водоносный, терригенный комплекс K_{1-2}
	15	Воды споради-ческого распростра-нения апт-неоком-ский отложений (Cr1 nc-ap)	Водоносный апт-альбский терригенный горизонт, K_1 a-al	Нижнемеловой водоупорный терригенный горизонт, K_1	

Заключение

Границы северо-восточного подрайона K_2, участков 1 – Оскольского, 2 – Северско-Донецкого, 3 – Ворскло-Псельского и пьезоизогипсы турон-маастрихтского водоносного горизонта не согласуются с границей развития сантонского водоупорного горизонта K_2st., а пересекают его в произвольном порядке. Следовательно, сантонский водоупорный горизонт K_2st не оказывает существенного влияния на гидродинамику потока турон-маастрихтского водоносного горизонта и отдельно его выделять в стратиграфической схеме нецелесообразно, а можно представить в виде фильтрационной неоднородности. Доминирующее влияние на гидродинамическую структуру потока турон-маастрихтского водоносного горизонта в северо-восточном подрайоне (K_2) оказывает дренирующая роль таких региональных речных систем, как Оскол, Северский Донец, Ворскла, Псел. Доминирующее влияние на гидродинамическую структуру потока альб-сеноманского водоносного горизонта в северо-восточном подрайоне ($K_{1–2}$) оказывает дренирующая роль таких региональных речных систем, как Оскол и Северский Донец.

Исходя из островного развития терригенных водоносных и водоупорных горизонтов и комплексов, а также требований геофильтрационной модели сплошности развития моделируемого слоя все кайнозойские терригенные водоносные и водоупорные горизонты и комплексы целесообразно представить для моделирования фильтрации подземных вод единым стратиграфическим слоем – кайнозойским. Взаимодействие всех его гидрогеологических подразделений с нижележащими верхнемеловыми гидрогеологическими подразделениями следует реализовать через дифференцированное инфильтрационное питание.

Анализ гидродинамики подземного стока, особенностей развития кайнозойских отложений, технологические требования программных комплексов моделирования фильтрации подземных вод и ретроспективный сравнительный анализ используемых стратиграфических схем для северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна позволяют выделить три стратиграфических гидрогеологических подразделения для расчетных слоев геофильтрационной модели меловых подземных вод: Кайнозойский терригенный водоносный комплекс (*KZ*); Верхнемеловой водоносный карбонатно-терригенный комплекс (K_2); Верхне-нижнемеловой водоносный, терригенный комплекс (K_{1-2}).

Список источников

Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2024 г. 2025. М., Гидроспецгеология, Вып. 30, С. 158. Электронный ресурс. URL: https://geomonitoring.ru/download/IB/2025_cfo.pdf (дата обращения: 20.08.2025).

Государственная гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Московская и Брянско-Воронежская серии. 1989. Сводная легенда. М., 50 с.

База знаний. Карты. Институт геоэкологии РАН. Электронный ресурс. URL: http://hgepro.ru/mapgis/start.html (дата обращения: 21.08.2025).

Электронный каталог карточек буровых скважин на воду Российского Федерального Геологического Фонда. Электронный ресурс. URL: https://rfgf.ru/info-resursy/e-katalogi-geologicheskih-dokumentov (дата обращения: 21.08.2025).

Chmakov S., Hesch W., Tu C., Lima M., Sychev P. 2009. Conceptual Model Development for FEFLOW or MODFLOW Models – a New Generation of Schlumberger Water Services Software. Electronic resource. URL: https://www.researchgate.net/publication/228688843 (date of access: 21.08.2025)

Список литературы

Бочаров В.Л. 2017. Влияние горнодобывающих предприятий на подземные воды Старооскольско-Губкинского района КМА. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 4: 95–99.

Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА). Т. II: Гидрогеология и инженерная геология. 1972. Под ред. А.Т. Бобрышева. М., Недра, 480 с.

Гидрогеология СССР. Т. 4. Воронежская область, Курская область, Белгородская область, Брянская область, Орловская область, Липецкая область, Тамбовская область. 1972. Под ред. А.Т. Бобрышева, М.Р. Никитина, Д.С. Соколова, Е.Г. Чаповского. М., Недра, 499 с.

Квачев В.Н. 2004. Гидрогеологическая стратификация и районирование Белгородской области для целей водоснабжения. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 2: 194–204.

Леонтьева Е.В., Квачев В.Н. 2026. Гидрогеологическое районирование меловых подземных вод северо-восточной части Донецко-Донского артезианского бассейна. звестия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 1: 99–113. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2026-1-99-113

Леонтьева Е.В., Квачев В.Н. 2020. Цифровизация гидрогеологических процессов в горнодобывающей промышленности. Горный журнал, 10: 95–100. https://doi.org/10.17580/gzh.2020.10.11

Леонтьева Е.В., Погорельцева Е.И., Квачев В.Н. 2024. Технологические аспекты создания концептуальных 3D-моделей гидрогеологических объектов и процессов на примере Стойленского ГОКа. Горный журнал, 10: 83–89. https://doi.org/10.17580/gzh.2024.10.12

Лукьянчиков В.М., Плотникова Р.И., Челидзе Ю.Б., Егоров Т.С., Ершов В.В., Кашина Н.П. 2019. Результаты и проблемы государственного гидрогеологического картографирования. Разведка и охрана недр, 3: 48–55.

Некрич А.С. 2025. Последствия техногенного воздействия и меры по снижению экологического риска в железорудных районах Белгородской области. Экология и промышленность России, 29(11): 50–57. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2025-11-50-57

Питьева К.Е., Смирнова А.Я., Смирнова А.А. 2016. Гидросфера северо-восточной территории Воронежской области. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 101–115.

Трубицын Д.С., Дешевых Г.Ю. 2021. Гидрогеологическое районирование территорий южной части ЦФО с уточнением границ структур II, III порядков. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 2: 83–93. https://doi.org/10.17308/geology.2021.2/3491

Челидзе Ю.Б. 2015. Общее гидрогеологическое районирование Российской Федерации масштаба 1:2500000 (методика и технология, результаты и проблемы). Разведка и охрана недр, 8: 68–72.

Челидзе Ю.Б., Барон В.А., Пугач С.Л., Кокорева С.В. 2015. Общее гидрогеологическое районирование как основа системного картографирования, изучения, использования и оценки состояния подземных вод России. Разведка и охрана недр, 5: 41–50.

Anderson M.P., Woessner W.W., Hunt R.J. 2015. Applied Groundwater Modeling, Second Edition, Simulation of Flow and Advective Transport-Academic. Academic Press, 602 p.

Popescu I. 2020. Computational Hydraulics. Numerical Methods and Modelling. IWA Publishing, 185 p.

References

Bocharov V.L. 2017. The Impact of Mining on Groundwater Starooskol-Gubkinsky District of the KMA. Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geologiya, 4: 95–99 (in Russian).

Geologiya. gidrogeologiya i zheleznyye rudy basseyna Kurskoy magnitnoy anomalii (KMA). T. II: Gidrogeologiya i inzhenernaya geologiya [Geology, Hydrogeology, and Iron Ores of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA) Basin. Vol. II: Hydrogeology and Engineering Geology]. 1972. Ed. by A.T. Bobryshev. Moscow, Pabl. Nedra, 480 p.

Gidrogeologiya SSSR. T. 4. Voronezhskaya oblast, Kurskaya oblast, Belgorodskaya oblast, Bryanskaya oblast, Orlovskaya oblast, Lipetskaya oblast, Tambovskaya oblast [Hydrogeology of the USSR. Vol. 4. Voronezh Oblast, Kursk Oblast, Belgorod Oblast, Bryansk Oblast, Oryol Oblast, Lipetsk Oblast, Tambov Oblast]. 1972. Ed. by A.T. Bobryshev, M.R. Nikitin, D.S. Sokolov, E.G. Chapovsky. Moscow, Pabl. Nedra, 499 p.

Kvachev V.N. 2004. Hydrogeological Stratification and Zoning of the Belgorod Oblast for Water Supply Purposes. Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geologiya, 2: 194–204 (in Russian).

Leontyeva E.V., Kvachev V.N. 2026. Hydrogeological Zoning of Cretaceous Groundwater in the Northeastern Part of the Donetsk-Don Artesian Basin. Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences, 1: 99–113 (in Russian). https://doi.org/10.18522/1026-2237-2026-1-99-113

Leontyeva E.V., Kvachev V.N. 2020. Digitalization of Hydrogeological Processes in the Mining Industry. Gornyi Zhurnal, 10: 95–100 (in Russian). https://doi.org/10.17580/gzh.2020.10.11

Leontyeva E.V., Pogoreltseva E.I., Kvachev V.N. 2024. Technological Aspects of Creating Conceptual 3D Models of Hydrogeological Objects and Processes on the Example of the Stoilensky Mining and Processing Plant. Gornyi Zhurnal, 10: 83–89 (in Russian). https://doi.org/10.17580/gzh.2024.10.12

Lukyanchikov V.M., Plotnikova R.I., Chelidze Yu.B., Egorov T.S., Ershov V.V., Kashina N.P. 2019. The Results and Problems of the State Hydrogeological Mapping. Prospect and protection of mineral resources, 3: 48–55 (in Russian).

Nekrich A.S. 2025. Consequences of Anthropogenic Impact and Measures to Reduce Environmental Risk in Iron Ore Areas of the Belgorod Region. Ecology and Industry of Russia, 29(11): 50–57 (in Russian). https://doi.org/10.18412/1816-0395-2025-11-50-57

Pityeva K.E., Smirnova A.Ya., Smirnova A.A. 2016. Hydrosphere of the North-Eastern Territory of the Voronezh Region. Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia, 2: 101–115 (in Russian).

Trubitsyn D.S., Deshevykh G.Yu. 2021. Hydrogeological Zoning of the Southern Part of the Central Federal District with Clarification of the Boundaries of Structures of the II and III Orders. Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geologiya, 2: 83–93 (in Russian). https://doi.org/10.17308/geology.2021.2/3491

Chelidze Yu.B. 2015. General Hydrogeological Zoning of the Russian Federation on the Scale of 1:2500000 (Technique and Technology, Results and Problems). Exploration and protection of mineral resources, 8: 68–72 (in Russian).

Chelidze Yu.B., Baron V.A., Pugach S.L., Kokoreva S.V. 2015. General Hydrogeological Zoning as a Basis for Systemic Mapping, Study, Use, and Assessment of the State of Groundwater in Russia. Exploration and Protection of Subsoil, 5: 41–50 (in Russian).

Anderson M.P., Woessner W.W., Hunt R.J. 2015. Applied Groundwater Modeling, Second Edition, Simulation of Flow and Advective Transport-Academic. Academic Press, 602 p.

Popescu I. 2020. Computational Hydraulics. Numerical Methods and Modelling. IWA Publishing, 185 p.

Поступила в редакцию 13.04.2026;
поступила после рецензирования 13.05.2026;
принята к публикации 02.06.2026

Received April 13, 2026;
Revised May 13, 2026;
Accepted June 02, 2026

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

Квачев Василий Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной геологии и горного дела Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Леонтьева Елена Васильевна, кандидат географических наук, доцент кафедры прикладной геологии и горного дела, Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vasily N. Kvachev, PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Department of Applied Geology and Mining, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Elena V. Leontyeva, PhD (Geographical Sciences), Associate Professor, Department of Applied Geology and Mining, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Донецкий Сергей Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной геологии и горного дела Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Sergey V. Donetsky, PhD (Engineering Sciences), Head of the Department of Applied Geology and Mining, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Игнатенко Игнат Михайлович, кандидат технических наук, проректор по развитию наукоемкого производства, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Ignat M. Ignatenko, PhD (Engineering Sciences), Vice-Rector for Science-Intensive Production Development, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 911.5:712.23(262.5)
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-326-338
EDN MAAONG

Оценка пейзажного разнообразия Азовского побережья: методический подход и результаты анализа

Позаченюк Е.А., Яковенко И.М.
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4
pozachenyuk@gmail.com, yakovenko-tnu@ya.ru

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительной оценки пейзажного разнообразия Азовского побережья – от Керченского полуострова до косы Тузла. Систематизированы подходы и критерии психолого-эстетической оценки ландшафтов для целей туризма, включая экспертный, когнитивный, эмпирический и психофизический методы. Авторская методика явилась модификацией балльной оценки пейзажного разнообразия природных комплексов Ю.А. Веденина и Л.С. Филипповича. Исследование охватило 490 точек обзора, обобщённых по 84 ландшафтным участкам. Предложен авторский подход, сочетающий элементы экспертно-описательного, психолого-перцептивного и формально-эстетического методов. Разработана и применена 20-балльная шкала, включающая критерии структурно-композиционной сложности (вертикальное и горизонтальное расчленение, визуальные доминанты), колористического богатства (цветовое разнообразие, текстура поверхностей) и воспринимаемых качеств ландшафта (сложность, читаемость, таинственность, уникальность). Выявлены участки-лидеры: дельта Дона (15 баллов), Караларский (12 баллов), Камышеватская коса (12,4 баллов), Мержановский (13,8 баллов), а также зоны с минимальными значениями: Порт-Катоновский (3,5 балла) и Маргаритовский (4,0 балла). Установлено парадоксальное несоответствие: высокая пейзажная ценность клифовых участков сочетается с очень низкой рекреационной пригодностью из-за опасных геоморфологических процессов. На основе полученных баллов все ландшафтные участки распределены по пяти категориям пейзажного разнообразия: от очень низкой (I, < 5,0 баллов) до очень высокой (V, > 13,0 баллов). На основе типологии участков по происхождению (косы, клифовые берега, дельтово-плавневые комплексы) предложено функциональное зонирование побережья для целей экологического, фото- и культурно-познавательного туризма. Результаты могут быть использованы при разработке стратегий территориального планирования и развития туризма в регионе.

Ключевые слова: пейзажное разнообразие, ландшафт, Азовское море, рекреационный потенциал, эстетическая оценка

Благодарности: исследование выполнено в рамках договора № 26-06/2024 и финансовой поддержки Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество».

Для цитирования: Позаченюк Е.А., Яковенко И.М. 2026. Оценка пейзажного разнообразия Азовского побережья: методический подход и результаты ландшафтного анализа. Региональные геосистемы, 50(2): 326–338. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-326-338 EDN: MAAONG

The Azov Coast Landscape Diversity Assessment: Methodological Approach and Analysis Results

Ekaterina A. Pozachenyuk, Irina M. Yakovenko
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4 Academician Vernadsky Ave., Simferopol 295007, Russia
pozachenyuk@gmail.com, yakovenko-tnu@ya.ru

© Позаченюк Е.А., Яковенко И.М., 2026

Abstract. The article presents the results of a comparative assessment of the landscape diversity of the Azov coast – from the Kerch Peninsula to the Tuzla Spit. The approaches and criteria of psychological and aesthetic assessment of landscapes for tourism purposes, including expert, cognitive, empirical and psychophysical methods, have been systematized. The authors' method is a modification of the point-based assessment of landscape diversity of natural complexes by Yu.A. Vedenin and L.S. Filippovich. An original approach is proposed, combining elements of expert-descriptive, psychological-perceptual and formal-aesthetic methods. A 20-point scale has been developed and applied, including criteria for structural and compositional complexity (vertical and horizontal dissection, visual dominants), color richness (color diversity, surface texture) and perceived landscape qualities (complexity, legibility, mystery, uniqueness). The study covered 490 viewpoints summarized across 84 landscape units. The leading sites were identified: the Don Delta (15 points), Karalarsky (12), Kamyshevatskaya Spit (12.4), Merzhanovsky (13.8), as well as the zones with minimal values: Port-Katonovsky (3.5) and Margaritovsky (4.0). A paradoxical discrepancy has been established: high landscape value of cliff areas is combined with very low recreational suitability due to hazardous geomorphological processes. Based on the scores obtained, we have classified all landscape units into five categories of landscape diversity: from very low (I, < 5.0 points) to very high (V, > 13.0 points). Based on the typology of units by origin (spits, cliff shores, delta-floodplain complexes), functional zoning of the coast is proposed for the purposes of ecotourism, photo tourism, as well as cultural and educational tours. The results can be used in the development of territorial planning strategies and tourism development in the region.

Keywords: landscape diversity, landscape, Sea of Azov, recreational potential, aesthetic assessment

Acknowledgements: the research was carried out under Agreement No. 26/06/2024 and the financial support of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society".

For citation: Pozachenyuk E.A., Yakovenko I.M. 2026. The Azov Coast Landscape Diversity Assessment: Methodological Approach and Analysis Results. Regional Geosystems, 50(2): 326–338 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-326-338 EDN: MAAONG

Введение

Необходимость эстетической оценки природного ландшафта впервые сформулирована в работе А. Геттнера «География и история, сущность и методы» (1927) [Геттнер и др., 2006]. Автор акцентирует внимание на покомпонентности оценки и объективности оценок привлекательности ландшафтов в силу разнообразия аспектов их рассмотрения.

Систематизируя представления о подходах и критериях психолого-эстетической оценки ландшафтов, многие авторы отмечают, что с 80-х гг. XX в. в теории исследования восприятия ландшафтов различаются четыре парадигмы: экспертная (оценка количественных компонентов ландшафта специалистами); когнитивная (определяется полученным опытом и ожиданиями на ближайшее будущее наблюдателя); эмпирическая (основывается на чувствительном опыте познания) и психофизическая (выполняется посредством тестирования групп людей на предмет психофизического восприятия и суждения об окружающей среде) [Zube et al., 1982; Фролова, 1994; Гродзинський, Савицька, 2005; Носуленко, 2008; Андреева, 2021]. Д.А. Дирин и Е.С. Попов [2010] выделяют два основных подхода к исследованию феномена пространственного восприятия и эстетической оценки ландшафтов – «объективистский» (выделение объективных критериев эстетической привлекательности, кроющихся в физиономических характеристиках самого ландшафта) и «субъективистский» (указывая на субъективную природу красоты, данный подход исследует особенности ландшафтно-эстетических предпочтений у разных групп людей). Ряд ученых сходятся во мнении о том, что наиболее целесообразным является выделение ландшафтно-пейзажных комплексов, обусловленных взаимным сочетанием объективных компонентов

географической среды, проведение на основе комплексов типизации пейзажей и их картографирования [Белов и др., 2001; Кочуров, Бучацкая, 2007; Вдовюк, Мотошина, 2013; Лозбенева, 2022].

В статье испанских авторов Д. Серрано Гине, М.И. Перес Алберт и А.В. Паласио Буэндиа [Serrano Gine et al., 2021] дана сравнительная эстетическая оценка ландшафта с использованием двух традиционных моделей – психофизической (с использованием процедуры ГИС-картографирования) и психологической (с помощью ГИС и привлечением общественности). Было установлено, что психологическая модель генерирует больше и дает лучшие оценки ландшафтам, при этом модели не взаимозаменяемы, а дополняют друг друга.

Во многих исследованиях доказывается необходимость учёта особенностей восприятия природных ландшафтов людьми с различными социокультурными особенностями. В статье Е.Г. Петровой и Ю.В. Миронова [2013] проведён сравнительный анализ предпочтений в отношении визуального и эмоционального восприятия ландшафтов и различий в эстетической оценке у японцев и русских. Помимо принадлежности к определённой группе (этнической, половозрастной, социальной и др.), оценочные реакции на окружающий ландшафт определяют также индивидуальные характеристики (профессиональные интересы, хобби, уровень образования и др.) [Aoki, Kitamura, 2001; Kalterborn, Bjerke, 2002] и сенсорные способности человека [Николаев, 2005].

Пейзажное (визуальное) разнообразие является ключевым компонентом рекреационного потенциала любой территории, особенно приморской. Оно определяет эстетическую привлекательность ландшафтов, влияет на психоэмоциональное состояние отдыхающих и формирует основу для таких видов туризма, как познавательно-природный, экологический и фототуризм. Подходы к оцениванию пейзажного разнообразия природных комплексов в туристско-рекреационных целях разрабатываются с 1960-х гг. В отечественной географии первые публикации методического характера появились в рамках реализации концепции туристско-рекреационной системы, предложенной учеными Института географии АН СССР. В исследованиях Ю.А. Веденина и Л.С. Филипповича [1975] были выявлены основные факторы внутреннего и внешнего пейзажного разнообразия, установлены количественные показатели их оценивания и разработаны параметры и шкалы балльной оценки. Впоследствии эстетической оценке подвергались как отдельные элементы ландшафта (рельеф, растительность, водные объекты и др.) [Бредихин, 2005; Кириллова, 2012; Корф, 2014], так и ландшафтные комплексы в целом [Назаров, Постников, 2002; Оборин, 2011; Горбунов и др., 2020]. По мнению монгольских учёных, географические исследования в ландшафтной эстетике направлены, прежде всего, на решение вопросов выбора участков, наиболее подходящих для размещения рекреационных объектов [Erdenejargal et al., 2021].

В современных рекреационно-географических исследованиях использован широкий диапазон критериев оценки пейзажного разнообразия ландшафта: разнообразие элементов ландшафта; комбинации расчленённости рельефа и залесённости территории; мозаичность – густота границ между разнородными природными средами в расчёте на единицу территории; цветовая палитра; наличие композиционных узлов и осей; панорамность; наличие контура сцены; присутствие символических природных объектов; степень антропогенной трансформации и многие другие. Ряд авторов предлагает также включать в комплексную эстетическую оценку наличие ООПТ (общее количество, площадь, характер распределения) [Кучинов, 2017], звуковое пространство и параметры запахов ландшафтов [Андреева, 2000; Baczynska et al., 2017; Андреева, 2021]. Появились исследования, посвящённые оценке аттрактивности и эстетической привлекательности культурного ландшафта, в которых

акцент делается на насыщенности территории объектами культурного наследия [Ливинская, 2013].

Азовское побережье – уникальный полигон для ландшафтно-эстетических исследований. При относительно невысоком гипсометрическом положении и слабой расчленённости рельефа, здесь сформировались контрастные пейзажи благодаря взаимодействию моря, суши, аккумулятивных форм и абразионных уступов. О.И. Княжик и Д.А. Билан [2023] отмечают, что Донецкое Приазовье обладает уникальной геопластикой и располагает специфичными формами и ландшафтами, свойственными только данной местности и образованными в результате долгого тектонического преобразования – оврагами, холмами, балками, надвигами и водоразделами. М.В. Агбунов [1992], характеризуя ландшафты Северного Причерноморья, отмечал, что на макроуровне степные пейзажи стягиваются к морю, изменяясь и трансформируясь по мере приближения, как бы формируя особый маршрут, провожающий человека по мере продвижения.

Анализ библиографических источников за более чем 50-летний период показал отсутствие детальной инвентаризации пейзажного разнообразия по единой методике в масштабе всего побережья Азовского моря. Настоящая работа восполняет этот пробел. Уникальность Приазовья для изучения визуальных свойств природных комплексов заключается не только в контрастном сочетании аккумулятивных, абразионных и гидроморфных ландшафтов, но и в их умеренной антропогенной трансформации. Актуальность количественной оценки пейзажного разнообразия обусловлена необходимостью перехода от интуитивных представлений о красоте ландшафта к объективным, воспроизводимым критериям, которые могут быть интегрированы в схемы территориального планирования и управления рекреационными ресурсами.

Целью статьи являются разработка и апробация методики комплексной оценки пейзажного разнообразия побережья Азовского моря, а также пространственный анализ полученных результатов для выделения зон с различным рекреационно-эстетическим потенциалом с целью их эффективного использования в процессе туристско-рекреационного освоения территории.

Объекты и методы исследования

В основу исследования положена оригинальная база данных, включающая 490 точек обзора по 84 ландшафтным участкам Азовского побережья (от Керченского полуострова до косы Тузла). По каждой точке обзора зафиксированы: тип береговых и прибрежно-аквальных ландшафтов; интегральная оценка пейзажного разнообразия (в баллах); степень благоприятности использования в рекреации и туризме (высокая, средняя, низкая, очень низкая); дополнительные характеристики: литология пляжей, высота и активность клифов, наличие гидрографических объектов, антропогенная нагрузка.

Для достижения поставленной цели был синтезирован комплексный подход, объединяющий классические и современные методы оценки эстетических свойств ландшафта.

1. Экспертно-описательный подход в традициях отечественной ландшафтной школы, в рамках которого акцент делается на анализе морфологической структуры ландшафта (вертикальное и горизонтальное расчленение, наличие доминант и акцентов) [Веденин, Филиппович, 1975; Николаев, 2005].

2. Психолого-перцептивный подход [Appleton, 1975; Kaplan R., Kaplan S., 1989; Frank et al., 2013;], рассматривающий ландшафт через призму его восприятия человеком, с использованием критериев «сложности», «читаемости», «таинственности» и баланса «проспекта-рефугиума».

3. Формально-эстетический подход (метод анализа визуальных ресурсов), фокусирующийся на объективных компонентах: форме, линии, цвете, текстуре и их визуальном взаимодействии.

На основе синтеза указанных подходов была разработана оригинальная 20-балльная экспертная шкала. Оценка проводилась по следующим сгруппированным критериям для каждой точки обзора:

Группа 1. Структурно-композиционное разнообразие (максимум 8 баллов):

– вертикальное расчленение (перепады высот, ярусность рельефа и растительности);

– горизонтальная расчленённость и мозаичность (чередование урочищ: пляж–клиф–равнина; суша–вода–тростниковые заросли);

– наличие и выразительность визуальных доминант (высокие клифы, мысы, острова) и акцентов (отдельные деревья, скальные останцы);

– степень открытости/закрытости панорамы (соотношение открытых водных пространств, неба и закрытых элементов – растительности, рельефа).

Группа 2. Колористическое и текстурное богатство (максимум 6 баллов):

– цветовое разнообразие и контраст (сезонные аспекты, сочетание цветов моря, неба, песка, растительности, обнажений горных пород);

– текстура и фактура поверхностей (визуальное восприятие гладкости воды, зернистости песка, хаотичности обвальных осыпей, густоты тростниковых зарослей).

Группа 3. Воспринимаемые качества и уникальность (максимум 6 баллов):

– сложность – визуальное насыщение элементами, требующее внимания при рассмотрении;

– читаемость – понятность структуры ландшафта, возможность легко в нём ориентироваться взглядом;

– таинственность – наличие скрытых, частично видимых элементов, пробуждающих интерес (извилистая протока в плавнях, бухта за мысом).

– уникальность/редкость пейзажа в региональном контексте (например, вид на активный оползневой клиф).

Степень гармонизации антропогенных объектов и природных комплексов в ландшафте оценивалась с позиций оценки воздействия антропогенных объектов на пейзажное разнообразие (сильное положительное, слабое положительное, нейтральное, слабое отрицательное, сильное отрицательное). Бонусные/штрафные баллы (корректировка до ±2 баллов) присваивались в случае:

– наличия визуального загрязнения (свалки, диссонирующая застройка) – штраф.

– высокой степени естественности и сохранности пейзажа, высокой степени гармонизации природных и антропогенных объектов – бонус.

Полевые работы включали фиксацию 490 точек пейзажного обзора, равномерно распределённых вдоль побережья и приуроченных к характерным элементам ландшафта. В каждой точке выполнялось: панорамное фотографирование с описанием условий обзора; экспертная оценка по разработанной шкале с заполнением стандартизированной формы; привязка точки к одному из 84 ранее выделенных ландшафтных участков. Итоговый балл пейзажного разнообразия рассчитывался как среднее арифметическое оценок всех точек обзора, попавших в его границы.

Для оценки категории пейзажного разнообразия побережья Азовского моря все ландшафтные участки в соответствии с набранными баллами пейзажного разнообразия были классифицированы по пяти категориям: I (очень низкая) – менее 5,0 баллов; II (низкая) – от 5,0 до 8,0 баллов включительно; III (средняя) – от 8,1 до 11,0 баллов; IV (высокая) – от 11,1 до 13,0 баллов; V (очень высокая) – более 13,0 баллов.

Результаты и их обсуждение

Общая характеристика пейзажного разнообразия побережья.

Средний интегральный показатель пейзажного разнообразия по всем 490 оцениваемым точкам составил 6,68 балла, что дает возможность охарактеризовать визуальную среду Азовского побережья в целом как умеренно разнообразную и обладающую низким эстетическим потенциалом. Это обусловлено преобладанием равнинных, слабо расчленённых ландшафтов. Важно подчеркнуть, что ключевой особенностью является мозаичность ландшафтного разнообразия, а также наличие локальных максимумов, формирующих высокий рекреационный каркас территории.

Ландшафты с максимальным пейзажным разнообразием получили высшие оценки от 13 до 20 баллов. Самые высокие баллы (20 баллов) были присвоены отдельным, точечным объектам, где достигнут идеальный баланс всех критериев, часто усиленный культурно-историческими объектами, такими как *Александровский парк (с. Строгановка), парк «Самбекские высоты», набережная Приморско-Ахтарска*. Здесь природное пейзажное разнообразие искусственно дополнено и акцентировано средствами ландшафтного дизайна, что создаёт эталонную визуальную среду.

Отличается высокой эстетической привлекательностью дельта реки Дон (15 баллов), что обусловлено горизонтальной расчленённостью (сеть проток, острова), динамичной цветовой гаммой (вода, зелень плавней, заросли деревьев, зеркальным отражением зелени в водной поверхности), текстурным контрастом (гладкая вода, густая растительность) и высоким показателем «таинственности» (лабиринтообразной структурой).

Высокие баллы пейзажного разнообразия (14–15 баллов) характерны также для Караларского участка (Генеральские пляжи) Керченского полуострова, полученные, главным образом, за счёт контраста широких песчаных пляжей и невысоких, но живописных абразионно-оползневых клифов, сложенных ракушечником, что создаёт уникальную текстуру и цвет. Характерна также высокая читаемость и сложность пейзажа.

Особым ландшафтным колоритом отличаются аккумулятивные косы (Камышеватская, Ейская, восточная часть Арабатской стрелки). Их пейзажное разнообразие оценено от 12 до 14 баллов**.** Главная особенность базируется на бифациальности, т.е. контрасте между открытым морским простором с широким пляжем (проспект) и закрытыми, заросшими тростником лиманными берегами (рефугиум), а также на вытянутой, изящной форме, вносящей в ландшафт четкую линию.

Отдельного внимания заслуживает парадокс абразионных клифовых участков, таких как Мержановский, Семибалковский, Приазовско-Каменный, которые, имея низкий рекреационный потенциал из-за опасных геоморфологических процессов (сильная абразия, оползни), но демонстрируют среднее и высокое пейзажное разнообразие (10–13,8 баллов). Их эстетическая ценность заключается в драматизме и динамике**.** **О**брывистые, осложнённые ступенями оползней склоны клифов создают мощную вертикальную доминанту, а хаотичные обвальные и осыпные шлейфы – сложную текстуру. Эти пейзажи обладают высокой степенью «сложности» и уникальности, делая их перспективными объектами для наблюдательного, фото- и экотуризма при условии обеспечения безопасности.

Анализ распределения балльных оценок пейзажного разнообразия по 84 ландшафтным участкам побережья Азовского моря.

Для каждого ландшафтного участка, как указано в методах исследования, рассчитывался итоговый балл пейзажного разнообразия (рис. 1), который варьировал от 3,5 (участок № 54, Порт-Катоновский) до 15,0 (участок 46, дельта Дона).

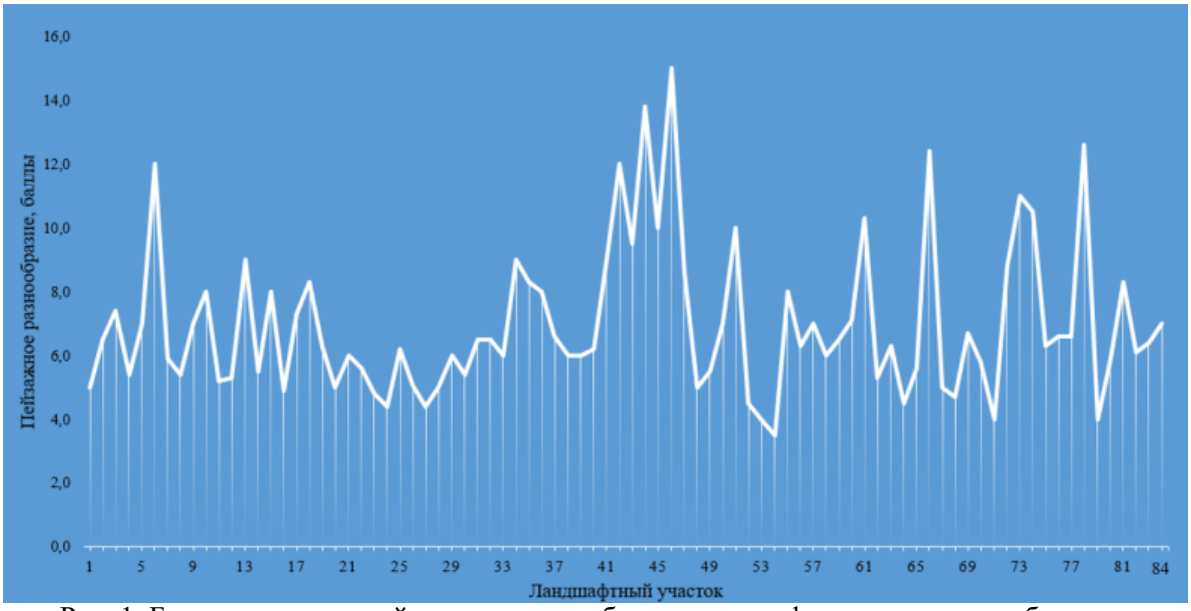


Рис. 1. Балльная оценка пейзажного разнообразия ландшафтных участков побережья Азовского моря (составлено авторами)
Fig. 1. Point-based assessment of landscape diversity in coastal landscape units of the Azov Sea (compiled by the authors)

Пейзажное разнообразие 84 ландшафтных участков типизировано по пяти категориям: очень низкая, низкая, средняя, высокая и очень высокая. Как видно из рис. 2, минимальные значения (I категория) характерны для 11 участков, что составляет 13 %.

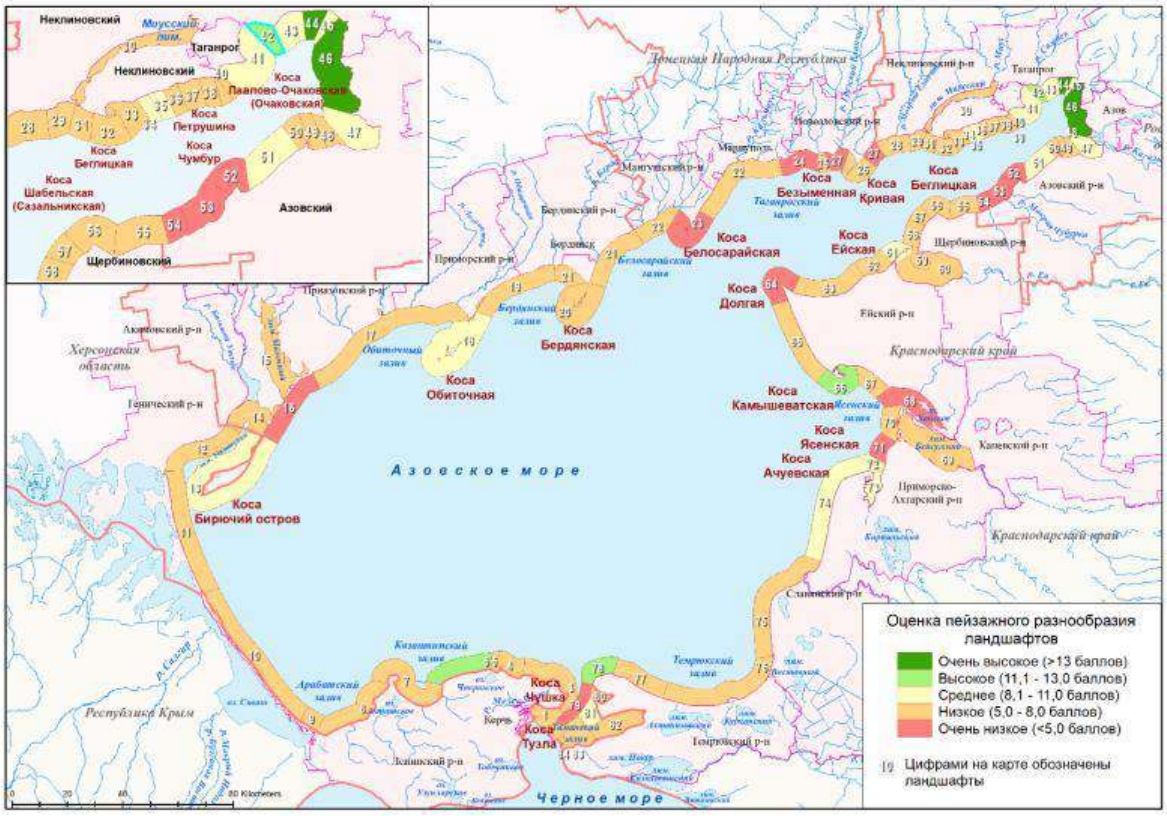


Рис. 2. Категории пейзажного разнообразия ландшафтных участков побережья Азовского моря, 2024 (составлено авторами)
Fig. 2. Categories of landscape diversity of the Azov Sea coastal landscape units, 2024 (compiled by the authors)

Преимущественно это антропогенизированные равнины, участки с узкими фрагментарными пляжами, низкими клифами, либо территории с сильным нарушением естественного облика (Порт-Катоновский – 3,5; Маргаритовский – 4,0; коса Чушка – 4,0; коса Долгая – 4,5 балла). Средние значения (II категория) свойственны для 53 участков (63 %). Эта категория представлена доминирующей группой и включает большинство аккумулятивно-эрозионных равнин, кос («наволоки»), лиманов с умеренным пейзажным разнообразием. Повышенные значения (III категория) присущи 14 участкам (17 %), включая уникальные косы (Ейская – 10,3; Ачуевская – 10,5), отдельные клифовые участки (Новолакедемоновский – 9,0; Таганрогский – 9,0), дельтовые комплексы (Лиман Ахтарский – 11,0). Высокими значениями (IV категория) отличаются 4 участка (5 %), лидируют - Приазовско-Каменный (12,6), коса Камышеватская (12,4), Караларский (12,0), Бессергеневско-Куричий (12,0). Очень высокое разнообразие (V категория) характерно для 2 участков (2 %), к ним относятся дельта Дона (15,0) и Мержановский (13,8).

Таким образом, пейзажное разнообразие Азовского побережья в целом может быть охарактеризовано как умеренное, но при этом существует ярко выраженная группа территорий – «ядер» с исключительно высокой эстетической ценностью.

Типология ландшафтных участков по происхождению и пейзажной ценности.

На основе анализа выделены три основные группы ландшафтов, определяющие пейзажный облик побережья.

К первой группе отнесены косы и пересыпи. Они представлены 23 участками (27 % от общего числа). Диапазон оценок пейзажного разнообразия составляет от 4,0 до 12,4 баллов: коса Камышеватская (12,4), коса Ейская (10,3), Арабатская стрелка (центральная часть – 8,0); минимумом – коса Чушка (4,0), коса Долгая (4,5), коса Бердянская (5,0). Особенности заключаются в том, что высокие баллы связаны с сохранностью естественных процессов заболачивания и подтопления, создающих мозаику растительности, а также наличием подводного основания косы, которое визуально расширяет горизонт. Характерно также гармоничное включение антропогенных объектов (набережные, маяки, усадьбы). В то же время низкие баллы присвоены косам, подвергшимся интенсивной абразии и утративших природный облик (коса Чушка – «очень сильно абрадируемые западные берега», техногенная трансформация).

Ко второй группе отнесены абразионные и оползневые клифовые берега представленные 32 участками (38 %). Диапазон оценок пейзажного разнообразия изменяется от 4,4 до 13,8 баллов. При этом максимальный балл имеют: Мержановский (13,8), Приазовско-Каменный (12,6), Караларский (12,0), Бессергеневско-Куричий (12,0); минимальный – Широковский (4,4), Новоазовский (4,4), Порт-Катоновский (3,5).

Принципиально важный вывод состоит в том, что высокая пейзажная оценка клифовых участков практически повсеместно сопровождается очень низкой степенью благоприятности для рекреации. Это объясняется опасностью оползневых и обвальных процессов, отсутствием удобных спусков к воде, узостью или отсутствием пляжей. Так, Мержановский участок (13,8 баллов) характеризуется «высокими абразионно-оползневыми клифами», а степень благоприятности для рекреационной деятельности оценена как «очень низкая». Аналогичная оценка присвоена Приазовско-Каменному (12,6 баллов) и Бессергеневско-Куричьему (12,0 баллов) участкам. Эти территории не пригодны для массового пляжного отдыха, но представляют наибольшую ценность для специализированных видов туризма (фотосафари, наблюдение за птицами, геологические экскурсии, экологические тропы).

Третью группу ландшафтов образуют дельтово-плавневые и лиманные комплексы, представленные 14 участками (17 %). Диапазон оценок варьирует от 5,5 до 15,0 баллов. В этом ряду выделяется дельта Дона (15,0 баллов). Её пейзажная уникальность обусловлена: сочетанием проток, островов, плавневых массивов; контрастом открытых водных пространств и тростниковых зарослей; присутствием историко-культурных объектов;

высокой степенью гармонизации антропогенной нагрузки. Примечательно, что при максимальной пейзажной оценке дельта Дона имеет высокую степень благоприятности для рекреационной деятельности, что выгодно отличает её от клифовых зон. Высокие оценки также получили Лиман Ахтарский (11,0 баллов), дельта Кубани (Ачуевско-Кучугурский – 6,3–6,6 баллов, Темрюкский – 6,6 баллов).

Парадокс «пейзажное разнообразие – рекреационный потенциал».

Сравнительный анализ двух параметров – интегральной пейзажной оценки и рекреационного потенциала территории – выявил обратную зависимость для абразионных берегов и прямую – для аккумулятивных форм рельефа (косы, дельты) (см. таблицу). Низкий балл косы Чушки (4,0) обусловлен техногенной трансформацией и сильной абразией, однако формально она сохраняет статус «высокого рекреационного потенциала» благодаря транспортной доступности и наличию инфраструктуры.

Соотношение пейзажной оценки и рекреационного потенциала (пример)
Relationship between landscape assessment and recreational potential (example)

Ландшафтный участок	Пейзажный балл	Рекреационный потенциал
Дельта Дона	15,0	Высокий
Коса Камышеватская	12,4	Высокий
Коса Ейская	10,3	Высокий
Мержановский	13,8	Очень низкий
Приазовско-Каменный	12,6	Очень низкий
Бессергеневско-Куричий	12,0	Очень низкий
Порт-Катоновский	3,5	Низкий
Коса Чушка	4,0	Высокий

Пространственное распределение пейзажного разнообразия.

На основе типизации 84 ландшафтных участков с их пейзажным разнообразием выделено 5 представленных ниже макрорайонов.

1. Керченско-Присивашский (участки 1–11). Характеризуются пейзажными баллами от 5,0 до 12,0. Свойственна контрастность от низких оценок на северо-востоке Керчи до максимума на Караларском участке, а также высокая концентрация уникальных грязевых вулканов, мшанковых рифов. Макрорайон перспективен для лечебно-оздоровительного и научного туризма.

2. Северное Приазовье (Утлюкский лиман – Бердянск), относятся участки 12–21. Пейзажный балл колеблется от 4,8 до 9,0. Преобладают косы «азовского» типа и лиманы. Наибольший интерес представляют коса Бирючий Остров (9,0) и Обиточная коса (8,3). Макрорайон имеет высокую рекреационную освоенность.

3. Северо-Восточное Приазовье (Белосарайская коса – Таганрогский залив), представлен участками 22–45. Пейзажный балл варьирует от 4,4 до 13,8. Здесь находится абсолютный рекордсмен среди клифов – Мержановский участок (13,8 баллов). Также выделяются Бессергеневско-Куричий (12,0 баллов) и Приморский (9,5 баллов) участки. Клифовые участки побережья имеют очень низкий рекреационный потенциал.

4. Дельта Дона и Придонье (участки 46–47). Анклав максимального пейзажного разнообразия (15,0–8,6 баллов) имеет уникальное сочетание речных, морских и антропогенных ландшафтов. Является безусловным приоритетом для развития экологического и круизного туризма.

5. Юго-Восточное и Южное Приазовье (косы Ейского полуострова, Приморско-Ахтарск, дельта Кубани, Тамань) (участки 48–84) имеют пейзажные баллы от 4,0 до 12,6. Ко второму «клифовому максимуму» можно отнести Приазовско-Каменный (12,6 баллов). К этому же микрорайону относятся косы: Ейская (10,3 балла), Камышеватская (12,4 балла),

Ачуевская (10,5 баллов). Дельта Кубани (11,0 баллов) является важным резервом для развития экотуризма. Замыкает район коса Тузла (7,0), ныне сильно антропогенизированная.

Рекомендации по использованию пейзажного потенциала.

На основе проведённого анализа предложены следующие направления для участков:

– с оценкой > 11 баллов и высоким рекреационным потенциалом (дельта Дона, косы Ейская, Камышеватская, Ачуевская) – развитие сети экологических троп, водных маршрутов, создание визит-центров с элементами ландшафтного дизайна, подчёркивающего природную эстетику;

– с оценкой < 11 баллов и очень низким рекреационным потенциалом (Мержановский, Приазовско-Каменный, Караларский, Бессергеневско-Куричий) – организация регулируемого фототуризма. Эти территории должны быть законсервированы в естественном состоянии, любое капитальное строительство исключено. Допустимы только настильные тропы и смотровые площадки;

– со средней оценкой (5–8 баллов) – повышение эстетической выразительности за счёт ландшафтного планирования: расчистка берегов от захламления, точечное озеленение, малые архитектурные формы;

с низкой оценкой (< 5 баллов) – необходима реабилитация пейзажей: ликвидация несанкционированных свалок, рекультивация нарушенных земель, в отдельных случаях – создание новых видовых точек (например, искусственное повышение рельефа).

Заключение

Систематизированы подходы и критерии психолого-эстетической оценки ландшафтов для целей туризма, включая экспертный, когнитивный, эмпирический и психофизический методы. Впервые представлены результаты сравнительной оценки пейзажного разнообразия Азовского побережья – от Керченского полуострова до косы Тузла. Предложен авторский подход, сочетающий элементы экспертно-описательного, психолого-перцептивного и формально-эстетического методов. Разработана и применена 20-балльная шкала, включающая критерии структурно-композиционной сложности, колористического богатства и воспринимаемых качеств ландшафта.

Детальный анализ 490 точек обзора и их анализ по 84 ландшафтным участкам Азовского побережья позволил впервые представить полную картину пространственного распределения пейзажного разнообразия от Керчи до Тамани:

– выявить 7 участков-лидеров (дельта Дона, Мержановский, Приазовско-Каменный, коса Камышеватская, Караларский, Бессергеневско-Куричий, коса Ейская), формирующих «эстетический каркас» побережья;

– установить принципиальное расхождение между пейзажным разнообразием и рекреационным потенциалом для абразионных берегов;

– обосновать необходимость дифференцированного подхода к туристскому освоению: массовый пляжный отдых – на косах и в дельтах; элитарный экологический и фототуризм – на клифовых участках.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегий развития туризма в административных единицах побережья Азовского моря, а также в схемах территориального планирования прибрежных муниципалитетов.

Список источников

Геттнер А., Торнеус Е.А., Баранский Н.Н. 2006. Эстетическая ценность ландшафта. Электронный ресурс.URL: https://geo.1sept.ru/article.php?ID=200600612 (дата обращения 04.03.2026).

Гродзинський М.Д., Савицька О.В. 2005. Естетика ландшафту. Київ, Київський університет, 270 с.

Николаев В.А. 2005. Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн. М., Аспект Пресс, 176 с.

Список литературы

Агбунов М.В. 1992. Античная география Северного Причерноморья. М., Наука, 239 с.

Андреева В.Л. 2021. Изучение разнообразия критериев эстетической оценки ландшафтов. Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2(246): 170–178. https://doi.org/10.52065/2519-402X-2021-246-21-170-178

Андреева Е.Д. 2000. Звуковой ландшафт как реальный объект и исследовательская проблема. Экология культуры: 76–85.

Белов А.В., Лямкин В.Ф., Соколова Л.П. 2001. Картографирование эстетических особенностей природных комплексов Западного Прибайкалья. География и природные ресурсы, 3: 29–33.

Бредихин А.В. 2005. Эстетическая оценка рельефа при рекреационно-геоморфологических исследованиях. Вестник Московского Университета. Серия 5. География, 3: 7–13.

Веденин Ю.А., Филиппович Л.С. 1975. Опыт выявления и картирования пейзажного разнообразия природных комплексов. В кн.: Географические проблемы организации туризма и отдыха. Вып. 2. М., Турист: 39–48.

Вдовюк Л.Н., Мотошина А.А. 2013. Методические приемы оценки эстетических свойств ландшафтов Тюменской области. Вестник Тюменского государственного университета. Экология и Природопользование, 4: 58–66.

Горбунов Р.В., Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю. 2020. Нерешенные теоретические и методологические вопросы при эстетической оценке ландшафтов. Географический вестник, 3(54): 6–22. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-6-22

Дирин Д.А., Попов Е.С. 2010. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор. Известия Алтайского государственного университета, 3–2(67): 120–124.

Кириллова А.В. 2012. Рельеф как фактор эстетической привлекательности ландшафта. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2: 104–108.

Княжик О.И., Билан Д.А. 2023. Структура рекреационного потенциала Восточного Приазовья. Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, 2(160): 62–67.

Корф Е.Д. 2014. Критерии оценки туристической аттрактивности геологических объектов горной местности. Евразийский союз ученых, 7–7(7): 149–151.

Кочуров Б.И., Бучацкая Н.В. 2007. Оценка эстетического потенциала ландшафтов. Юг России: экология, развитие, 2(4): 25–33.

Кучинов П.А. 2017. Критерии оценки территориальной туристско-рекреационной экспертизы. Современная наука и инновации, 1(17): 12–19.

Ливинская О.А. 2013. Оценка аттрактивности культурно-исторического наследия как компонента культурных ландшафтов Псковской области. Псковский регионологический журнал, 16: 127–132.

Лозбенева Э.А. 2022. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 30(2): 116–126. https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126

Назаров Н.Н., Постников Д.А. 2002. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов Пермской области для целей туризма и рекреации. Известия Русского географического общества, 134(4): 61–67.

Носуленко В.Н. 2008. Психофизика восприятия естественной среды: смена парадигм экспериментального исследования. Эпистемология и философия науки, 7(1): 89–92.

Оборин М.С. 2011. Эстетическая и психологическая оценка ландшафтных комплексов для развития лечебной рекреации и туризма. Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности, 2: 89–93.

Петрова Е.Г., Миронов Ю.В. 2013. Эмоционально-зрительное восприятие природных ландшафтов в России и Японии: сравнительный анализ. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 1: 130–140. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-130-140

Фролова М.Ю. 1994. Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2: 12–19.

Aoki Y., Kitamura S. 2001. An Ontogenic and Phylogenic Evolution of Landscape Appreciation Observed in the Landscape Drawn. Proceeding of the 38th IFLA World congress. Singapore: 114–122.

Appleton J. 1975. The experience of landscape. New York, Wiley, 293 p.

Baczynska E., Lorenc M.W., Kazmierczak U. 2017. Procedure for Evaluation of the Attractiveness of the Guarries' Landscape. Acta Geoturistica, 8(1): 1–10. https://doi.org/10.1515/agta-2017-0001.

Erdenejargal N., Dorjsuren B., Choijinjav L., Doljin D., Enkhbold A., … Girma A. 2021. Evaluation of the Natural Landscape Aestehetic: a Case ov Uvs Province, Mongolia. Polish Journal of Environmental Studies, 30(5): 4497–4509. https://doi.org/10.15244/pjoes/132788

Frank S., Furstb C., Koschkea L., Witta A., Makeschin F., 2013. Assessment of Landscape Aesthetics – Validation of Landscape Metrics-Based Assessment by Visual Estimation of the Scenic Beauty. Ecological indicators, 32: 222–231. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.026.

Kalterborn B.P., Bjerke T. 2002. Associations Between Environmental Value Orientations and Landscape Preferences. Landscape and Urban Planning, 59(1): 1–11. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00243-2.

Kaplan R., Kaplan S. 1989. The Experience of Nature. A psychological perspective. Cambridge, New York, Cambridge University Press, 340 p.

Serrano Gine D., Perez Albert M.Y., Palacio Buendia A.V. 2021. Aesthetic Assessment of the Landscape Using Psychophysical and Psychological Models: Comparative Analysis in a Protected Area. Landscape and urban planning, 214: 104192. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104197

Zube E.X., Sell J.L., Taylor J.G. 1982. Landscape Perception: Research, Application and Theory. Landscape planning, 9(1): 1–33. https://doi.org/10.1016/0304-3924(82)90009-0

References

Agbunov M.V. 1992. Antichnaya geografiya Severnogo Prichernomor'ya [Ancient Geography of the Northern Black Sea Region]. Moscow, Pabl. Nauka, 239 p.

Andreeva V.L. 2021. Studying a Variety of Criteria for Aesthetic Evaluation of Landscapes. Proceedings of BSTU. Issue 1. Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2(246): 170–178 (in Russian). https://doi.org/10.52065/2519-402X-2021-246-21-170-178

Andreeva E.D. 2000. Zvukovoj landshaft kak real'nyj ob''ekt i issledovatel'skaya problema [Soundscape as a Real Object and Research Problem]. Ekologiya kul'tury: 76–85.

Belov A.V., Lyamkin V.F., Sokolova L.P. 2001. Kartografirovanie esteticheskih osobennostej prirodnyh kompleksov Zapadnogo Pribajkal'ya [Mapping the Aesthetic Features of Natural Complexes in the Western Baikal Region]. Geografiya i prirodnyye resursy, 3: 29–33.

Bredikhin A.V. 2005. Aesthetical Evaluation of Relief in Recreational-Geomorphologic Investigation. Lomonosov Geography Journal, 3: 7–13 (in Russian).

Vedenin Yu.A., Filippovich L.S. 1975. Opyt vyyavleniya i kartirovaniya pejzazhnogo raznoobraziya prirodnyh kompleksov [An Experience of Identifying and Mapping Landscape Diversity in Natural Complexes]. In: Geograficheskie problemy organizacii turizma i otdyha [Geographical Problems of Tourism and Recreation Organization]. Is. 2. Moscow, Pabl. Turist: 39–48.

Vdovyuk L.N., Motoshina A.A. 2013. Systematic Techniques of Aesthetic Featuresevaluation of the Tyumen Region Landscape. Tyumen State University Herald, 4: 43–49 (in Russian).

Gorbunov R.V., Tabunshchik V.A., Gorbunova T.Yu. 2020. Unsolved Theoretical and Methodological Issues in Aesthetic Assessment of Landscapes. Geographical Bulletin, 3(54): 6–22 (in Russian). https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-6-22

Dirin D.A., Popov E.S. 2010. Evaluation of Landscape and Aesthetic Appeal of Landscapes: a Methodological Review. Izvestiya of Altai State University, 3–2(67): 120–124 (in Russian).

Kirillova A.V. 2012. Relief as a Factor for Measuring of the Landscape Aesthetics. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 2: 104–108 (in Russian).

Knyajhik O.I., Bilan D.A. 2023. Structure of the Recreation Potential of the Eastern Priazovia. Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2(160): 62–67 (in Russian).

Korf E.D. 2014. Kriterii otsenki turisticheskoy attraktivnosti geologicheskikh obyektov gornoy mestnosti [Criteria for Assessing the Tourist Attractiveness of Geological Objects in Mountainous Areas].Evraziyskiy soyuz uchenykh, 7–7(7): 149–151.

Kochurov B.I., Buchatskaya N.V. 2007. Estimation of Aesthetic Potential of Landscapes. South of Russia: ecology, development, 2(4): 25–33 (in Russian).

Kuchinov P.A. 2017. The Evaluation Criteria of Tourism and Recreation Territory Expertise. Modern Science and Innovations, 1(17): 12–19 (in Russian).

Livinskaya O.A. 2013. Evaluation of Attractiveness of Cultural-Historical Heritage as a Component of Cultural Landscapes of Pskov Region. Pskov Journal of Regional Studies, 16: 127–132 (in Russian).

Lozbeneva E.A. 2022. Methodological Approaches to Assessment of Aesthetic Properties of Landscapes. RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 30(2): 116–126 (in Russian). https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126

Nazarov N.N., Postnikov D.A. 2002. Otsenka peyzazhno-esteticheskoy privlekatelnosti landshaftov Permskoy oblasti dlya tseley turizma i rekreatsii [Evaluation of the Landscape Aesthetic Appeal of the Perm Region for Tourism and Recreation Purposes]. Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva, 134(4): 61–67 (in Russian).

Nosulenko V.N. 2008. Psikhofizika vospriyatiya estestvennoy sredy: smena paradigm eksperimentalnogo issledovaniya [Psychophysics of Perception of the Natural Environment: Shifting Paradigms of Experimental Research].Epistemologiya i filosofiya nauki, 7(1): 89–92 (in Russian).

Oborin M.S. 2011. The Esthetic and Psychological Mark of Landscape Complexes for the Development of Health Recreation and Tourism. RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 2: 89–93 (in Russian).

Petrova E.G., Mironov Yu.V. 2013. Emotional and Visual Perception of Natural Landscapes in Russia and Japan: a Comparative Analysis. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 1: 130–140 (in Russian). https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-130-140

Frolova M.Yu. 1994. Ocenka esteticheskih dostoinstv prirodnyh landshaftov [Evaluation of the Aesthetic Merits of Natural Landscapes]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 2: 12–19.

Aoki Y., Kitamura S. 2001. An Ontogenic and Phylogenic Evolution of Landscape Appreciation Observed in the Landscape Drawn. Proceeding of the 38th IFLA World congress. Singapore: 114–122.

Appleton J. 1975. The experience of landscape. New York, Wiley, 293 p.

Baczynska E., Lorenc M.W., Kazmierczak U. 2017. Procedure for Evaluation of the Attractiveness of the Guarries' Landscape. Acta Geoturistica, 8(1): 1–10. https://doi.org/10.1515/agta-2017-0001.

Erdenejargal N., Dorjsuren B., Choijinjav L., Doljin D., Enkhbold A., … Girma A. 2021. Evaluation of the Natural Landscape Aestehetic: a Case ov Uvs Province, Mongolia. Polish Journal of Environmental Studies, 30(5): 4497–4509. https://doi.org/10.15244/pjoes/132788

Frank S., Furstb C., Koschkea L., Witta A., Makeschin F., 2013. Assessment of Landscape Aesthetics – Validation of Landscape Metrics-Based Assessment by Visual Estimation of the Scenic Beauty. Ecological indicators, 32: 222–231. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.026.

Kalterborn B.P., Bjerke T. 2002. Associations Between Environmental Value Orientations and Landscape Preferences. Landscape and Urban Planning, 59(1): 1–11. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00243-2.

Kaplan R., Kaplan S. 1989. The Experience of Nature. A psychological perspective. Cambridge, New York, Cambridge University Press, 340 p.

Serrano Gine D., Perez Albert M.Y., Palacio Buendia A.V. 2021. Aesthetic Assessment of the Landscape Using Psychophysical and Psychological Models: Comparative Analysis in a Protected Area. Landscape and urban planning, 214: 104192. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104197

Zube E.X., Sell J.L., Taylor J.G. 1982. Landscape Perception: Research, Application and Theory. Landscape planning, 9(1): 1–33. https://doi.org/10.1016/0304-3924(82)90009-0

Поступила в редакцию 17.04.2026;
поступила после рецензирования 26.05.2026;
принята к публикации 08.06.2026

Received April 17, 2026;
Revised May 26, 2026;
Accepted June 08, 2026

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

Позаченюк Екатерина Анатольевна, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и геоморфологии, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Яковенко Ирина Михайловна, доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой туризма, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Pozachenyuk, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography and Geomorphology, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Irina M. Yakovenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Методология исследования геосистем
Methodology of Geosystems Research

УДК 556.555
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-339-351
EDN LIGVJX

Многолетний мониторинг изменений озера Абрау с использованием данных дистанционного зондирования Земли

[1]Коробейников А.В., [1,2]Кузякина М.В., [1]Пелина А.Н.
[1]Кубанский государственный университет
Россия, 350040, ул. Ставропольская, 149
[2]Кубанский государственный технологический университет
Россия, 350072, Краснодар, ул. Московская, 2
deskrux@gmail.com, pelina_a@mail.ru, marinavkuzyakina@mail

Аннотация. Проведен комплексный ретроспективный анализ многолетней динамики состояния уникального пресноводного водоема – озера Абрау, по данным дистанционного зондирования Земли (*Landsat 5/8*) за продолжительный период с 1985 по 2021 гг. С использованием комплекса спектральных индексов и методов геоинформационного моделирования выполнена оценка изменений пространственно-временных паттернов, связанных с ключевыми лимнологическими характеристиками водоема. В результате исследований установлена высокая стабильность площади водного зеркала (диапазон колебаний 1,60–1,67 км²) и выявлена статистически значимая связь ее колебаний с работой переливного гидротехнического сооружения. Детальный анализ индекса *NDTI*, используемого в качестве надежного показателя относительной мутности, позволил выявить устойчивую пространственную зону повышенных значений в районе впадения реки Абрау, что убедительно свидетельствует о постоянном поступлении взвешенных наносов и процессе заиления озера. Фиксируются также локальные аномалии *NDTI*, однозначно ассоциированные с работой фонтанной установки. По данным тепловых каналов зафиксирован выраженный тренд к увеличению сезонной амплитуды температуры поверхности воды (*LST*), преимущественно обусловленный ростом летних температур, что может быть связано с уменьшением глубины водоема. Пространственно-временное распределение индекса *NDVI,* рассматриваемого в качестве косвенного индикатора наличия активной биомассы, демонстрирует непостоянный, эпизодический характер, что указывает на отсутствие устойчивых процессов заболачивания и эвтрофикации. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность методов дистанционного зондирования для выявления долгосрочных тенденций и служат научным обоснованием планирования целевых природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: озеро Абрау, дистанционное зондирование Земли, спектральные индексы, мониторинг окружающей среды, *MNDWI, NDTI*, температура поверхности (*LST*), *NDVI*

Для цитирования: Коробейников А.В., Кузякина М.В., Пелина А.Н. 2026. Многолетний мониторинг изменений озера Абрау с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Региональные геосистемы, 50 (2): 339–351. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-339-351 EDN: LIGVJX

© Коробейников А.В., Кузякина М.В., Пелина А.Н., 2026

Long-Term Monitoring of Changes in Lake Abrau Using Earth Remote Sensing Data

[1]Alexander V. Korobeynikov, [1,2]Marina V. Kuzyakina, [1]Alina N. Pelina
[1]Kuban State University
149 Stavropolskaya St., Krasnodar 350040, Russia
[2]Kuban State Technological University
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia
deskrux@gmail.com, pelina_a@mail.ru, marinavkuzyakina@mail

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive retrospective analysis into long-term dynamics of the state of a unique freshwater reservoir, Lake Abrau, according to remote sensing data (Landsat 5/8) from 1985 to 2021. Using a complex of spectral indices and geoinformation modeling methods, the authors assessed the changes in spatiotemporal patterns related to key limnological characteristics of the reservoir. As a result of the research, a high stability of the water mirror area was established (the range of fluctuations is 1.60–1.67 km²), and a statistically significant relationship between its fluctuations and the operation of an overflow hydraulic structure was revealed. A detailed analysis of the NDTI index, used as a reliable indicator of relative turbidity, revealed a stable spatial zone of elevated values in the area of the Abrau River confluence, which strongly indicates the constant influx of suspended sediments and the process of lake siltation. Local NDTI anomalies were also recorded, which are unambiguously associated with the operation of the fountain installation. According to the data of the thermal channels, there is a pronounced trend towards an increase in the seasonal amplitude of water surface temperature (LST), mainly due to an increase in summer temperatures, which may be explained by a decrease in the depth of the reservoir. The spatial and temporal distribution of the NDVI index, considered as an indirect indicator of the presence of active biomass, demonstrates an intermittent, episodic nature, which indicates the absence of stable processes of waterlogging and eutrophication. The results obtained confirm a high efficiency of remote sensing methods for identifying long-term trends and serve as a scientific basis for planning targeted environmental protection measures.

Keywords: Abrau Lake, remote sensing of the Earth, monitoring, water indices, surface temperature, turbidity of water, phytomass, siltation

For citation: Korobeynikov A.V., Kuzyakina M.V., Pelina A.N. 2026. Long-Term Monitoring of Changes in Lake Abrau Using Earth Remote Sensing Data. Regional Geosystems, 50 (2): 339–351 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-339-351 EDN: LIGVJX

Введение

Озеро Абрау, являясь крупнейшим пресноводным водоемом Северо-Западного Кавказа, обладает значительной рекреационной, экологической и экономической ценностью для всего региона. В этой связи сохранение устойчивости его экосистемы в условиях возрастающей антропогенной нагрузки [Кропянко, Беспалова, 2013] представляет собой актуальную научно-практическую задачу, решение которой требует поиска и внедрения эффективных инструментов мониторинга состояния подобных уязвимых водных объектов.

Современный уровень развития технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляет уникальные возможности для ретроспективного, оперативного и комплексного анализа водных объектов [Palmer et al., 2015; Pekel et al., 2016]. Однако корректная интерпретация первичных спектральных данных требует тщательного учета методологических ограничений применяемых подходов. Важно понимать, что спектральные индексы (*MNDWI, NDTI, NDVI*) по своей природе являются безразмерными величинами и отражают не абсолютные значения физических параметров (площадь, мутность, фитомасса), а относительные характеристики, связанные со спектральной

отражательной способностью поверхности в выбранных каналах [Xu, 2006]. Следовательно, их применение в каждом конкретном случае требует тщательного обоснования, понимания области адекватного применения [Topp et al., 2020]. Несмотря на широкую разработанность общих методов исследования озерных экосистем[1], для озера Абрау комплексные исследования, основанные на использовании длительных однородных временных рядов данных ДЗЗ, до настоящего времени остаются фрагментарными и практически отсутствуют [Звянец и др., 2016], что определяет научную новизну настоящего исследования.

Цель исследования заключается в оценке многолетней динамики пространственно-временного распределения комплекса ключевых параметров, характеризующих современное состояние озера Абрау, на основе анализа спектральных индексов и температуры поверхности по данным спутниковой съемки серии спутниковых миссий по наблюдению за поверхностью Земли *Landsat*.

Для достижения поставленной цели были поставлены и последовательно решены следующие задачи:

– оценить многолетнюю динамику площади водной поверхности с использованием индекса *MNDWI* и установить ее связь с работой гидротехнических сооружений;

– проанализировать пространственно-временные изменения относительной мутности воды на основе расчетов индекса *NDTI* и выявить основные источники поступления взвешенных веществ;

– исследовать многолетнюю динамику и пространственную неоднородность температуры поверхности воды (*LST*) и определить основные факторы, влияющие на ее режим;

– оценить изменения пространственно-временного распределения индекса *NDVI* как косвенного индикатора развития активной биомассы в акватории озера.

Объекты и методы исследования

Объектом настоящего исследования выступило озеро Абрау – крупнейший пресноводный водоем Краснодарского края, характеризующийся сложным гидрологическим режимом и значительной антропогенной нагрузкой. Для достижения целей исследования был сформирован репрезентативный массив исходных данных, включивший в себя космические снимки *Landsat 5 TM* (за период 1985–2011 гг.) и Landsat *8 OLI/TIRS* (за период 2013–2021 гг.). Снимки были тщательно отобраны за характерные летние (июль) и зимние (январь-февраль) сезоны с интервалом в 4–6 лет при условии полного отсутствия облачности над акваторией изучаемого озера [Калимулина, 2019; Yang et al., 2022].

Методика обработки данных ДЗЗ включает последовательное выполнение следующих этапов.

Этап 1 – определение площади водной поверхности. Для точной сегментации акватории и надежного отделения водной поверхности от сопредельных территорий суши был применен модифицированный нормализованный разностный водный индекс (*MNDWI*). Выбор данного индекса обусловлен его доказанной эффективностью в подавлении спектральных шумов, связанных с почвенной и растительной подстилающей поверхностью, а также с застроенными территориями [Xu, 2006]. После расчета индекса для каждой выделенной сцены проводилась процедура бинаризации с последующей ручной корректировкой полученной маски водных объектов для удаления возможных артефактов и неточностей, с дальнейшим подсчетом количества водных пикселей и

[1] Бухарицин П.И. 2012. ГИС и мониторинг водных объектов. Астрахань, Изд-во АГТУ, 323 с.

пересчетом в площадь в соответствии с апробированной в ряде исследований методикой [Лямина и др., 2010; Bai et al., 2023].

Этап 2 – анализ показателя относительной мутности воды. Для выявления и картирования зон с повышенным содержанием взвешенных веществ в акватории озера Абрау был использован индекс *NDTI* (*Normalized Difference Turbidity Index*). Данный индекс демонстрирует высокую чувствительность к изменениям в спектральных каналах, традиционно связанных с проявлением мутности воды [Lacaux et al., 2007]. Необходимо особо подчеркнуть, что *NDTI* является таким относительным показателем, который позволяет проводить корректное сравнение уровня мутности между различными участками акватории и отслеживать его изменения во времени, но не предназначен для прямой количественной оценки мутности в стандартных физических единицах (например, в *NTU*). Для минимизации влияния краевых эффектов, связанных с зоной смешения «вода-суша», анализ проводился в пределах акватории, отстоящей от уточненной береговой линии на 25 м.

Этап 3 – расчет температуры поверхности воды (*LST*). Температура поверхности воды рассчитывалась на основе данных тепловых инфракрасных каналов соответствующих спутниковых сенсоров. Яркостная температура, рассчитанная по исходным цифровым значениям, впоследствии преобразовывалась в значения *LST* с использованием стандартных алгоритмов, учитывающих поправки на излучательную способность поверхности и влияние атмосферы. В дальнейшем анализировалось как пространственное распределение *LST* по акватории, так и ее многолетняя временная динамика.

Этап 4 – анализ индекса *NDVI*. Нормализованный разностный вегетационный индекс (*NDVI*) широко и успешно применяется в мировой практике для качественной оценки состояния растительного покрова, включая задачи выявления зон развития фитопланктона и макрофитов в водной среде [Sòria-Perpinyà et al., 2020; Евдокимов, Штефуряк, 2024]. Следует особо подчеркнуть, что *NDVI* является именно косвенным индикатором, коррелирующим с общим количеством и активностью фотосинтетически активной биомассы, но ни в коей мере не ее прямым измерением. В контексте данного исследования он использовался преимущественно для выявления пространственных неоднородностей и анализа их временной динамики, что позволяет судить о сезонных и многолетних процессах в экосистеме озера.

Результаты и их обсуждение

Динамика площади водного зеркала (на основе индекса MNDWI).

Проведенные расчеты показали, что площадь озера Абрау оставалась стабильной на протяжении всего исследуемого периода с 1985 по 2021 гг. (табл. 1), демонстрируя лишь незначительные сезонные и межгодовые колебания.

Таблица 1
Table 1

Площадь озера Абрау, км²
Area of Lake Abrau, km²

Год	1985–1986	1990–1991	1996	2001	2005–2007	2010–2011	2015–2016	2020–2021
Июль	1,641	1,674	1,671	1,643	1,613	1,647	1,641	1,632
Январь-февраль	1,623	1,600	1,643	1,615	1,642	1,662	1,641	1,634

Важным результатом является обнаруженная статистически значимая связь между расчетной площадью водного зеркала, полученной по данным *MNDWI* (~1,642 км² и более), и фактом появления воды в переливном водоеме, расположенном ниже основной плотины (рис. 1, табл. 2). Данное наблюдение служит дополнительным косвенным подтверждением адекватности применяемого метода *MNDWI* для оперативного отслеживания изменений уровня воды в озере и корректности полученных количественных оценок, что согласуется с выводами, полученными для других водоемов [Повалишникова и др., 2013].

Таблица 2
Table 2

Наличие переливного водоема за озером в разные годы
Presence of an overflow reservoir behind the lake in different years

Год	1985–1986	1990–1991	1996	2001	2005–2007	2010–2011	2015–2016	2020–2021
Июль	–	+	+	+	–	+	–	–
Январь-февраль	–	–	+	–	+	+	–	–

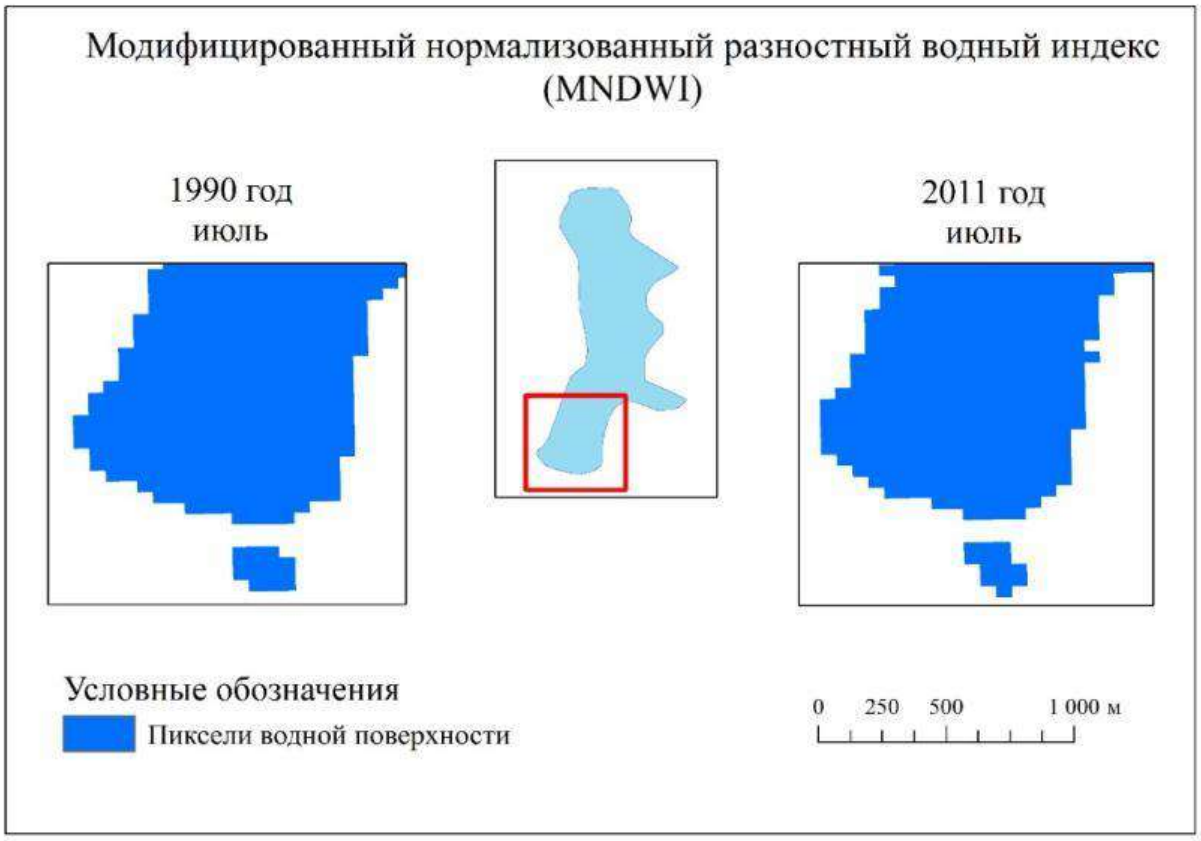


Рис. 1. Вода за переливной плотиной озера Абрау, индекс *MNDWI*
Fig. 1. Water behind the overflow dam of Lake Abrau, MNDWI index

Пространственно-временной анализ относительной мутности воды (индекс NDTI).

Необходимо отметить, что данный индекс является именно относительным показателем и не предназначен для прямой количественной оценки мутности в стандартных физических единицах без построения калибровочных зависимостей [Тихомиров, Бочаров, 2016; Прокопьева, 2023]. В результате детального анализа распределения значений индекса *NDTI* по акватории озера была выявлена устойчивая, выраженная зона повышенных значений, четко наблюдающаяся в северной части озера в непосредственной близости от места впадения реки Абрау (рис. 2). Полученные данные хорошо подтверждают факт активного поступления взвешенных наносов именно с речным стоком, что является одним из ключевых факторов, ведущих к прогрессирующему заилению чаши водоема [Ефремов и др., 2012].

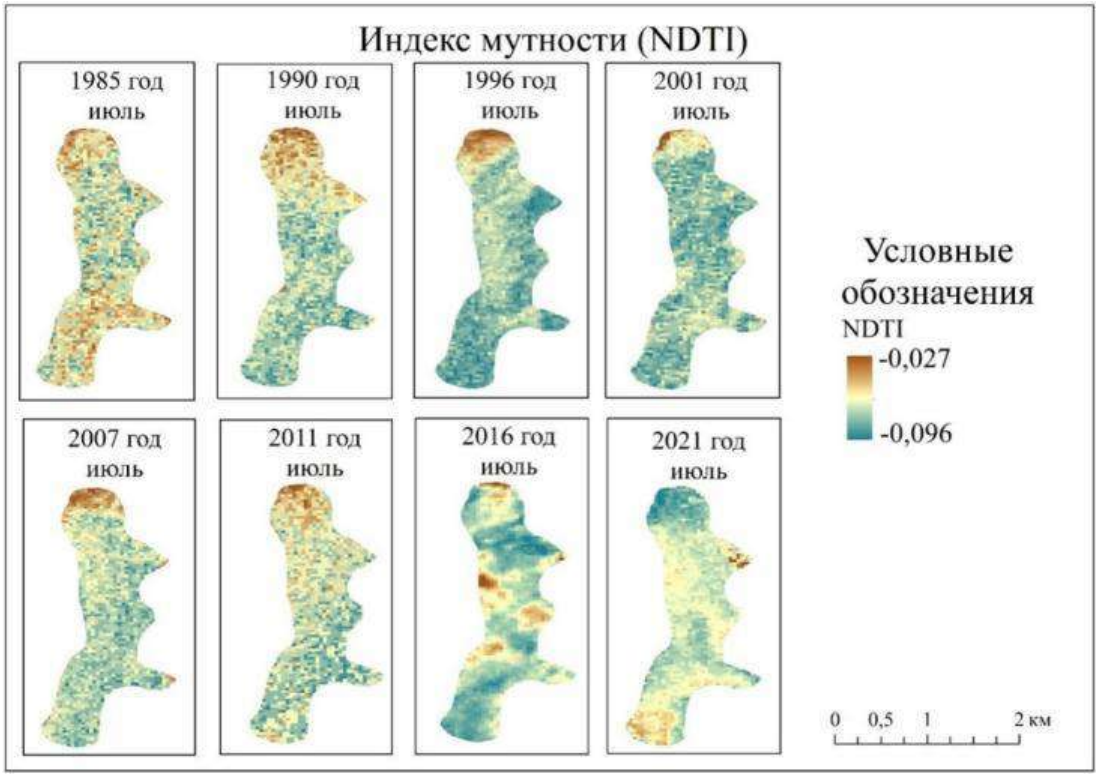


Рис. 2. Картосхемы значений индекса *NDTI* в озере для летних снимков
Fig. 2. Maps of *NDTI* index values in the lake for summer images

Помимо этого, на снимках за июль 2016 и 2021 гг. фиксируется локальное повышение значений *NDTI* в северо-восточной части озера, которое однозначно ассоциируется с работой установленного там декоративного фонтана, создающего дополнительное перемешивание водной толщи (рис. 3), аналогичная чувствительность спутниковых данных к резким изменениям антропогенного воздействия на водные объекты демонстрируется и в других исследованиях [Mishra et al., 2020]. Сравнение усредненных значений индекса *NDTI* по всей акватории за разные сезоны показало, что в последнее десятилетие летние показатели, определяющие «мутность», в среднем стали статистически значимо выше зимних, это может быть косвенным свидетельством роста рекреационной и иной антропогенной нагрузки в теплый период года, что также отмечается в исследованиях для других территорий [Илюшина, Сизов, 2023]. Однако для дальнейшего уточнения необходимо провести процедуру верификации результатов расчетов с помощью натурных измерений для установления точных количественных зависимостей [Востокова и др., 1982].

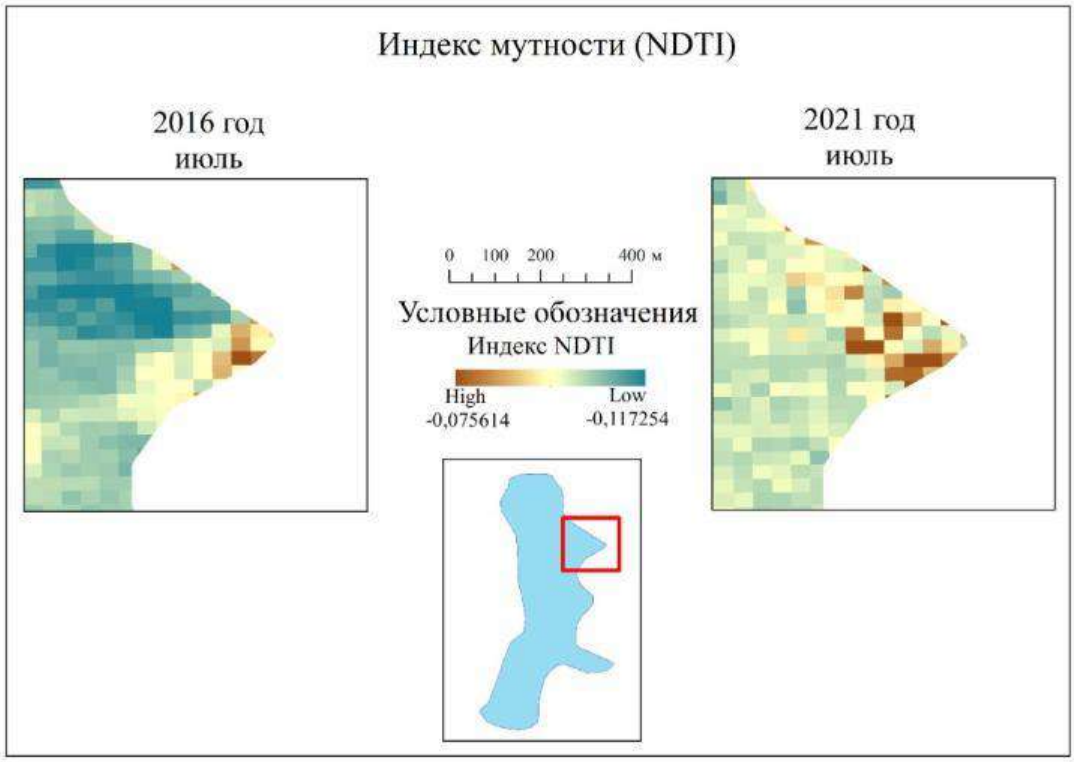


Рис. 3. Локальное повышение значений индекса *NDTI* из-за работы фонтана на озере Абрау
Fig. 3. Local increase in *NDTI* index values due to the operation of a fountain on Lake Abrau

Динамика температуры поверхности воды (LST).

В летний период максимальные значения температуры закономерно наблюдаются в прибрежных, хорошо прогреваемых и мелководных зонах (рис. 4). В январе температура у берегов и окружающей территории ниже средней по озеру, а в феврале озеро уже холоднее суши (рис. 5).

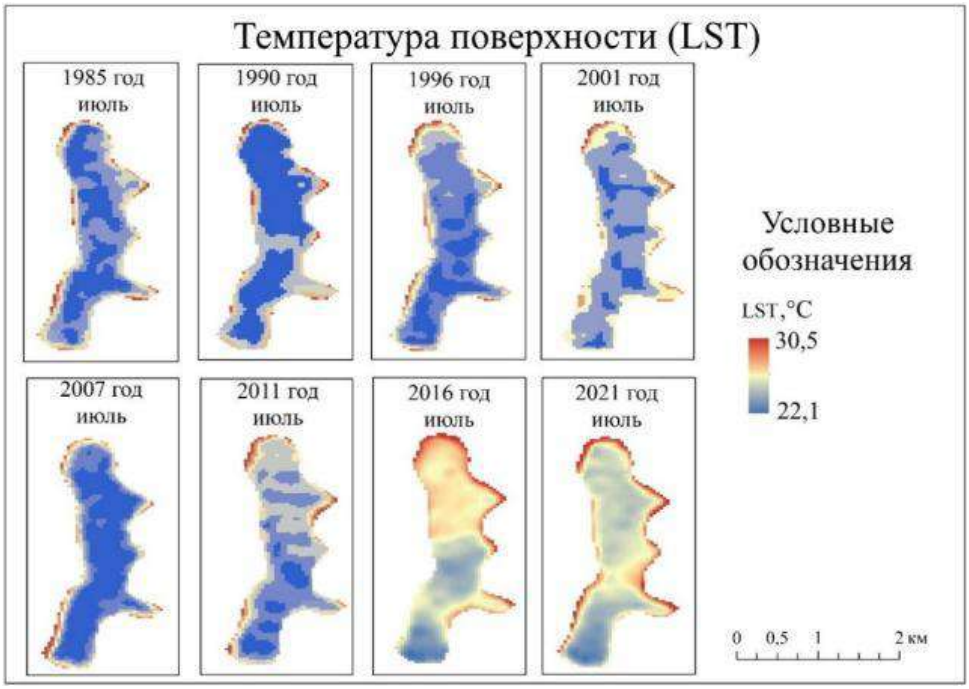


Рис. 4. Картосхемы распределения температуры воды (*LST*) в озере летом
Fig. 4. Water temperature distribution (*LST*) charts in the lake in summer

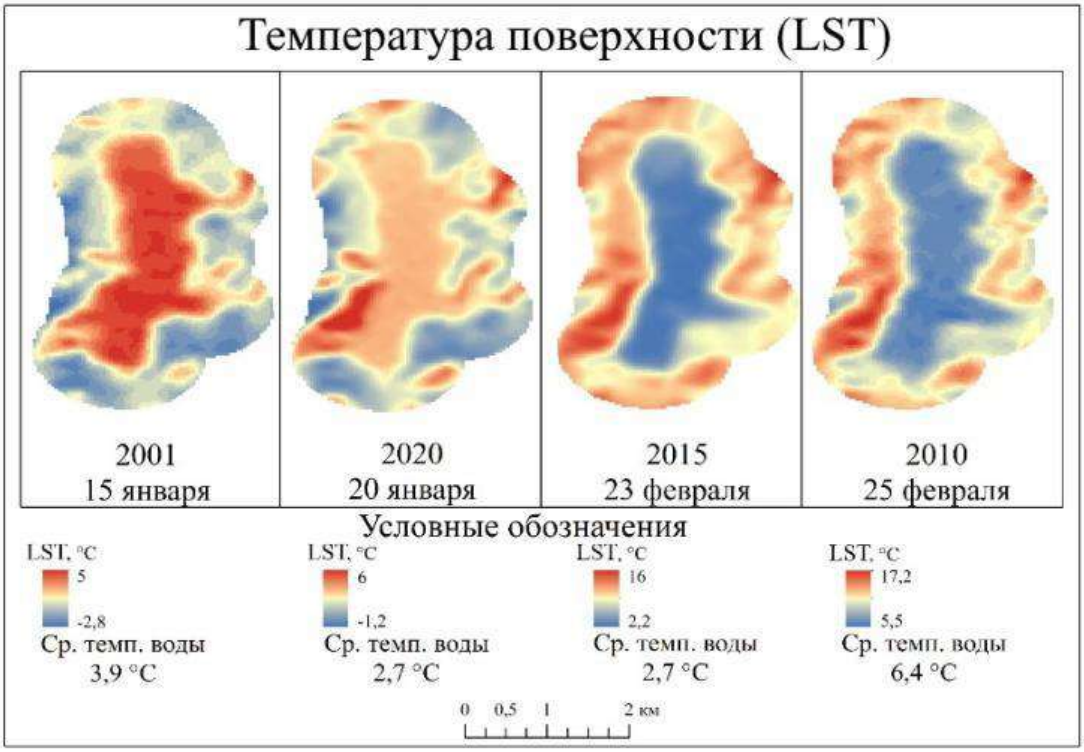


Рис. 5. Картосхемы температур (*LST*) озера и прилежащей территории зимой
Fig. 5. Temperature charts (*LST*) of the lake and the surrounding area in winter

Значимым результатом является выявленный тренд к увеличению сезонной амплитуды средних значений индекса *LST* между зимним и летним периодами (рис. 6). Важно, что этот рост преимущественно обусловлен именно повышением летних температур, что согласуется с выдвигаемой гипотезой о снижении общей тепловой инерции озера вследствие уменьшения его средней глубины из-за интенсивного заиления [Winslow et al., 2015; Woolway et al., 2020].

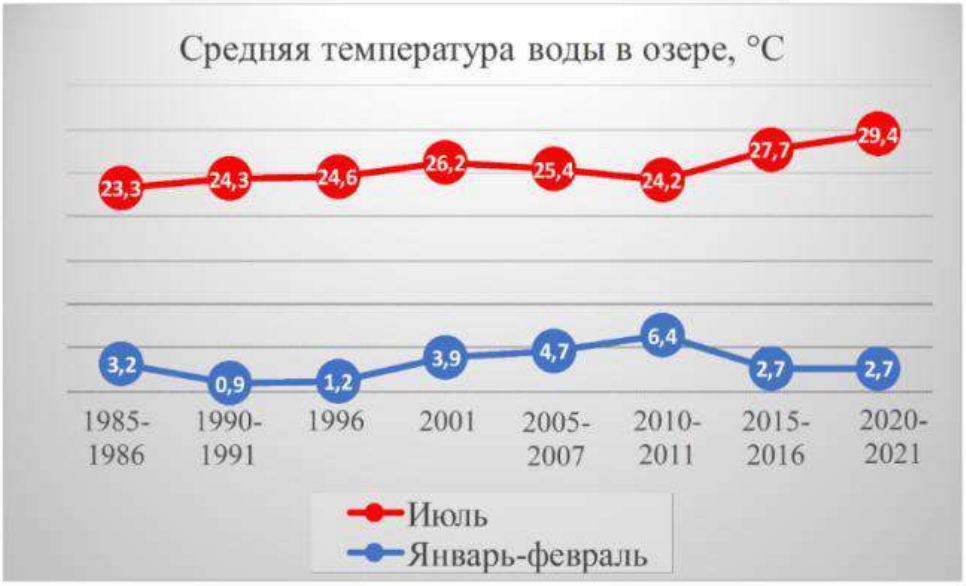


Рис. 6. Изменение средней температуры (*LST*) воды в озере Абрау
Fig. 6. Change in the average temperature (*LST*) of the water in Lake Abrau

Пространственно-временное распределение индекса NDVI.

Анализ распределения значений *NDVI* по акватории озера показал наличие непостоянных, часто меняющих свою локацию от года к году, зон повышенных значений (рис. 7). Интерпретация этих данных в качестве косвенного индикатора развития фотосинтетически активной биомассы позволяет заключить, что наблюдаемое «цветение» воды носит скорее эпизодический, неустойчивый характер и не приводит к формированию стабильных очагов, что свидетельствует о достаточно эффективной естественной циркуляции водных масс, препятствующей длительным застойным явлениям, в отличие от ситуации описанной для некоторых других озер [Liu et al., 2017].

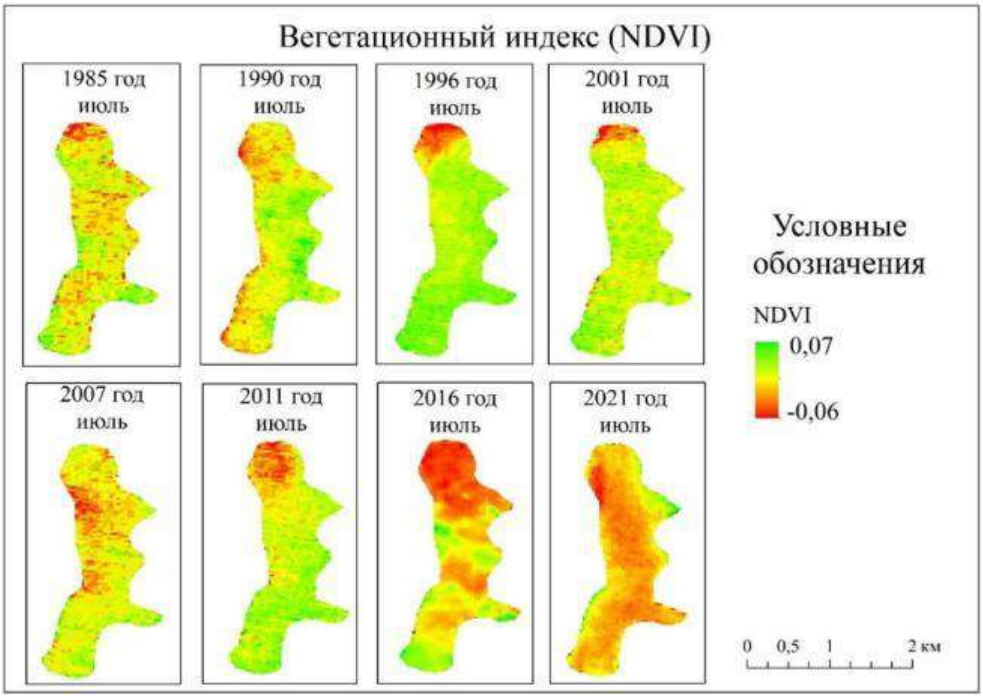


Рис. 7. Картосхемы значений вегетационного индекса (*NDVI*) в озере для летних снимков
Fig. 7. Maps of vegetation index (*NDVI*) values in the lake for summer images

В течение всего периода мониторинга установлено, что значения *NDVI* в летний период (от –0,04 до 0,01) закономерно превышают аналогичные показатели в зимний сезон (от –0,15 до –0,03). Полученные данные соответствуют сезонной динамике растительности, характеризующейся более высокой фотосинтетической активностью растений в летние месяцы.

Заключение

По результатам многолетнего мониторинга подтверждена высокая стабильность площади водного зеркала озера Абрау, а также впервые выявлена и обоснована связь ее кратковременных колебаний с работой переливного гидротехнического сооружения, что расширяет представления о водном балансе водоема.

2. Детальный анализ индекса *NDTI*, использованного в качестве надежного индикатора относительной мутности, позволил не только выявить устойчивую зону активного поступления взвешенных наносов в районе устья реки Абрау, но и количественно оценить вклад локального антропогенного фактора (работы фонтана) в изменении оптических свойств водной толщи.

3. Установлен статистически значимый тренд к увеличению сезонной амплитуды температуры поверхности воды, в основном обусловленный ростом ее летних значений,

что, вероятно, является индикатором уменьшения глубины водоема и его тепловой инерции вследствие продолжающегося заиления.

4. Пространственно-временной анализ индекса *NDVI*, рассматриваемого в качестве косвенного показателя развития фитомассы, свидетельствует об отсутствии в исследуемый период времени устойчивых пространственных зон его повышенных значений, что указывает на отсутствие признаков необратимых процессов заболачивания и эвтрофирования и подчеркивает роль активного водообмена.

Таким образом, комплексный анализ спектральных индексов и температуры поверхности, выполненный на основе длительных временных рядов спутниковых данных, позволил выявить и количественно охарактеризовать ключевые современные тенденции в состоянии экосистемы озера Абрау. Полученные результаты не только подчеркивают высокую эффективность методов ДЗЗ для решения задач экологического мониторинга, но и ясно указывают на необходимость организации дальнейших, более детальных исследований, в обязательном порядке включающих процедуру верификации спектральных индексов с помощью натурных измерений для установления точных количественных зависимостей. Это станет надежной основой для разработки научно обоснованных мер по сохранению и восстановлению этого уникального природного объекта.

Список литературы

Востокова Е.А., Шевченко Л.А., Сущеня В.А., Скатерщиков С.В., Кельнер Ю.Г., ... Хачоян А.В. 1982. Картографирование по космическим снимкам и охрана окружающей среды. М., Недра, 251 с.

Евдокимов С.И., Штефуряк А.В. 2024. Разработка методики определения площади эвтрофикации внутренних водоемов с использованием спутниковых данных. Региональные системы, 48(3): 382–404. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-382-404

Ефремов Ю.В., Базелюк А.А., Панов В.Д. 2012. Антропогенное воздействие на озёра Северного Кавказа. География и природные ресурсы, 1: 51–56.

Звянец А.О., Горбунов О.В., Конышева Е.Н. 2016. Анализ санитарно-гигиенического состояния озера Абрау Краснодарского края с целью негативного влияния на водную экосистему. Символ науки, 7–2(19): 22–24.

Илюшина Т.В., Сизов А.П. 2023. Исследование динамики рекреационных зон городского округа Самара с помощью методов дистанционного зондирования Земли. Геодезия и картография, 10: 50–55. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55

Калимуллина Г.И. 2019. Применение разновременных космических снимков Landsat для установления береговых линий (границ) водных объектов. В кн.: Экологический сборник. Материалы Всероссийской (с международным участием) молодежной научной конференции, Тольятти, 18–21 апреля 2019. Тольятти, Институт экологии Волжского бассейна РАН: 209–213.

Кропянко Л.В., Беспалова Л.А. 2013. Антропогенная деятельность на береговых ландшафтах и проблемы совместимости различных видов хозяйственной деятельности Азово-Черноморского побережья. Международный научно-исследовательский журнал, 17(10–1): 126–129.

Лямина В.А., Глушкова Н.В., Смоленцева Е.Н., Зольников И.Д. 2010. Использование методов ГИС и ДЗ для мониторинга площади озер и солончаков на территории юга Западной Сибири. Интерэкспо Гео-Сибирь, 4(2): 3–7.

Повалишникова Е.С., Ефимова Л.Е., Головлева В.О. 2013. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга водных объектов в пределах ООПТ. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2–11(58): 99–106.

Прокопьева К.Н. 2023. Разработка региональных зависимостей определения мутности воды по данным дистанционного зондирования земли. В кн.: Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых учёных университетов). Материалы XIII семинара молодых ученых вузов, Набережные Челны, 25–29 апреля 2022. Набережные Челны, Набережночелнинский государственный педагогический университет: 101–107.

Тихомиров О.А., Бочаров А.В. 2016. Использование данных дистанционного зондирования для оценки показателей мутности воды водных объектов. Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология, 2: 5–11.

Bai J., Chen X., Li J., Yang L., Fang H. 2023. Monitoring Long-Term Lake Area Dynamics in the Tibetan Plateau Using Landsat Imagery and the Google Earth Engine. International Journal of Digital Earth, 16(1): 293–312.

Lacaux J.P., Tourre Y.M., Vignolles C., Ndione J.A., Lafaye M. 2007. Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal. Remote Sensing of Environment, 106(1): 66–74.

Liu H., Li Q., Shi T., Hu S., Wu G., Zhou Q. 2017. Application of Sentinel-2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. Remote Sensing, 9(7): 761.

Mishra D.R., Kumar A., Muduli P.R., Equeenuddin Sk.M., Rastogi G., Acharyya T. 2020. Decline in Phytoplankton Biomass Along Indian Coastal Waters due to COVID-19 Lockdown. Remote Sensing, 12(16): 2584.

Palmer S.C., Kutser T., Hunter P.D. 2015. Remote Sensing of Inland Waters: Challenges, Progress and Future Directions. Remote Sensing of Environment, 157: 1–8.

Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. 2026. High-Resolution Mapping of Global Surface Water and Its Long-Term Changes. Nature, 540: 418–422.

Sòria-Perpinyà X., Vicente E., Urrego P., Pereira-Sandoval M., Ruíz-Verdú A., … Moreno J. 2020. Remote Sensing of Cyanobacterial Blooms in a Hypertrophic Lagoon (Albufera of València, Eastern Iberian Peninsula) Using Multitemporal Sentinel-2 Images. Science of The Total Environment, 698: 134305.

Topp S.N., Pavelsky T.M., Jensen D., Simard M., Ross M.R. 2020. Research Trends in the Use of Remote Sensing for Inland Water Quality Science: Moving Towards Multidisciplinary Applications. Water, 12(1): 169.

Winslow L.A., Read J.S., Hanson P.C., Stanley E.H. 2015. Does Lake Size Matter? Combining Morphology and Process Modeling to Examine the Contribution of Lake Classes to Population-Scale Processes. Inland Waters, 5(1): 7–14.

Woolway R.I., Kraemer B.M., Lenters J.D., Merchant C.J., O'Reilly C.M., Sharma S. 2020. Global Lake Responses to Climate Change. Nature Reviews Earth & Environment, 1(8): 388–403.

Xu H. 2006. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14): 3025–3033.

Yang X., Qin Q., Yésou H., Ledauphin T., Zhu Z. 2022. Thirty Years of Landsat-Derived Lake Surface Water Temperature Reveals Increasing Warming with Higher Rates in Northern Regions. Remote Sensing of Environment, 280: 113175.

References

Vostokova E.A., Shevchenko L.A., Sushchenya V.A., Skatershchikov S.V., Kelner Yu.G., ... Khachoyan A.V. 1982. Kartografirovanie po kosmicheskim snimkam i okhrana okruzhayushchey sredy [Mapping from Space Imagery and Environmental Protection]. Moscow, Publ. Nedra, 251 p.

Evdokimov S.I., Shtefuryak A.V. 2024. Development of a Methodology for Determining the Eutrophication Area of Inland Reservoirs Using Satellite Data. Regional Geosystems, 48(3): 382–404 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-382-404

Efremov Yu.V., Bazelyuk A.A., Panov V.D. 2012. Antropogennoye vozdeystviye na ozera Severnogo Kavkaza [Anthropogenic Impact on the Lakes of the North Caucasus]. Geografiya i prirodnyye resursy, 1: 51–56.

Zvyanets A.O., Gorbunov O.V., Konysheva E.N. 2016. Analiz sanitarno-gigienicheskogo sostoyaniya ozera Abrau Krasnodarskogo kraya s tsel'yu negativnogo vliyaniya na vodnuyu ekosistemu [Analysis of the Sanitary and Hygienic Condition of Lake Abrau in the Krasnodar Krai Regarding its Negative Impact on the Aquatic Ecosystem]. Simvol nauki, 7–2(19): 22–24.

Ilyushina T.V., Sizov A.P. 2023. Studying the Dynamics of Samara City District`S Recreational Zones Through the Earth Remote Sensing Methods. Geodesy and Cartography, 10: 50–55 (in Russian). https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55

Kalimullina G.I. 2019. Primenenie raznovremennykh kosmicheskikh snimkov Landsat dlya ustanovleniya beregovykh liniy (granits) vodnykh ob"ektov [Application of Multi-Temporal Landsat Satellite

Images for Establishing Shorelines (Boundaries) of Water Bodies]. In: Ekologicheskiy sbornik [Ecological Collection]. Proceedings of the All-Russian (with international participation) youth scientific conference, Tolyatti, 18–21 April 2019. Tolyatti, Publ. Institut ekologii Volzhskogo basseyna RAN: 209–213.

Kropyanko L.V., Bespalova L.A. 2013. Anthropogenic Activity on Seaside Coastal Landscapes and Compatibility Problems of Different Kinds of the Azov-Black Sea Coast Economic Activity. International Research Journal, 17(10–1): 126–129 (in Russian).

Lyamina V.A., Glushkova N.V., Smolentseva E.N., Zolnikov I.D. 2010. Use of Methods of GIS and Rs for Monitoring of Change of Lakes and Solonchaks Areas on the Territory of Western Siberia South. Interexpo GEO-Siberia, 4(2): 3–7 (in Russian).

Povalishnikova E.S., Efimova L.E., Golovleva V.O. 2013. Primenenie metodov distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa vodnykh obektov v predelakh OOPT [Application of Remote Sensing Methods for Monitoring Water Bodies within Specially Protected Natural Areas]. Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk, 2–11(58): 99–106.

Prokopyeva K.N. 2023. Razrabotka regional'nykh zavisimostey opredeleniya mutnosti vody po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli [Development of Regional Dependencies for Determining Water Turbidity from Remote Sensing Data]. In: Erozionnyye, ruslovyye i ust'yevyye protsessy (issledovaniya molodykh uchenykh universitetov) [Erosion, Channel, and Estuary Processes (Research by Young University Scientists)]. Proceedings of the 13th Seminar of Young University Scientists, Naberezhnye Chelny, 25–29 April 2022. Naberezhnyye Chelny, Publ. Naberezhnyechelnyinskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet: 101–107.

Tikhomirov O.A., Bocharov A.V. 2016. Use of Sensor for Evaluation of Indicators Turbidity Content in Water Reservoir. Herald of Tver State University. Series: Geography and Geoecology, 2: 5–11 (in Russian).

Bai J., Chen X., Li J., Yang L., Fang H. 2023. Monitoring Long-Term Lake Area Dynamics in the Tibetan Plateau Using Landsat Imagery and the Google Earth Engine. International Journal of Digital Earth, 16(1): 293–312.

Lacaux J.P., Tourre Y.M., Vignolles C., Ndione J.A., Lafaye M. 2007. Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal. Remote Sensing of Environment, 106(1): 66–74.

Liu H., Li Q., Shi T., Hu S., Wu G., Zhou Q. 2017. Application of Sentinel-2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. Remote Sensing, 9(7): 761.

Mishra D.R., Kumar A., Muduli P.R., Equeenuddin Sk.M., Rastogi G., Acharyya T. 2020. Decline in Phytoplankton Biomass Along Indian Coastal Waters due to COVID-19 Lockdown. Remote Sensing, 12(16): 2584.

Palmer S.C., Kutser T., Hunter P.D. 2015. Remote Sensing of Inland Waters: Challenges, Progress and Future Directions. Remote Sensing of Environment, 157: 1–8.

Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. 2026. High-Resolution Mapping of Global Surface Water and Its Long-Term Changes. Nature, 540: 418–422.

Sòria-Perpinyà X., Vicente E., Urrego P., Pereira-Sandoval M., Ruíz-Verdú A., … Moreno J. 2020. Remote Sensing of Cyanobacterial Blooms in a Hypertrophic Lagoon (Albufera of València, Eastern Iberian Peninsula) Using Multitemporal Sentinel-2 Images. Science of The Total Environment, 698: 134305.

Topp S.N., Pavelsky T.M., Jensen D., Simard M., Ross M.R. 2020. Research Trends in the Use of Remote Sensing for Inland Water Quality Science: Moving Towards Multidisciplinary Applications. Water, 12(1): 169.

Winslow L.A., Read J.S., Hanson P.C., Stanley E.H. 2015. Does Lake Size Matter? Combining Morphology and Process Modeling to Examine the Contribution of Lake Classes to Population-Scale Processes. Inland Waters, 5(1): 7–14.

Woolway R.I., Kraemer B.M., Lenters J.D., Merchant C.J., O'Reilly C.M., Sharma S. 2020. Global Lake Responses to Climate Change. Nature Reviews Earth & Environment, 1(8): 388–403.

Xu H. 2006. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14): 3025–3033.

Yang X., Qin Q., Yésou H., Ledauphin T., Zhu Z. 2022. Thirty Years of Landsat-Derived Lake Surface Water Temperature Reveals Increasing Warming with Higher Rates in Northern Regions. Remote Sensing of Environment, 280: 113175.

Поступила в редакцию 20.08.2025;
поступила после рецензирования 24.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025

Received August 20, 2025;
Revised October 24, 2025;
Accepted November 24, 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

Коробейников Александр Владимирович, студент кафедры геоинформатики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар Россия

Кузякина Марина Викторовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геоинформатики, Кубанский государственный университет; , доцент кафедры кадастра и геоинженерии Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар Россия

Пелина Алина Николаевна, кандидат географических наук, доцент кафедры геоинформатики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Korobeynikov, Bachelor student, Department of Geoinformatics, Kuban State University, Krasnodar, Russia.

Marina V. Kuzyakina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Geoinformatics, Kuban State University, Krasnodar, Russia; Associate Professor, Department of Cadastre and Geoenginering, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia.

Alina N. Pelina, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geoinformatics, Kuban State University, Krasnodar, Russia.

УДК 633.1:004.048
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-352-365
EDN UDXGXR

Оценка точности классификации многозональных космических снимков при использовании пиксельного и объектно-ориентированного подходов

Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К., Федоров Д.С.
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Россия, 630501, Новосибирская область, Новосибирский м. р-н,
г.п. рабочий поселок Краснообск, р.п. Краснообск, Центральная ул., зд. 7
lv.garafutdinova@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований по оценке точности классификации многозональных космических снимков при использовании пиксельного и объектно-ориентированного подходов. Исследования выполнены на территориях землепользования ОС «Элитная» и ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М. в Новосибирской области. Для реализации различных подходов к классификации типов земной поверхности использовали многозональные космические снимки спутника *Sentinel-2B* с пространственным разрешением 10 м в пикселе. Пиксельный подход реализован на основе контролируемой классификации с использованием методов максимального правдоподобия, параллелепипедов и расстояние Махаланобиса в программном пакете *ERDAS Imagine 2014*. Объектно-ориентированный подход выполняли в два этапа. Вначале проводили сегментацию изображений с использованием алгоритма *OBIS*, а затем классифицировали сегментированные изображения. Сегментация выполнена с использованием *SAGA GIS* версии 8.5.1. Классификация результатов сегментации выполнена с использованием методов машинного обучения: случайный лес (*RF*), метод опорных векторов (*SVM*) и многослойный перцептрон (*MLP*). Исследованиями установлено, что классификаторы при использовании пиксельного подхода показали в целом нестабильные результаты, которые варьировали от удовлетворительной общей точности классификации до низкой и очень низкой, особенно по отдельным классам пространственных объектов. Лучшим оказался метод максимального правдоподобия, который показал удовлетворительную общую точность классификации (82–88 %) и высокие значения коэффициента Каппа Коэна. Непараметрические классификаторы при использовании объектно-ориентированного подхода продемонстрировали более устойчивые результаты для обеих анализируемых территорий землепользования. Лучшей из них была модель *MLP* с общей точностью классификации 96 % для землепользования ОС «Элитная» и 91 % для землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М., а также с высокими значениями коэффициента Каппа Коэна. Проведённое исследование показывает, что объектно-ориентированный подход с предварительной сегментацией изображения является наиболее эффективной стратегией классификации многозональных космических снимков.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, пиксельная классификация, объектно-ориентированная классификация, машинное обучение, картографирование, оценка точности

Для цитирования: Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К., Федоров Д.С. 2026. Оценка точности классификации многозональных космических снимков при использовании пиксельного и объектно-ориентированного подходов. Региональные геосистемы, 50 (2): 352–365. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-352-365 EDN: UDXGXR

© Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К., Федоров Д.С., 2026

Assessing Multispectral Satellite Image Classification Accuracy Using Pixel-Based and Object-Oriented Approaches

Lyudmila V. Garafutdinova, Vladimir K. Kalichkin, Dmitry S. Fedorov
Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
7 Tsentralnaya St., 630501, Krasnoobsk urban-type settlement,
Krasnoobsk, Novosibirsky mikrorayon, Novosibirsk region, Russia
lv.garafutdinova@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of research focused on assessing the accuracy of multispectral satellite image classification using pixel-based and object-oriented approaches. The studies were conducted on the territories of Elitnaya Experimental Station and Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M. land use areas in Novosibirsk region. Multispectral satellite images from Sentinel-2A with 10 m spatial resolution per pixel were used to implement various approaches for land cover type classification. The pixel-based approach was implemented based on supervised classification using parametric methods of maximum likelihood, parallelepiped, and Mahalanobis distance in ERDAS Imagine 2014 software package. We applied the object-oriented approach in two stages. First, image segmentation was conducted using the OBIS algorithm, and then the segmented images were classified. Segmentation was performed using SAGA GIS version 8.5.1. Machine learning models were used for classification of the obtained segmented image: Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), and Multi-Layer Perceptron (MLP). In the course of the study, parametric classifiers using the pixel-based approach showed generally unstable results, which varied from satisfactory overall classification accuracy to low and very low, especially for individual classes of spatial objects. The maximum likelihood method proved to be the best, showing satisfactory overall classification accuracy (82.0-88.0%) and high Cohen's Kappa coefficient values. Non-parametric classifiers using the object-oriented approach demonstrated more stable results for both land use territories under analysis. The best among them was the MLP model with overall classification accuracy of 96.0% for Elitnaya Experimental Station land use and 91.0% for Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M. land use, as well as high Cohen's Kappa coefficient values. The research findings show that the object-oriented approach with preliminary image segmentation is the most effective strategy for multispectral satellite image classification.

Keywords: remote sensing, pixel-based classification, object-oriented classification, machine learning, mapping, accuracy assessment

For citation: Garafutdinova L.V., Kalichkin V.K., Fedorov D.S. 2026. Assessing Mltispectral Satellite Image Classification Accuracy Using Pixel-Based and Object-Oriented Approaches. Regional Geosystems, 50 (2): 352–365 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-352-365
EDN: UDXGXR

Введение

Подходы к классификации снимков дистанционного зондирования можно разделить на две основные категории: классификация на основе пикселей и классификация на основе объектов [Blaschke et al., 2014; Kucharczyk et al., 2020]. Подходы к классификации на основе пикселей используют пиксель в качестве базовой единицы анализа, в то время как подходы к объектной классификации используют объект (т.е. группу смежных пикселей) в качестве базовой единицы анализа. Подход на основе пикселей содержит в свою очередь также два типа: жёсткую и мягкую, последнюю называют спектральным разделением (*spectral unmixing*) [Wang et al., 2021]. При жёсткой классификации на основе пикселей предполагается, что каждый пиксель является чистым, и отдельные пиксели классифицируются по взаимоисключающим классам земной поверхности в зависимости от их спектральных свойств. В отличие от этого, при спектральном разделении определяют вероятность появления различных классов земной поверхности в каждом пикселе, в связи с

тем, что на различных снимках дистанционного зондирования часто встречаются смешанные пиксели, содержащие более одного класса. Результаты спектрального разделения можно преобразовать в результаты жёсткой классификации, присвоив пикселю метку класса с максимальной долей [Manohar Kumar et al., 2022].

Классификация на основе пикселей долгое время была основным методом дешифрирования изображений дистанционного зондирования, особенно с низким и средним пространственным разрешением. В последние годы, с появлением изображений дистанционного зондирования с высоким и очень высоким пространственным разрешением, была разработана усовершенствованная классификация на основе объектов. Объектный подход имеет два отличия от пиксельного. Первое отличие заключается в том, что распознавание классов на основе объектов выполняется для единиц объектов, полученных в результате сегментации изображения [Hossain, Chen, 2022; Ez-zahouani et al., 2023], в то время как процесс классификации на основе пикселей напрямую связан с пикселями изображения и их спектральными свойствами. Второе отличие заключается в том, что при объектном походе используются не только их спектральные, но и пространственные, текстурные и геометрические свойства [Blaschke et al., 2014; Mehmood et al., 2022; Ozturk, Colkesen, 2024].

Для осуществления сегментации применяется алгоритм объектно-ориентированного анализа изображений (*OBIA-OBIS*), интегрированный с геоинформационными системами (ГИС) – географический объектно-ориентированный анализ изображений (*Geographic object-based image analysis – GEOBIA*). Он генерирует однородные сегменты изображения во вложенной иерархии масштабированных представлений. Спектральная информация агрегируется адаптивным к масштабу образом, при этом потеря детализации сводится к минимуму. Таким образом, создается новая географическая информация в формате, пригодном для использования в ГИС. Последующая классификация типов земной поверхности в парадигме *GEOBIA* осуществляется методами машинного обучения. Преимущества *GEOBIA* заключаются в высокой степени использования информации, надежной защите от помех, высокой степени интеграции данных, высокой точности классификации и меньшем объеме ручного редактирования [Chen et al., 2018; Lang et al., 2019; Liu et al., 2020; Talukdar et al., 2020; Гарафутдинова и др., 2024].

Классификация снимков дистанционного зондирования с использованием машинного обучения в последнее время стала основным направлением в этой предметной области. Алгоритмы машинного обучения, как правило, способны моделировать сигнатуры сложных классов, могут принимать различные входные предикторные данные и не делают предположений о распределении данных (т.е. являются непараметрическими). Исследованиями показано, что эти методы, как правило, обеспечивают более высокую точность по сравнению с традиционными классификаторами, особенно для сложных данных с многомерным пространством признаков, то есть со многими предикторными переменными [Talukdar et al., 2020; Zafar et al., 2024; Behera, 2025; Jancevičius, Kalibatienė, 2025].

Несмотря на растущее признание классификаторов машинного обучения, традиционные методы по-прежнему широко используются в прикладных статьях и остаются одними из основных методов для сравнительных экспериментов по классификации. Например, по данным [Maxwell et al., 2018] при метаанализе более 1600 статей, посвященных проблемам классификации дистанционного зондирования, обнаружено, что наиболее часто применяемым был классификатор максимального правдоподобия (32 % статей), хотя обычно обнаруживалось, что при использовании машинного обучения достигалась значительно более высокая точность. Доминирование этого метода объясняется его широкой доступностью в обычных программных пакетах для обработки изображений дистанционного зондирования, а машинное обучение требует дополнительной разработки программного обеспечения и обучения.

Цель исследования заключалась в сравнительном анализе общей точности классификации многозональных космических снимков при использовании пиксельного и объектно-ориентированного подходов.

Объекты и методы исследования

Исследования выполнены на территориях землепользования ОС «Элитная» Новосибирского района и ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М. Искитимского района Новосибирской области, расположенных в центральной лесостепи (рис. 1). Рельеф ОС «Элитная» представлен слабоволнистой равниной с абсолютными высотами от 103 до 170 м. Почвенный покров территории преимущественно представлен выщелоченными чернозёмами и темно-серыми лесными почвами. Территория ИП ГК(Ф)Х Ковалев С. М. характеризуется значительно расчленённым рельефом, представленным равниной, глубоко изрезанной системой балок и оврагов. Абсолютные отметки высот варьируют от 206 до 278 м. Основными типами почв являются серые лесные, выщелоченные чернозёмы и луговые почвы.

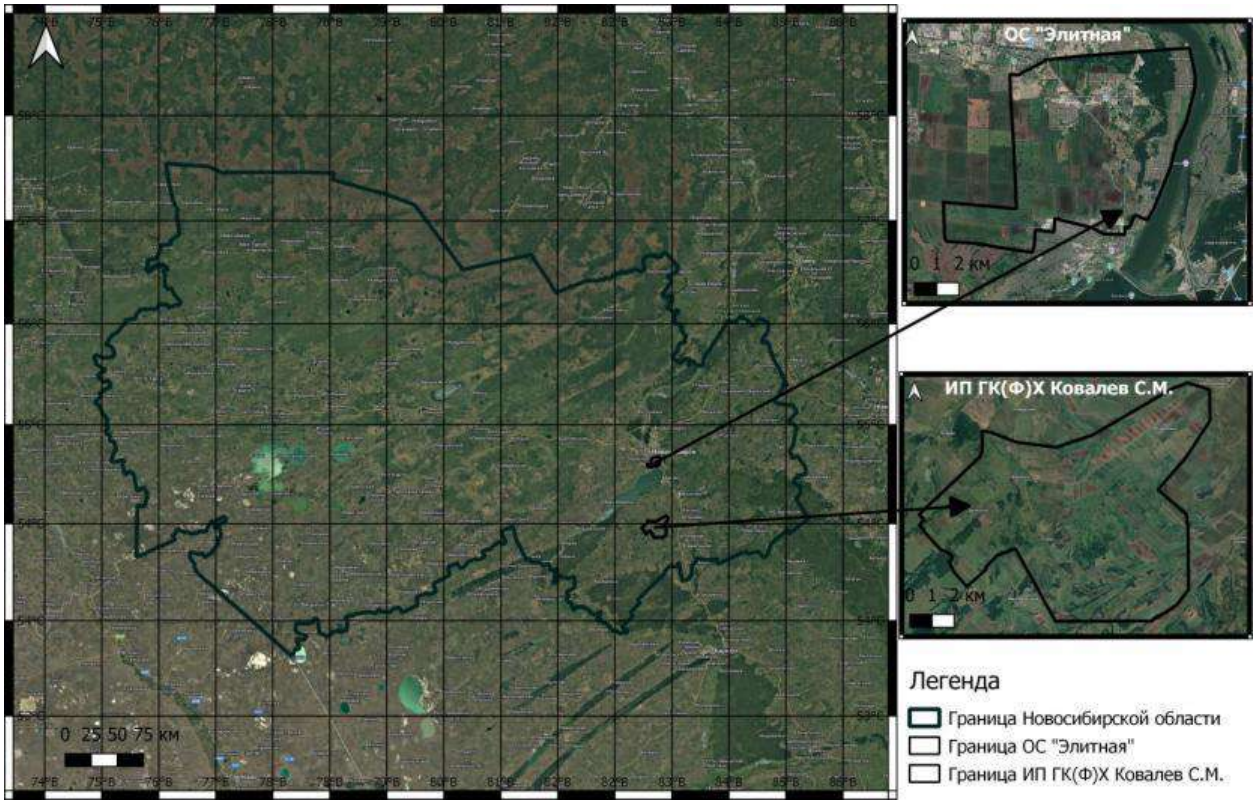


Рис. 1. Пространственное размещение ОС «Элитная» и ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М.
Fig. 1. Spatial distribution of Elitnaya Experimental Station and Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M.

В исследованиях использовали многозональные космические снимки миссии *Sentinel-2B*, полученные через платформу *Sentinel Hub* (https://www.sentinel-hub.com). Для анализа были выбраны три канала видимого диапазона — синий (*B02*), зелёный (*B03*), красный (*B04*) – и ближний инфракрасный канал (*B08*) с пространственным разрешением 10 м на пиксель. Все электронные слои приведены к единой системе координат *Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger CM 87E (EPSG:2505)* с использованием свободной кроссплатформенной геоинформационной системы *QGIS* (https://qgis.org/ru/site/).

В полевых исследованиях осуществляли идентификацию и координатную привязку на местности различных пространственных объектов. Для определения местоположения

пространственных объектов использовали *GPS*-навигатор (*Garmin 64*) с точностью до 0,5 м. На основе данных полевого обследования каждого землепользования были сформированы обучающие выборки в виде классов пространственных объектов. Для территории землепользования ОС «Элитная» были выделены пять классов: рабочие участки полей, лес и лесополосы, дороги, застройка и водные объекты. Для территории землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М. – шесть классов: рабочие участки полей, лес и лесополосы, дороги, застройка, растительность (залежь, пастбища и сенокосы) и водные объекты.

Пиксельный подход к классификации основан на анализе спектральных характеристик отдельных пикселей и применении общепринятых статистических методов, предполагающих нормальное распределение данных в каждом классе.

Метод максимального правдоподобия (*Maximum Likelihood*) определяет принадлежность пикселя к классу ω_i на основе вероятности [Richards, 2013]:

$$P(\omega_i|x) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2}|\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i)\right), \quad (1)$$

где: x – вектор спектральных значений пикселя; d – размерность пространства признаков (количество спектральных каналов); μ_i – вектор средних значений для класса ω_i; Σ_i – ковариационная матрица для класса ω_i; $|\Sigma_i|$ – определитель ковариационной матрицы; T – операция транспонирования.

Метод параллелепипедов (*Parallelepiped*) относит пиксель к классу ω_i при выполнении условия для всех спектральных каналов $j = 1, 2, ..., d$ [Richards, 2013]:

$$\mu_{ij} - k_j\sigma_{ij} \le x_j \le \mu_{ij} + k_j\sigma_{ij}, \quad (2)$$

где: x_j – значение яркости пикселя в j-том канале; μ_{ij} – среднее значение для класса ω_i в j-том канале; σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение для класса ω_i в j-том канале; k_j – пороговый коэффициент для j-того канала.

Метод расстояние Махаланобиса (*Mahalanobis Distance*) вычисляет расстояние от пикселя до центра класса ω_i по формуле [Richards, 2013]:

$$D^2(x, \omega_i) = (x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i), \quad (3)$$

где: x – вектор спектральных значений пикселя; μ_i – вектор средних значений для класса ω_i; Σ_i – ковариационная матрица для класса ω_i; T – операция транспонирования.

Пиксель относится к классу с минимальным расстоянием Махаланобиса при условии:

$$D^2(x, \omega_i) \le T_i, \quad (4)$$

где: T_i – пороговое значение для класса ω_i.

Объектно-ориентированный подход использует непараметрические методы машинного обучения, которые не делают предположений о распределении данных и способны моделировать сложные нелинейные зависимости между признаками и классами.

Метод случайный лес (*Random Forest – RF*) формирует окончательное решение путем голосования ансамбля деревьев решений [Breiman, 2001]:

$$\hat{y} = mode\{h_1(x), h_2(x), \dots, h_B(x)\}, \quad (5)$$

где: $\hat{y}$ – предсказание модели; $h_\beta(x)$ – предсказание b-того дерева решений; B – общее количество деревьев; $mode\{\}$ – функция, возвращающая наиболее часто встречающееся значение.

Метод опорных векторов (*Support Vector Machine – SVM*) использует решающую функцию вида [Vapnik, 1998]:

$$f(x) = sign\left(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i y_i K(x_i, x) + b\right), \quad (6)$$

где: α_i – множители Лагранжа; y_i – метки классов (+1 или –1); $K(x_i, x)$ – функция ядра; b – смещение; n – количество опорных векторов.

Многослойный перцептрон (*Multi-Layer Perceptron – MLP*) вычисляет выходной сигнал нейрона *j* в слое *l* по формуле [Haykin, 2009]:

$$a_j^{(l)} = f\left(\sum_i w_{ji}^{(l)} a_i^{(l-1)} + b_j^l\right), \quad (7)$$

где: $a_j^{(l)}$ – активация *j*-того нейрона в слое *l*; $w_{ji}^{(l)}$ – вес связи от нейрона *i* в слое *(l-1)* к нейрону *j* в слое *l*; $b_j^{(l)}$ – смещение нейрона *j* в слое *l*; *f* – функция активации.

Пиксельный подход реализован на основе контролируемой классификации в программном обеспечении *ERDAS Imagine 2014*[1]. Синтезированные изображения были созданы с помощью функции *Layer Stack* путем объединения нескольких изображений в разных спектральных зонах. В пиксельном подходе в качестве входных данных использовали значения отражательной способности в приведённых выше спектральных каналах.

Объектно-ориентированный подход выполняли в два этапа. Вначале проводили сегментацию изображений с использованием алгоритма *Object Based Image Segmentation (OBIS)*, а затем классифицировали сегментированные изображения. Сегментация выполнена с использованием программного продукта *SAGA GIS* версии 8.5.1 с открытым исходным кодом (https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/SAGA%20-%208). Вектор признаков для каждого пикселя формировали на основе данных многозонального космического снимка. В этот вектор входили значения яркости и текстурные характеристики, полученные для каждого спектрального канала. Текстурные характеристики извлекали из растровых данных с использованием функции *r.texture* в *GRASS GIS*, доступной через интерфейс *QGIS*. Для классификации полученного сегментированного изображения применяли модели машинного обучения с использованием языка программирования *Python* в интерактивном блокноте *Jupyter*. Обучающая и тестовая выборки сформированы в соотношении 80 и 20 % соответственно. Для объектно-ориентированной классификации в качестве входных данных использовали среднее значение спектральной характеристики по сегменту, текстуру, цвет и форму.

Для оценки точности классификации применяли стандартные метрики, основанные на анализе матрицы ошибок (*confusion matrix*).

Общая точность (*Overall Accuracy*) вычисляется как отношение правильно классифицированных пикселей к общему их количеству:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_{ii}}{N} \times 100\%, \quad (8)$$

где: x_{ii} – диагональные элементы матрицы ошибок (правильно классифицированные пиксели класса *i*); *N* – общее количество пикселей в тестовой выборке; *k* – количество классов.

Коэффициент Каппа Коэна (*Cohen's Kappa*) учитывает возможность случайного совпадения при классификации [Cohen , 1960]:

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}, \quad (9)$$

где: P_o – наблюдаемая точность (*Overall Accuracy* в долях); P_e – ожидаемая точность при случайном распределении:

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^{k}(x_{i+} \times x_{+i})}{N^2}, \quad (10)$$

где: x_{i+} – сумма элементов *i*-той строки матрицы ошибок; x_{+i} – сумма элементов *i*-того столбца матрицы ошибок.

[1] ERDAS IMAGINE TourGuides™. Электронный ресурс. URL: http://dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/Tour Guide84-Erdas.pdf (Accessed: 10.09.2025)

Результаты и их обсуждение

Для оценки качества выделенных обучающих сигнатур классов был проведён анализ их спектральной различимости, основывающийся на значениях делимости, представленных на рис. 2. Спектральная различимость оценивалась на основе сформированных сигнатур классов. В качестве метрики использовали функциональные характеристики взаимного наложения классов, что позволяет прогнозировать ошибку классификации. Размер ошибки обратно пропорционален критерию разделимости: чем выше значение критерия, тем меньше ожидаемая ошибка при разделении соответствующих классов. Полученные значения критерия разделимости были использованы для оценки качества сформированного набора обучающих выборок.

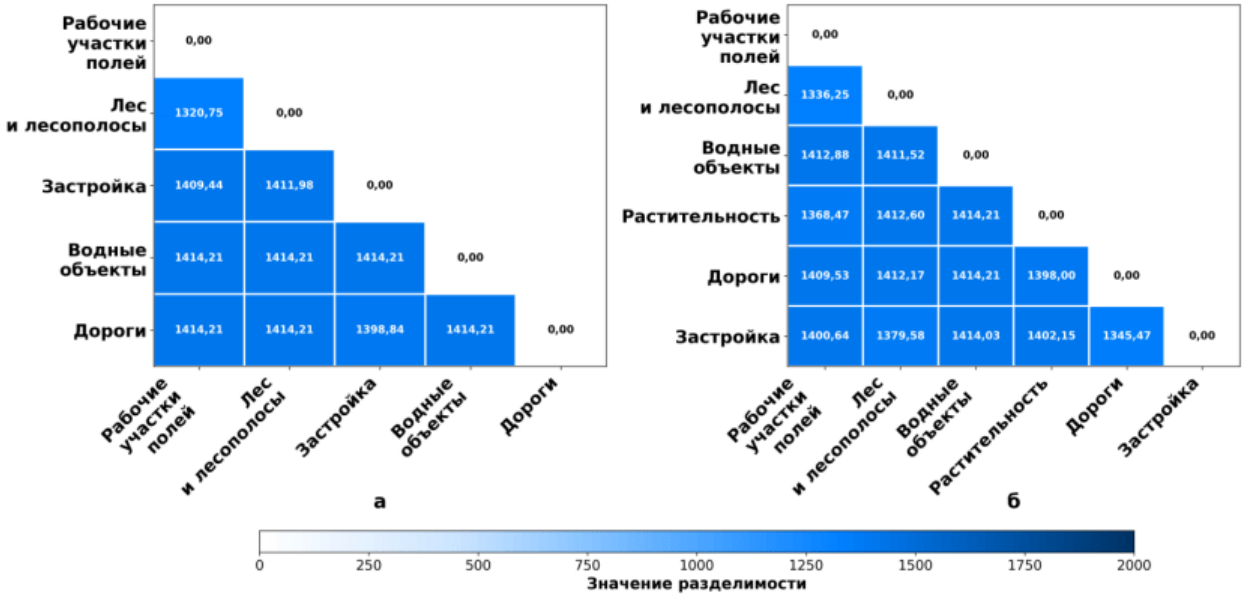


Рис. 2. Матрица значений для оценки разделимости сигнатур на территориях землепользования ОС «Элитная» (а) и ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М (б)

Fig. 2. Matrix of values for signature separability assessment on the territories of Elitnaya Experimental Station (a) and Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M. (b)

Анализ значений для оценки разделимости сигнатур показал, что все пары классов на территории землепользования ОС «Элитная» имеют значения выше 1320, что соответствует средней и высокой степени спектральной различимости. Минимальное значение разделимости сигнатур наблюдалось между парами классов «рабочие участки полей» и «лес и лесополосы», что требует повышенного контроля при классификации. Максимальные значения разделимости сигнатур характерны для класса «водные объекты», что объясняется их ярко выраженным спектральным контрастом (низкое отражение в ближнем ИК, высокое поглощение). Среднее значение разделимости сигнатур (1403) свидетельствует о высоком качестве обучающих сигнатур и их пригодности для надёжной классификации.

Для землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М. среднее значение разделимости сигнатур составило 1395, а минимальное 1336 – между классами «рабочие участки полей» и «лес и лесополосы». Наибольшая разделимость также отмечена для пар класса «водные объекты».

Все классы в обоих объектах землепользования показали приемлемый уровень значений разделимости сигнатур, подтверждающий пригодность обучающих выборок для последующей классификации снимков с минимально ожидаемой ошибкой. Однако наибольшие трудности в различении прогнозируются между классами «растительность» и

«дороги»; «рабочие участки полей» и «лес и лесополосы», что требует дополнительной проверки на этапе интерпретации.

Проверка точности классификации типов земной поверхности методом максимального правдоподобия показал удовлетворительные результаты. Общая точность классификации для обоих объектов была выше 80,0 % (табл. 1, 2). Значения коэффициента Каппа Коэна для объекта 1 составила 0,77 и 0,72 – для объекта 2, что указывает на существенную степень согласованности с эталонными классами.

Таблица 1
Table 1

Оценка общей точности классификации многозональных космических снимков на территории землепользования ОС «Элитная», % (объект 1)
Assessment of overall accuracy of multispectral satellite image classification on the territory of Elitnaya Experimental Station land use, % (object 1)

Классы	Пиксельный подход			Объектно-ориентированный подход		
	максимального правдоподобия	параллелепипедов	расстояние Махаланобиса	случайный лес (*RF*)	метод опорных векторов (*SVM*)	многослойный перцептрон (*MLP*)
Рабочие участки полей	89,23	82,50	76,92	68,00	92,00	100,00
Лес и лесополосы	81,62	7,32	60,00	89,50	94,70	97,70
Дороги	100,00	23,00	100,00	87,50	87,50	87,50
Застройка	86,36	60,00	20,00	58,80	88,20	100,00
Водные объекты	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Общая	88,00	46,00	60,00	81,90	91,70	95,80

Таблица 2
Table 2

Оценка общей точности классификации многозональных космических снимков на территории землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М., % (объект 2)
Assessment of overall accuracy of multispectral satellite image classification on the territory of Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M. land use, % (object 2)

Классы	Пиксельный подход			Объектно-ориентированный подход		
	максимального правдоподобия	параллелепипедов	расстояние Махаланобиса	случайный лес (*RF*)	метод опорных векторов (*SVM*)	многослойный перцептрон (*MLP*)
Рабочие участки полей	92,00	89,80	28,85	100,00	88,90	88,90
Лес и лесополосы	96,67	36,36	46,15	81,20	100,00	100,00
Растительность	71,43	68,42	46,15	70,60	88,20	94,10
Дороги	100,00	23,00	100,00	75,00	75,00	75,00
Застройка	15,38	20,00	1,47	50,00	83,30	100,00
Водные объекты	100,00	100,00	100,00	33,30	66,70	66,70
Общая	82,00	68,00	88,10	76,10	88,10	91,00

В то же время для отдельных классов в разрезе объектов землепользования отмечены различия в точности классификации. Так, достаточно высокие показатели общей точности классификации были получены для классов «рабочие участки полей», «лес и лесополосы», «дороги» и «водные объекты» для обоих объектов землепользования. В тоже время общая точность класса «застройка» для объекта 1 (см. табл. 1) и объекта 2 (см. табл. 2) различалась в 5,6 раза. Столь низкая общая точность класса «застройка» на объекте 2, по-видимому, обусловлена высокой спектральной изменчивостью этого типа земной поверхности и связана с разнообразием материалов покрытий, тенями от зданий и наличием смешанных пикселей. Поскольку в этом методе предполагается, что значения яркости пикселей в каждом канале имеют нормальные распределения, а в данном случае это правило нарушалось, поэтому получен низкий результат классификации. Класс «растительность», выделенный только для объекта 2, куда отнесены залежные земли, сенокосы и пастбища, был классифицирован с удовлетворительной общей точностью (см. табл. 2).

Метод параллелепипедов продемонстрировал умеренную эффективность. Общая точность классификации типов земной поверхности для объекта 1 составила менее 50 %, а для объекта 2 – менее 70 %. Полученные коэффициенты Каппа Коэна (0,17 и 0,52, соответственно) свидетельствуют об ограниченной согласованности с эталонными классами. Следует отметить, что преимущества этого метода выраженны в простоте обучения и использования, по сути, нивелируются его недостатками, а именно, пиксели в областях между параллелепипедами не классифицируются, а в перекрывающихся областях не могут быть классифицированы вообще. Этими особенностями данного метода, вероятно, можно объяснить низкую общую точность классификации классов «лес и лесополосы» и «дороги» как для объекта 1 (см. табл. 1), так и для объекта 2 (см. табл. 2). Вероятно также, что причиной низкой точности классификации явилась спектральная схожесть с другими типами земной поверхностями, такими как «застройка» и «рабочие участки полей», а также влияние состояния дорожного покрытия. Низкая точность классификации класса «застройка» на объекте 2 (см. табл. 2) объясняется теми же причинами, указанными для метода максимального правдоподобия.

Метод классификации на основе расстояние Махаланобиса показал довольно низкую эффективность. Общая точность классификации для объекта 1 составила 60 %, а для объекта 2 – 30 %. Полученные значения коэффициента Каппа Коэна (0,40 и 0,19 соответственно) свидетельствуют о слабой (почти случайной) согласованности между результатами классификации и эталонными классами. Отмечена крайне низкая точность классификации класса «застройка» для объекта 1 (см. табл. 1) и особенно для объекта 2 (см. табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о практически неудовлетворительной способности алгоритма выделять антропогенные объекты, что обусловлено, прежде всего, высокой спектральной изменчивостью данных объектов – различиями в материалах кровель, наличии теней, эффекте смешанных пикселей и фрагментарности застройки. Кроме того, метод расстояние Махаланобиса характеризуется повышенной чувствительностью к выбросам и неоднородностям в обучающих выборках, что дополнительно снижает его устойчивость при работе с неоднородными урбанизированными территориями.

Данные результаты обусловлены фундаментальными ограничениями метода расстояние Махаланобиса, который предполагает нормальное распределение спектральных сигнатур и устойчивость ковариационной структуры обучающих выборок. В реальных условиях классы характеризуются многомодальностью, высокой внутренней изменчивостью (особенно такие как «застройка») и фрагментарностью, что приводит к нестабильности оценок ковариационной матрицы и, как следствие, к искажению расчётных расстояний. В результате алгоритм склонен к массовому отбрасыванию

пикселей, интерпретируя их как «не принадлежащие ни к одному классу». При этом контрастные и однородные классы, такие как «водные объекты», сохраняют высокую точность из-за их выраженной спектральной отделимости, что создаёт ложное впечатление эффективности метода в целом.

Использование объектно-ориентированного подхода показало устойчивые результаты классификации для обоих анализируемых объектов (см. табл. 1, 2). Результаты свидетельствуют о том, что для объекта 1 все модели показали высокий уровень общей точности для большинства классов. Для объекта 2 сохраняется аналогичная тенденция, но с несколько меньшими значениями общей точности.

Анализ общей точности классификации на уровне отдельных классов выявил существенные различия в производительности моделей машинного обучения на обоих исследуемых объектах.

Общая точность классификации моделью *RF* для обоих объектов находилась в пределах 76–82 %. Каппа Коэна для объекта 1 составила 0,75, для объекта 2 – 0,67, что в первом случае соответствует хорошему уровню согласия, а во втором – умеренному. Для объекта 1 модель *RF* (см. табл. 1) показала удовлетворительные результаты, общая точность распознавания классов «рабочие участки полей», «лес и лесополосы» и «дороги» была существенно выше 80 %, что указывает на способность модели корректно выделять земные поверхности с относительно однородными спектральными и текстурными характеристиками. Однако общая точность классификации класса «застройка» существенно снизилась, что может быть обусловлено высокой внутренней гетерогенностью данного класса и значительной спектральной изменчивостью, слабо моделируемой деревьями решений. При этом класс «водные объекты» был распознан с максимально возможной общей точностью, что связано с их чётко выраженным и стабильным спектральным контрастом, позволяющим даже простым пороговым правилам принимать корректные решения. Для объекта 2 (см. табл. 2) наблюдалось значительное падение обобщающей способности модели *RF*. Наиболее критичное снижение точности отмечено для классов «застройка» и «водные объекты». Низкие значения общей точности этих типов земной поверхности, как правило, легко идентифицируемых, свидетельствуют о недостаточной адаптации модели *RF* к изменчивости условий на объекте 2.

Общая точность классификации с использованием модели *SVM* для обоих объектов была высокой и варьировала в пределах 88–92 %. Каппа Коэна для объекта 1 составила 0,88, для объекта 2 – 0,85, что указывает на высокую устойчивость модели к переобучению. Для объекта 1 (см. табл. 1) модель *SVM* показала высокую и сбалансированную производительность по большинству выделенных классов. Общая точность классификации классов «рабочие участки полей», «лес и лесополосы» составила более 90 %. Наиболее низкие, хотя и остающиеся на высоком уровне, значения общей точности отмечены для классов «дороги» и «застройка», что связано, по-видимому, с гетерогенностью их спектральных характеристик, из-за смешанного покрытия, а также с фрагментарностью и небольшими размерами объектов. Для объекта 2 (см. табл. 2) класс «лес и лесополосы» был определён с максимальной точностью. Для классов «рабочие участки полей», «растительность» и «застройка» точность классификации приближалась к 90 %. Класс «дороги» был распознан с меньшей точностью, а наиболее существенное снижение общей точности отмечено для класса «водные объекты».

Общая точность классификации с использованием модели *MLP* составила 96 % для объекта 1 и 91 % – для объекта 2. Значения Каппа Коэна, равные 0,94 и 0,86 соответственно, показывают высокий уровень согласия между результатами классификации и эталонными классами. Такие показатели указывают на высокую достоверность выделения классов и устойчивость модели к внутрисистемным

вариациям спектральных сигнатур. Модель *MLP* для объекта 1 (см. табл. 1) достигла максимальных значений общей точности классификации классов «рабочие участки полей», «водные объекты» и «застройка», что говорит о её способности эффективно разделять объекты с контрастными спектральными значениями. Удовлетворительная точность классификации получена также для классов «дороги» и «лес и лесополосы». Для объекта 2 (см. табл. 2) модель *MLP* сохранила высокую производительность при классификации классов «рабочие участки полей», «лес и лесополосы», «растительность» и «застройка». Однако точность классификации для класса «водные объекты» существенно снизилась.

На основании результатов классификации изображений дистанционного зондирования с помощью модели *MLP* созданы карты-схемы землепользований ОС «Элитная» (рис. 3) и ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М. (рис. 4), содержащие идентифицированные типы земной поверхности в виде классов пространственных объектов.

Картографирование классов пространственных объектов на исследуемых территориях осуществлено с помощью геоинформационных технологий на основе их классификации (идентификации) с помощью анализа данных, полученных из спутниковых изображений. Модели МО позволяют эффективно обрабатывать большие объемы данных векторной информации космических снимков и способствуют повышению точности классификации.

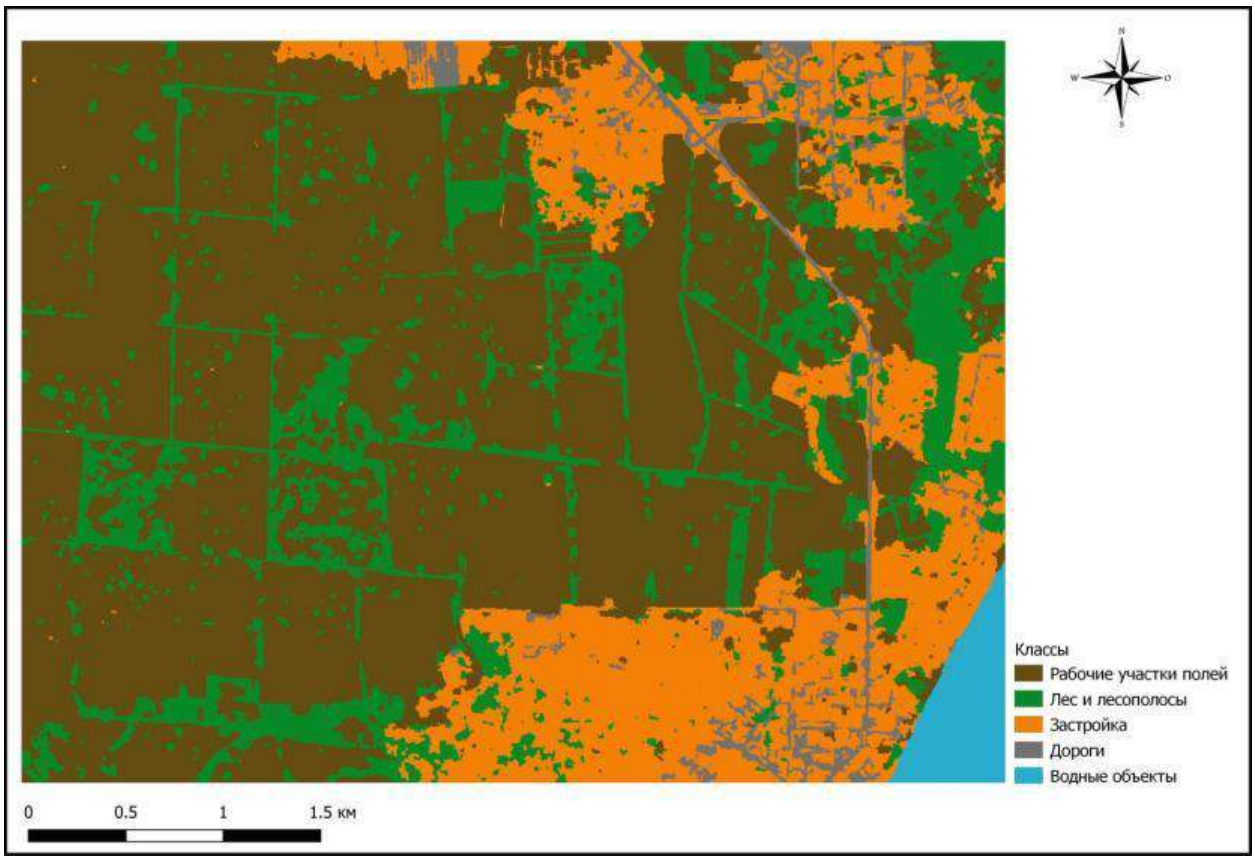


Рис. 3. Карта-схема классификации территории землепользования ОС «Элитная», выполненная с помощью модели *MLP*
Fig. 3. Schematic map showing the classification of the Elitnaya Experimental Station land use territory generated using *MLP* model

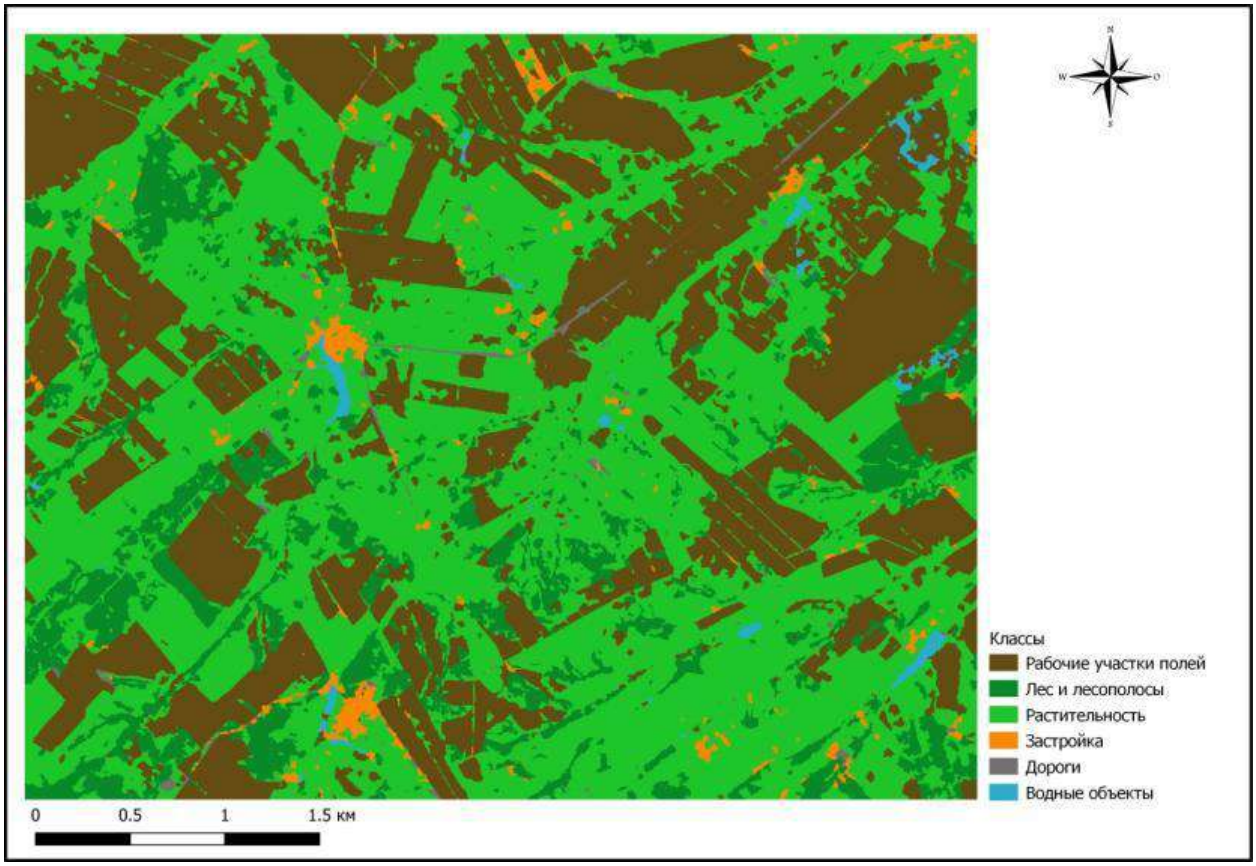


Рис. 4. Карта-схема классификации территории землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М., выполненная с помощью модели *MLP*
Fig. 4. Schematic map showing the classification of the Individual Entrepreneur – Head of Peasant (Farm) Enterprise Kovalev S.M. land use territory generated using *MLP* model

Заключение

Традиционные классификаторы при использовании пиксельного подхода показали неоднородные и, в ряде случаев, неудовлетворительные результаты. Метод максимального правдоподобия продемонстрировал удовлетворительную общую точность и высокую точность для таких контрастных классов, как «водные объекты» и «дороги», однако существенно снизил эффективность при распознавании класса «застройки» на территории землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М., что указывает на его чувствительность к спектральной неоднородности. Метод параллелепипедов оказался недостаточно эффективным, особенно для территории землепользования ОС «Элитная», что обусловлено жёсткими границами в признаковом пространстве и высокой вероятностью ошибок при перекрытии спектральных сигнатур. Метод расстояние Махаланобиса продемонстрировал низкую общую точность для обоих объектов, а также низкие значения Каппа Коэна, что свидетельствует о почти случайной согласованности с эталонными классами. При этом общая точность по отдельным классам, таким как «дороги» и «водные объекты», оставалась высокой, что создаёт ложное впечатление о его эффективности. Для критически важных классов, таких как «застройка» и «рабочие участки полей», общая точность классификации оказалась очень низкой.

Объектно-ориентированный подход, основанный на предварительной сегментации изображения и последующей классификации с использованием моделей машинного обучения, показал значительно более высокую и стабильную производительность. Среди протестированных непараметрических классификаторов наилучшие результаты достигнуты с использованием модели *MLP*, обеспечившей наибольшую общую точность

для обоих объектов, при значениях Каппа Коэна 0,94 и 0,86 соответственно. Модель *SVM* также продемонстрировала высокую устойчивость и общую точность, подтверждая эффективность в условиях многомерных данных. Наименьшую, хотя и приемлемую, точность показала модель *RF*, особенно для территории землепользования ИП ГК(Ф) Х Ковалев С. М.

Проведённое исследование подтверждает, что объектно-ориентированный подход с предварительной сегментацией изображения является наиболее эффективной стратегией классификации многозональных космических снимков.

References

Garafutdinova L.V., Kalichkin V.K., Fedorov D.S. 2024. Object-Oriented Classification of Remote Sensing Earth Images Using Machine. Vestnik University of biotechnologiy, 2: 37–47 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-37-47

Behera D.K., Pujar G.S., Kumar R., Singh S.K. 2025. A Comprehensive Approach Towards Enhancing Land Use Land Cover Classification Through Machine Learning and Object-Based Image Analysis. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 53(3): 731–749. https://doi.org/10.1007/s12524-024-01997-w.

Blaschke T., Hay G. J., Kelly M., Lang S., Hofmann P., … Tiede D. 2014. Geographic Object-Based Image Analysis–Towards a New Paradigm. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 87: 180–191. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014.

Breiman L. 2001 Random forests. Machine learning, 45(1): 5–32.

Chen G., Weng Q., Hay G.J., He Y. 2018. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): Emerging Trends and Future Opportunities. GIScience & Remote Sensing, 55(2): 159–182. https://doi.org/10.1080 / 15481603.2018.1426092.

Cohen J. 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and psychological measurement, 20(1): 37–46.

Ez-zahouani B., Teodoro A., Kharki O.El., Jianhua L., Kotaridis I., … Ma L. 2023. Remote Sensing Imagery Segmentation in Object-Based Analysis: A Review of Methods, Optimization, and Quality Evaluation over the Past 20 Years. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 32: 101031. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101031.

Haykin S. 2009. Neural Networks and Learning Machines. 3rd ed. Pearson Prentice Hall, 906 p.

Hossain M.D., Chen D. 2022. A Hybrid Image Segmentation Method for Building Extraction from High-Resolution RGB Images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 192, 299–314. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.08.024.

Jancevičius J., Kalibatienė D. 2025. Application of Image Recognition Methods to Determine Land Use Classes. Applied Sciences, 15(9): 4765. https://doi.org/10.3390/app15094765

Kucharczyk M., Hay G.J., Ghaffarian S., Hugenholtz C.H. 2020. Geographic Object-Based Image Analysis: a Primer and Future Directions. Remote Sensing, 12(12): 2012. https://doi.org/10.3390/rs12122012.

Lang S., Hay G.J., Baraldi A., Tiede D., Blaschke T. 2019. Geobia Achievements and Spatial Opportunities in the Era of Big Earth Observation Data. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(11): 474. https://doi.org/10.3390/ijgi8110474.

Liu B., Du S., Du S., Zhang X. 2020. Incorporating Deep Features into GEOBIA Paradigm for Remote Sensing Imagery Classification: A Patch-Based Approach. Remote Sensing, 12(18): 3007. https://doi.org/10.3390/rs12183007

Manohar Kumar C., Jha S.S., Nidamanuri R.R., Dadhwal V.K. 2022. Benchmark Studies on Pixel-Level Spectral Unmixing of Multi-Resolution Hyperspectral Imagery. International Journal of Remote Sensing, 43(4): 1451–1484. https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2040755.

Maxwell A.E., Warner T.A., Fang F. 2018. Implementation of Machine-Learning Classification in Remote Sensing: An Applied Review. International journal of remote sensing, 39(9): 2784–2817. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343.

Mehmood M., Shahzad A., Zafar B. Shabbir A., Ali N. 2022. Remote Sensing Image Classification: A Comprehensive Review and Applications. Mathematical problems in engineering, 2022(1): 5880959. https://doi.org/10.1155/2022/5880959.

Ozturk M.Y., Colkesen I. 2024. A Novel Hybrid Methodology Integrating Pixel-And Object-Based Techniques for Mapping Land Use and Land Cover from High-Resolution Satellite Data. International Journal of Remote Sensing, 45(16): 5640–5678. https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2379515.

Richards J.A. 2013. Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 494 p.

Talukdar S., Singha P., Mahato S., Pal S., Liou Y.A., Rahman A. 2020. Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations – A review. Remote sensing, 12(7): 1135. https://doi.org/10.3390/rs12071135.

Vapnik V. 1998. Statistical Learning Theory. New York, Wiley, 736 p.

Wang Q., Ding X., Tong X., Atkinson P. M. 2021. Spatio-Temporal Spectral Unmixing of Time-Series Images. Remote Sensing of Environment, 259: 112407. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112407.

Zafar Z., Zubair M., Zha Y., Fahd S., Nadeem A.A. 2024. Performance Assessment of Machine Learning Algorithms for Mapping of Land Use/Land Cover Using Remote Sensing Data. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 27(2): 216–226. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2024.03.003.

Поступила в редакцию 19.09.2025;
поступила после рецензирования 22.10.2025;
принята к публикации 20.11.2025

Received September 19, 2025;
Revised October 22, 2025;
Accepted November 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 АВТОРАХ

Гарафутдинова Людмила Вячеславовна, младший научный сотрудник сектора геоинформационных систем, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Каличкин Владимир Климентьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории цифровых технологий в земледелии, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Федоров Дмитрий Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории цифровых технологий в земледелии, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila V. Garafutdinova, Junior Researcher of the Geo-Information Systems Sector, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia

Vladimir K. Kalichkin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Digital Technologies in Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia

Dmitry S. Fedorov, Junior Researcher, Laboratory of Digital Technologies in Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia

УДК 528.9:913
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-366-379
EDN UZDBUI

Оценка благоприятности физико-географических факторов для развития поселений на примере Новосибирской области

[1]Дубовик Д.С., [2]Трубина Л.К., [2]Щербинина А.С.
[1]Западно-Сибирское отделение Института леса им. В.Н. Сукачева
Россия, 630082, г. Новосибирск, ул. Жуковского, 100/1
[2]Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Пахотного, 10,
dubovik.nsk@gmail.com trubinalk@rambler.ru volkovaas8@gmail.com

Аннотация. Важную роль в определении потенциала территории для развития населённых пунктов имеет интегральный анализ как природных условий, так и иных факторов. Эффективно это позволяют реализовать инструментальные средства ГИС, что активно используется в научных исследованиях, но единого подхода к комплексной оценке территорий еще не выработано. Целью настоящего исследования является разработка методики комплексной оценки пригодности совокупности физико-географических и экономико-географических факторов для развития населённых пунктов. Выделено три тематических блока: благоприятность климата; удобство рельефа территории; доступность ключевых природных объектов для развития инфраструктуры, предложены подходы к классификации выделенных факторов. Для реализации предложенных подходов применялась геоинформационная система *QGIS*. Их апробация выполнялась на примере анализа набора пространственных данных на территорию Новосибирской области. В результате создан ряд тематических карт, отражающих взаимосвязи отдельных факторов, что позволило получить предварительные результаты по оценке расположения, выявлению благоприятных и негативных факторов для развития населённых пунктов исследуемой территории.

Ключевые слова: региональное развитие, пространственный анализ, геоинформационная система, Новосибирская область, географические факторы

Для цитирования: Дубовик Д.С., Трубина Л.К., Щербинина А.С. 2026. Оценка благоприятности физико-географических факторов для развития поселений на примере Новосибирской области. Региональные геосистемы, 50(2): 366–379. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-366-379 EDN: UZDBUI

Assessment of the Suitability of Physical and Geographical Factors for Settlement Development in the Novosibirsk Region

[1]Dmitry S. Dubovik, [2]Lyudmila K. Trubina, [2]Anna S. Shcherbinina
[1]West Siberian Branch of V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS,
100/1 Zhukovsky St., Novosibirsk 630082, Russia
[2]Siberian State University of Geosystems and Technologies,
10 Pakhotny St., Novosibirsk 630108, Russia
dubovik.nsk@gmail.com trubinalk@rambler.ru volkovaas8@gmail.com

Abstract. An integral analysis of natural conditions and other factors plays an important role in determining the potential of a territory for the development of settlements. Although GIS tools can effectively implement this analysis, which is actively used in scientific research, no unified approach to a comprehensive assessment of territories has been developed so far. The study is aimed at creating a methodology for a comprehensive assessment of the suitability of a set of physical, geographical, and

© Дубовик Д.С., Трубина Л.К., Щербинина А.С., 2026

economic factors for the development of settlements. Three thematic blocks have been identified: favorable climate, convenience of the territory's topography, and accessibility of key natural objects for infrastructure development. Approaches to the classification of these factors have been proposed. The authors used QGIS to implement the proposed approaches. The latter were tested by analyzing a set of spatial data for the Novosibirsk region. As a result, a number of thematic maps were created that reflect the interconnections of individual factors, which allowed for preliminary assessments of the location and identification of favorable and negative factors for the development of settlements in the study area.

Keywords: regional development, spatial analysis, geoinformation system, Novosibirsk Region, geographic factors

For citation: Dubovik D.S., Trubina L.K., Shcherbinina A.S. 2026. Assessment of the Suitability of Physical and Geographical Factors for Settlement Development in the Novosibirsk Region. Regional Geosystems, 50(1): 366–379 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-366-379 EDN: UZDBUI

Введение

В XIX – начале XX века, а также в Советский период население Сибири, в том числе нынешней Новосибирской области (НСО), активно пополнялось за счёт как добровольных переселенцев, так и ссыльнопоселенцев [Колесников, 1975]. Значительный вклад внесли и строительство Транссибирской железнодорожной магистрали, и Столыпинская реформа, и Великая Отечественная война, что отмечается во многих литературных источниках об истории этого периода [Пахомчик, Фракин, 2009; Белянин, 2012; Исупов, 2017]. Однако стоянки первых поселенцев на территории области появились 10–14,5 тыс. лет назад, и были расположены не только вдоль реки Обь, но и на других пригодных для жизни и ведения хозяйства территориях [Порхунов и др., 2011; Чуркин, 2012].

Очевидно, что совокупность природных условий является той базой, которая определяет потенциал для развития поселения на той или иной территории. При этом, с точки зрения управления территорией, если в основу положить концепцию устойчивого развития [Исаченко, 1991; Цвиль, 2024], необходимо иметь некоторую интегральную оценку достаточности/оптимальности тех или иных условий, благоприятности тех или иных факторов, а в идеале – также и ёмкости тех или иных ресурсов.

В первом приближении таким отображением является ландшафтная карта территории, на которой интегрированы сведения о климате, рельефе, растительном и, соответственно, почвенном покрове. Безусловно, если установить какое-либо соответствие между типами ландшафтов и их пригодностью для развития поселения, народного хозяйства, уже можно получить определённое представление о пригодности, потенциале развития тех или иных территориальных единиц [Исаченко, 1991]. С другой стороны, ландшафтная карта, во-первых, отображает только физико-географические условия; во-вторых (что более важно), принцип объединения, интеграции служит самоцелью классификации этих самых ландшафтов, а не развитию на них поселений [Бакланов, 2019].

Противоположную, более гибкую и наполненную содержанием картину можно получить на основе изучения серии покомпонентных физико-географических и экономико-географических карт, однако анализ такого набора карт представляется весьма затруднительным для комплексного изучения [Радченко и др., 2023].

Цель настоящего исследования состоит в разработке методики комплексной оценки влияния физико-географических и экономико-географических факторов на развитие населённых пунктов.

Идея состоит в том, чтобы составить серию картограмм, отображающую отдельные тематически связанные совокупности компонентов геосистем с точки зрения их

благоприятности для развития поселения. Созданная в процессе этого геоинформационная система должна сохранять весь набор составляющих показателей.

Такая ГИС позволит комплексно оценить потенциал территорий для развития населённых пунктов, оценить соответствие развития населённых пунктов этому потенциалу, а также выявить сильные и слабые стороны, требующие внимания при управлении территорией. Вести поиск с одной стороны наиболее перспективных локаций, а с другой стороны – строить суждения о целесообразности вложений и направлении улучшения условий в тех или иных территориальных единицах.

Открытым при любом подходе останется вопрос субъективности выбора факторов, их интеграции, ранжирования и вклада [Мядзелец, 2016; Черкашин, 2021]. Следовательно, субъективность сохранится в любом случае и в оценке в целом. Судить о мере данной субъективности можно будет исходя из таких критериев, как сравнение фактически существующих населённых пунктов с полученными расчётами для этих территорий, а также с учётом сравнения анализируемых поселений с аналогичными, расположенными в схожих физико-географических условиях [Леонова, 2022].

Вопросами интегральной оценки природных условий для развития населения, хозяйства, населённых пунктов занимаются многие исследователи [Карпик и др., 2021; Мусихин и др., 2023; Тараненко Л.С., Тараненко С.В., 2023; Мусихин, 2024].

Объекты и методы исследования

Для оценки природных условий области использовалась следующая пространственная информация. Сведения о климате территории получены из архива данных Федерального государственного бюджетного учреждения «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – в данной работе использованы данные о среднемесячных температурах воздуха и осадках за период с 2011 по 2020 годы включительно по метеорологическим постам Новосибирской области и сопредельных регионов. На их основе рассчитаны средние за этот период времени показатели гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) и сумм активных температур выше 10 °С.

Сведения о рельефе территории вычислялись по модели рельефа *SRTM* с подробностью 1 угловая секунда (около 30 м в плане), полученной из архива геологической службы США (earthexplorer.usgs.gov, дата съёмки 11.02.2000), были рассчитаны уклоны и показатель неоднородности (пересечённости) рельефа.

Сведения об основных ландшафтных и антропогенных объектах в виде векторных слоев дорог, лесов, болот, водных и других объектов на территорию области сформированы на кафедре экологии и природопользования СГУГиТ путем векторизации топографических карт.

Обработка исходной пространственной информации выполнялась средствами геоинформационной системы *QGIS*. Далее был создан векторный слой с регулярной сетью гексагональных полигонов, покрывающих всю территорию (рис. 1). Ширина шестиугольника между его параллельными сторонами составляет 10 км, а площадь около 8,66 тыс. га.

Мы считаем, что выбранная нами площадная единица в форме шестиугольника, является компактной, удачной, чем простая квадратная сетка для оценки взаимного расположения объектов в её пределах и относительно их удалённости от цента фигуры. Кроме того, такое деление плоскости лучше воспринимается визуально. Размерность полигона выбрана эмпирически, исходя из размерности населённых пунктов, а также доступности ресурсов при их различной удалённости.

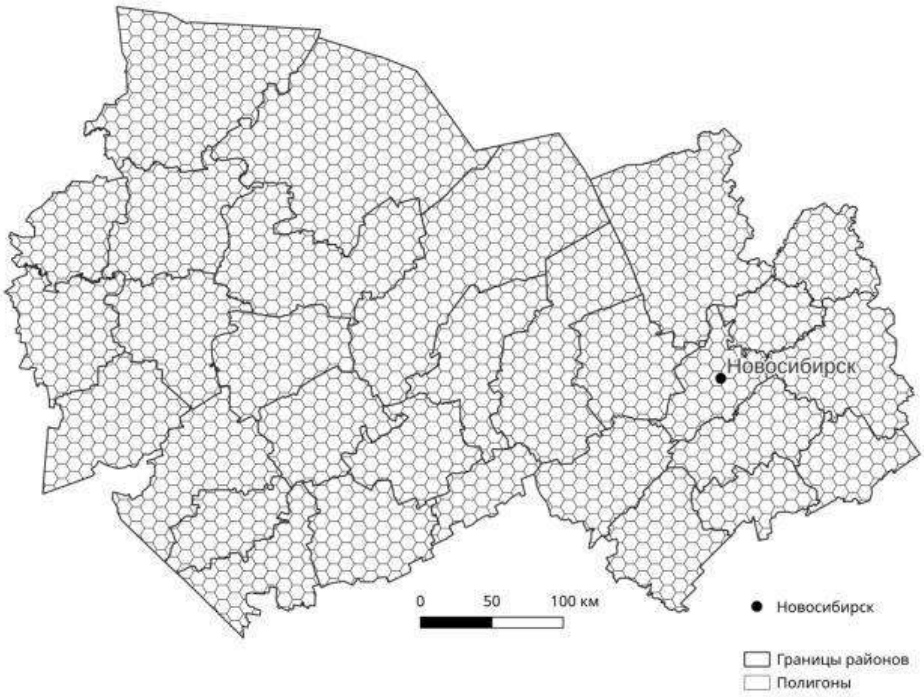


Рис. 1. Векторный слой гексагональных полигонов на территорию НСО
Fig. 1. Vector layer of hexagonal polygons for the Novosibirsk Region

Каждому полигону присвоено значение его условного положения относительно других по принципу столбца и строки. Для площадных векторных объектов карты, пересекающихся с полигонами, последним были присвоены атрибутивные значения, отражающие доли площадей соответствующих объектов в их пределах (процент территории, занятый лесами, болотами, солончаками и др.). Для точечных и линейных объектов, пересекающихся или находящихся в пределах соответствующего полигона, в него скопированы значения характерные для этих слоёв значения атрибутов (названия населённых пунктов, объектов гидрографии, типы дорог и др.).

По моделям рельефа и их производным, а также по матрицам климатических параметров для каждого полигона получена зональная статистика, включающая средние значения и стандартное отклонение соответствующего параметра.

С целью оценки благоприятности территории для развития населённых пунктов выделено три тематических блока: благоприятность климата; удобство рельефа территории; доступность ключевых природных объектов для развития инфраструктуры. Подходы к классификации тех или иных факторов представлены далее.

При оценке благоприятности климата учитывалось соотношение тепла и влаги, поскольку количество поступающего тепла уже определяют зональный тип экосистем, а соответственно и почвы [Докучаев, 1948; Григорьев, Будыко, 1956]. Распределение растительности и потенциал для использования в тех или иных сельскохозяйственных целях далее определяются региональными и локальными факторами, связанными в основном с рельефом территории. Причём на локальном уровне эти условия могут частично нивелироваться человеком (мелиорация, ландшафтные работы). Поэтому с точки зрения благоприятности климата для анализа приняты два показателя – гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) [Селянинов, 1928], и сумма активных температур выше 10 °С. Оба показателя рассчитаны исходя из средних за период с 2011 по 2020 годы включительно среднемесячных данных о температуре и осадках.

Период в 10 лет был выбран с учётом алгоритма расчёта благоприятности условий, как компромисс между отсечением кратковременных (всего на несколько сезонов) колебаний и чрезмерным сглаживанием в сторону оптимальных условий при использовании более длительных интервалов.

Применительно к территории Новосибирской области самыми благоприятными условиями приняты территории с оптимальным соотношением тепла и влаги (ГТК в пределах оцениваемого периода времени стремится к 1) и максимальными значениями сумм активных температур, которые соответствуют лесостепной зоне. Далее, по мере отклонения от оптимума в обоих направлениях присвоены значения, соответствующие менее благоприятным условиям.

По данному показателю, также как и по другим, для удобства было решено присвоить оптимальным условиям «0» баллов, а при отклонении от оптимума на каждую ступень увеличивать значение на 1 (табл. 1, рис. 2). Присвоение баллов по принципу строгого удовлетворения обоим условиям (и то, и то; иначе…).

Таблица 1
Table 1

Классификация благоприятности климатических условий
Classification of favorable climatic conditions

Показатели и их значения		
ГТК Селянинова	Сумма температур >10 °С	Балл
0,9–1,1	Выше 2000	0
0,8–1,2	Выше 1700	1
0,7–1,3	Выше 1000	2
За пределами вышеуказанных диапазонов		3

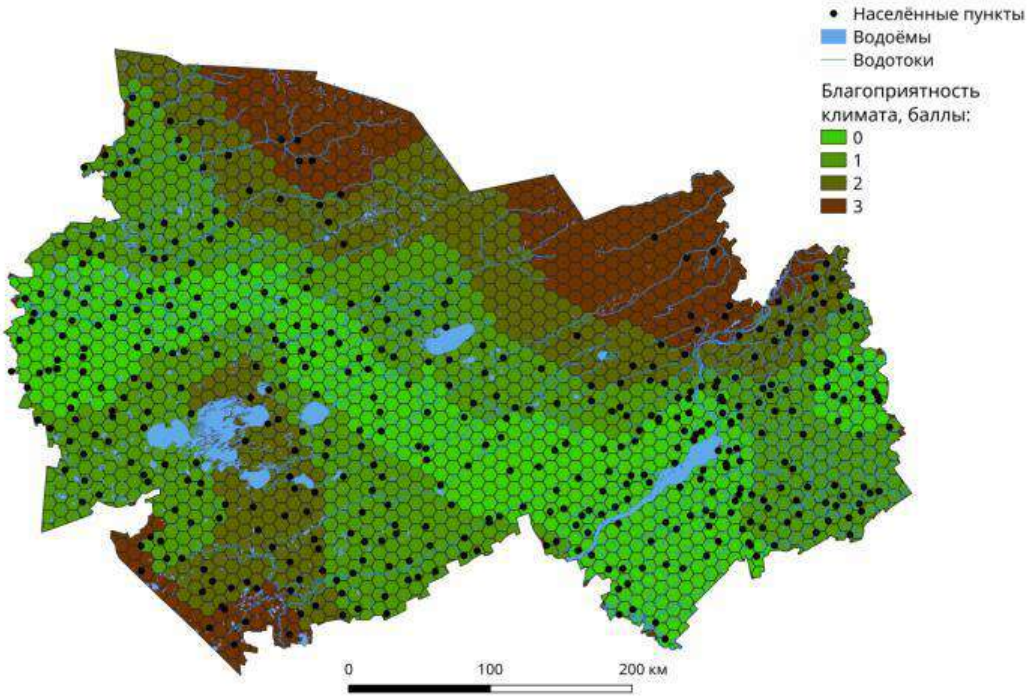


Рис. 2. Результат классификации благоприятности климатических условий НСО. Чёрными точечными объектами показаны наиболее крупные населённые пункты области
Fig. 2. Results of the classification of the Novosibirsk Region climate conditions in terms of favorability The black dots represent the largest settlements in the region

По получившейся оценке, наиболее благоприятные по климатическим условиям территории расположены в юго-восточной части и в центральной полосе области. Логично, что при движении от центральной части на юго-восток, по мере приближения к Салаиру происходит увеличение увлажнения при хорошей обеспеченности теплом. При этом подавляющая часть населённых пунктов расположена в пределах полигонов со значением 0 и 1 балл.

При оценке рельефа в качестве показателей, характеризующих благоприятность и удобство рельефа территорий, было решено использовать два производных от абсолютной высоты местности показателя, а именно стандартное отклонение высот в пределах полигона, а также средний уклон местности. При этом ранжирование осуществлялось с учётом существующей схемы расселения, исходя из следующих соображений (рис. 3, табл. 2, 3).

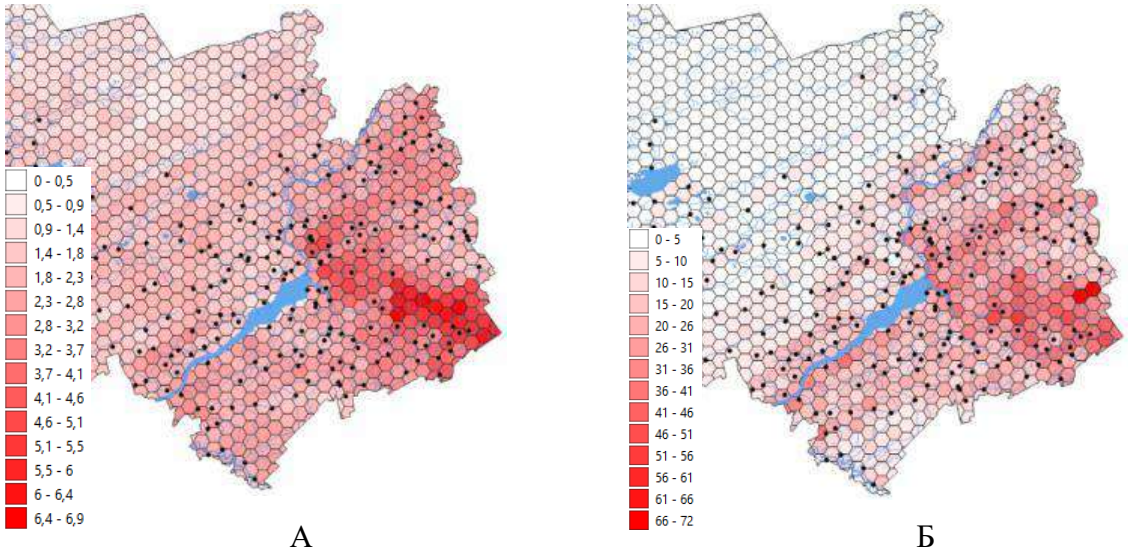


Рис.3. Среднее значение уклона (А) и значение стандартного отклонения абсолютной высоты (Б) в пределах шестиугольных полигонов в юго-восточной части НСО
Fig. 3. Standard deviation of average slope (А) and absolute height (Б) within the hexagonal polygons in the southeastern part of the Novosibirsk Region

Таблица 2
Table 2

Распределение крупных населённых пунктов НСО в зависимости от неоднородности рельефа
Distribution of large settlements in the Novosibirsk Region depending on the heterogeneity of the terrain

Показатели			
Ст. отклонение высоты, м	Количество населённых пунктов	Количество полигонов (всего в данной категории)	Процент полигонов с населёнными пунктами
0–5	12	461	2,6
5–10	239	1252	19,1
10–15	45	165	27,3
15–20	40	107	37,4
20–26	40	111	36,0
26–31	18	64	28,1
31–36	22	47	46,8
36–41	3	23	13.0
41–46	11	23	47,8
46–51	1	5	20,0
51–56	–	1	0
61–66	–	1	0
66–72	–	2	0

Таблица 3
Table 3

Распределение крупных населённых пунктов НСО в зависимости от среднего уклона рельефа
Distribution of large settlements in the Novosibirsk Region, depending on the average slope of the terrain

Уклон, градусы	Количество полигонов	Количество населённых пунктов	Процент полигонов с населёнными пунктами
0,0–0,5	16	–	0,0
0,5–0,9	64	2	3,1
0,9–1,4	592	58	9,8
1,4–1,8	951	205	21,6
1,8–2,3	366	89	24,3
2,3–2,8	129	38	29,5
2,8–3,2	59	18	30,5
3,2–3,7	29	8	27,6
3,7–4,1	21	7	33,3
4,1–4,6	13	3	23,1
4,6–5,1	9	3	33,3
5,5–6,0	8	–	0,0
6,0–6,4	3	–	0,0
6,4–6,9	2	–	0,0

Следует отметить, что при достижении, в пределах построенных полигонов, неровностей рельефа, соответствующих значениям стандартного отклонения по высоте выше 35 м, а средним уклоном выше 4 °, на этих территориях встречаются лишь единичные населённые пункты. Эти условия будем считать специфическими, где развитие населённых пунктов возможно, но ограничено сложным рельефом.

При этом на равнинных территориях населённые пункты, наоборот, плотнее сосредоточены в пределах менее однородных по рельефу условий. Логично, что степень автоморфности экосистем и соответственно условия для строительства и сельского хозяйства гораздо выше на таких территориях.

В связи с тем, что доля «условно горных» территорий в НСО совсем небольшая, а к неровностям рельефа приурочены не только полезные ископаемые, но зачастую также и водотоки, и плодородные участки почв на выгодных экспозициях, то судить о пригодности условий исходя из процентного соотношения полигонов, в которых есть населённые пункты нельзя без учёта этого обстоятельства.

При интерпретации этих показателей, особенно уклона местности нужно учитывать, что размерность ячейки исходной модели рельефа (около 30 м), а также размерность самого полигона (10 км между параллельными сторонами). То есть средний уклон на всей территории в 5 ° означает, что примерно половина площади (в пределах 87 км^2) имеет уклоны выше этого значения и, соответственно, непригодна под пашню, при этом вторая половина может быть распределена таким образом, что фактически будет недоступна для обработки, а может быть и наоборот, находится в пределах оптимальных условий.

Анализ таблиц позволяет сделать вывод, что с точки зрения разнородности рельефа наиболее благоприятные участки имеют стандартное отклонение абсолютных высот в пределах от 10 до 20 м и средние уклоны в пределах 1,5–3 °. При этом на территориях с практически плоским рельефом, с уклонами менее 1 ° и перепадами высот менее 5 м населённых пунктов значительно меньше, чем в пересечённой местности.

Ранжирование благоприятности геоморфологических условий представлено в табл. 4 и на рис. 4.

Таблица 4
Table 4

Классификация геоморфологических условий
Classification of geomorphological conditions

Показатели и их значения		Балл
Стандартное отклонение высоты, м	Средний уклон, °	
От 7,5 до 20 включительно	От 1,25 до 3 включительно	0
От 7,5 до 30 включительно	От 1,25 до 4 включительно	1
Менее 35 включительно	От 1,25 до 4,5 включительно	2
Менее 45 включительно	От 0,75 до 5,5 включительно	3
За пределами вышеуказанных диапазонов		4

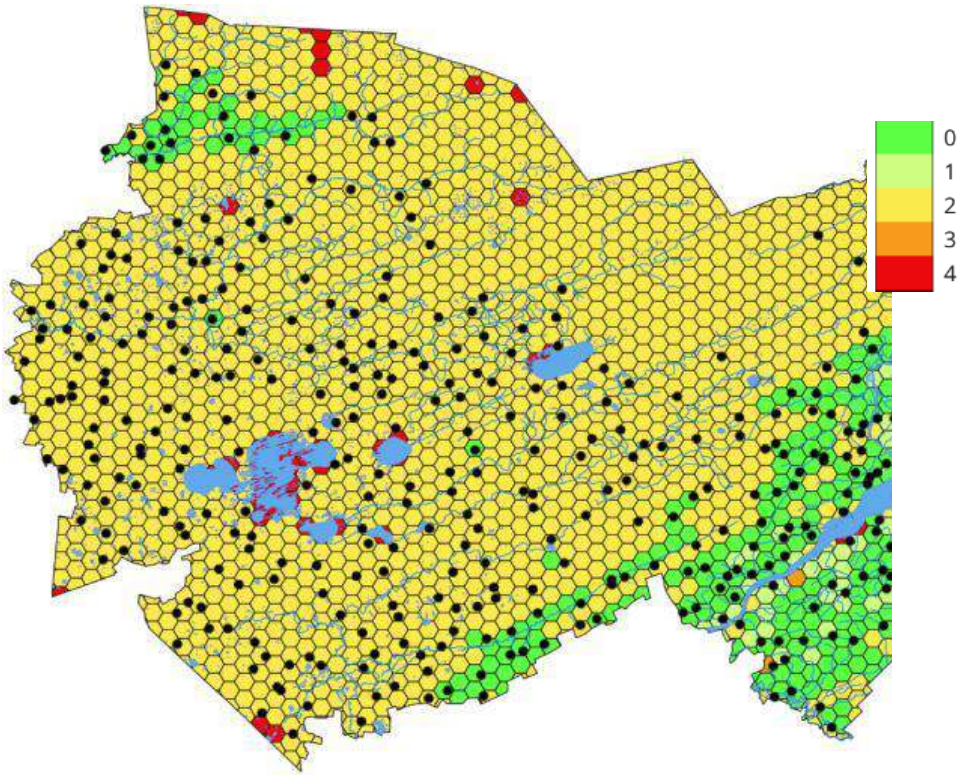


Рис. 4. Результат классификации благоприятности геоморфологических условий НСО
Fig.4. Results of the classification of the Novosibirsk Region's favorable geomorphological conditions

Аналогично предыдущему показателю, балы присваиваются по принципу удовлетворения обоих условий (и то, и то; иначе проверка на менее требовательный вариант).

Существующая схема расселения весьма хорошо вписывается в предложенную классификацию.

При сопоставлении полученных картограмм с векторными слоями водных объектов, болот и солончаков выявляется хорошее соответствие их положения в пределах территорий с низкими значениями уклонов и «неоднородности» рельефа. Данные объекты при этом были учтены при расчёте следующего показателя.

Под благоприятностью ландшафтных и инфраструктурных условий будем понимать наличие свободной территории, не занятой водными объектами, болотами и солончаками для развития населённого пункта и сельскохозяйственного производства, а также наличие лесов, водных объектов и дорожной сети.

Полигонам, в пределах которых площадь, занятая болотами, солончаками и водными объектами в сумме больше 60 % присвоено значение 5 баллов в данной классификации (условно недоступные). При наличии свободной территории в пределах полигона, но при отсутствии существующей дорожной сети, водоёмов и лесов присвоено 4 балла. При наличии свободной территории и объектов из всех перечисленных категорий территория считается наиболее благоприятной – 0 баллов (табл. 5, рис. 5).

Таблица 5
Table 5

Доступность природных и инфраструктурных объектов
Accessibility of natural and infrastructural facilities

Баллы	Наличие в пределах полигона объектов			
	Пресные озёра или реки	Леса	Асфальтированные дороги	Железная дорога
0	+	+	+	+
1	+	+	+	–
2	+	*+ {есть хоть один из всех}*		
3	*+ {есть хоть один из всех}*			
4	*– {нет ни одного}*			
5	60 % площади занято болотами, солончаками и водными объектами			

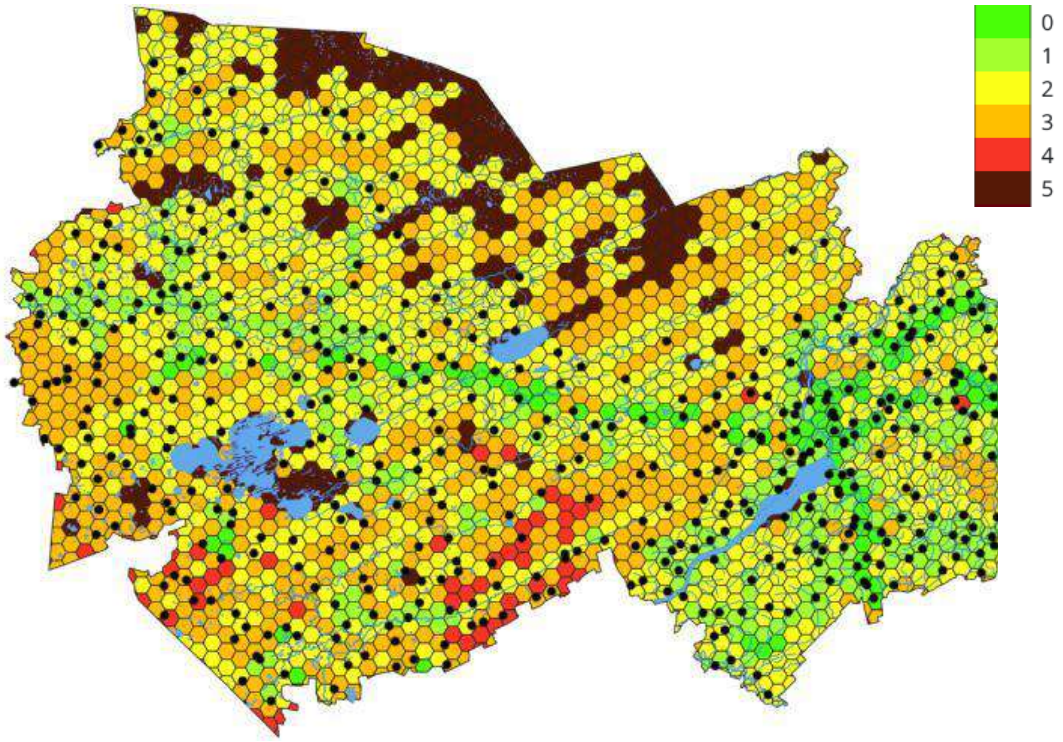


Рис. 5. Доступность лесов, водных объектов, дорожной сети, а также наличие территорий, не занятых солончаками болотами и водными объектами
Fig. 5. Availability of forests, water bodies, and a road network, as well as presence of areas that are not occupied by salt marshes, swamps, or water bodies

В данной работе, как уже говорилось, это самый наименее проработанный показатель, вызывает сомнение подробность и актуальность использованного картографического материала, отсутствие сведений о полезных ископаемых и фактических данных о почвенном покрове, нарушенности территорий и др.

Тем не менее, полученная картина соответствует действительности. Хорошо обозначены значение транссибирской магистрали, основных федеральных дорог и сети водных объектов в пределах области.

Результаты и их обсуждение

Результирующая картограмма была получена путём суммирования значений в баллах трёх полученных показателей, при этом территории полигонов, для которых были присвоены значения благоприятности рельефа, соответствующее 4 баллам (сильнопересечённый) и значения благоприятности ландшафтных условий в 5 баллов (занятые болотами, солончаками и водными объектами), на итоговой картограмме отображены как условно непригодные (нет заливки), а значение соответствующего атрибута присвоено как «–1» (рис. 6).

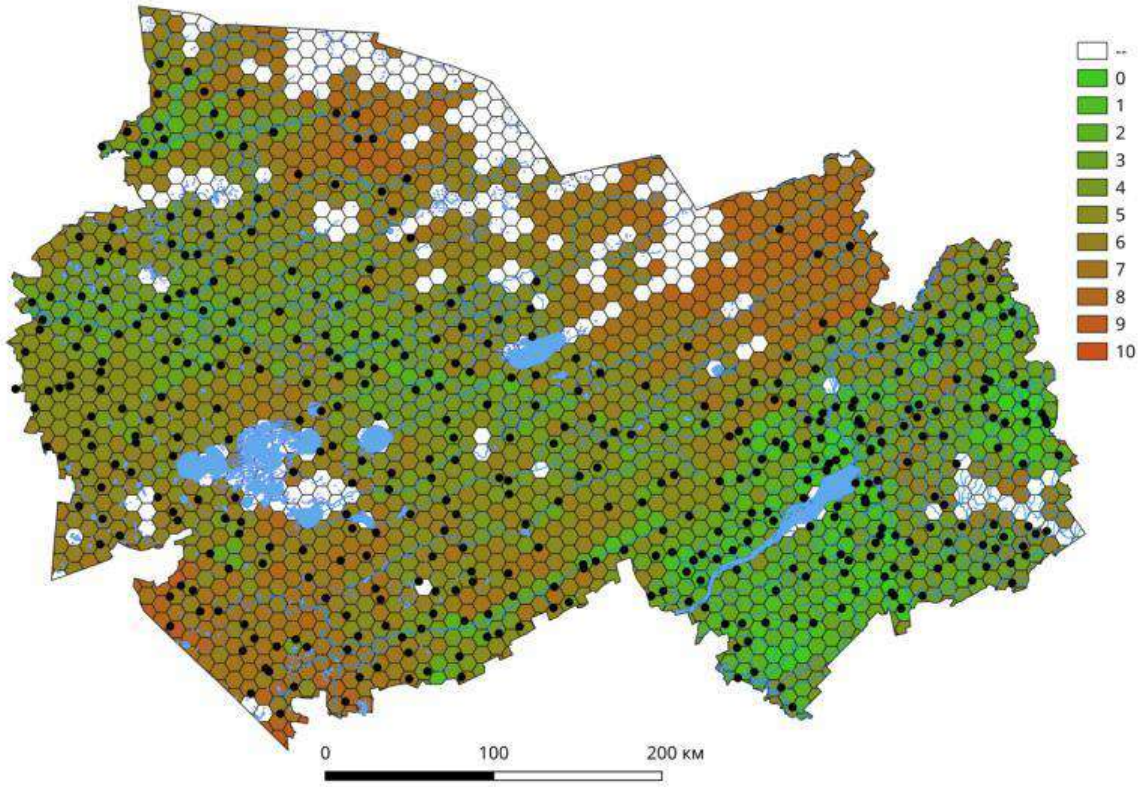


Рис. 6. Картограмма благоприятности физико-географических факторов для развития населённых пунктов НСО
Fig. 6. Map of the physical and geographical factors favorable for the development of settlements in the Novosibirsk Region

Наиболее благоприятные территории для развития населения и хозяйства расположены в восточной, преимущественно юго-восточной части области, а также сравнительно узкой полосой вдоль транссибирской магистрали, по линии межу городами Омском и Новосибирском.

Таблица 6
Table 6

Итоговые показатели распределения административных центров
и площади территории области по благоприятности условий градообразования
Final indicators of the distribution of the region's administrative centers and total area
by favorability of the urban development conditions

Значение показателя, баллы	Суммарная площадь территории, га	Доля от общей площади области, %	Доля полигонов, содержащих населённые пункты, %
0	152 145,6	0,8	94,4
1	602 576,3	3,4	85,7
2	1 008 494,4	5,6	81,7
3	1 726 037,4	9,6	84,9
4	2 352 795,6	13,1	80,9
5	3 917 564,9	21,8	69,0
6	3 102 123,6	17,3	48,9
7	2 361 593,8	13,2	42,9
8	673 146,0	3,8	19,2
9	45 197,5	0,3	12,8
10	197,9	0,0	0,0
–1*	2 004 314,4	11,2	16,0
Итого	17 946 187,3	100,0	57,0

Последний показатель косвенно иллюстрирует адекватность полученной оценки. Хорошо заметно убывание доли полигонов, которые содержат хоть один населённый пункт по мере ухудшения условий градообразования. При этом в пределах территорий, которые были выбраны как условно непригодные (11,2 % от всей площади области) 16 % полигонов содержат населённые пункты. В основном это селения на берегу Обского водохранилища и крупных озёр, попавшие в данную категорию исходя из критерия > 60 % площади занято водными объектами, болотами и солончаками. Исходя из того, что прибрежное положение является, наоборот, выгодным, очевидно, что принцип отнесения к данной категории будет существенно доработан в дальнейшем.

Созданный векторный слой, на основе которого построена картограмма содержит в себе все исходные данные, используемые для расчёта и покомпонентные показатели, соответственно для любого полигона стандартными средствами ГИС можно получить подробную характеристику территории.

Заключение

Таким образом, обобщая результаты проведенного исследования, можно отметить, что предложенная и апробированная методика комплексной оценки пригодности совокупности физико-географических факторов на развитие населённых пунктов показала ее жизнеспособность.

Систематизированный набор пространственных данных на территорию Новосибирской области, а также созданные на основе его анализа тематические карты средствами геоинформационных технологий позволили получить предварительные результаты по оценке расположения, выявлению благоприятных и негативных факторов для развития населённых пунктов, а также выбор потенциальных территорий для дальнейшего развития области.

Исследования будут продолжены в направлении уточнения и расширения содержания набора пространственных данных, а также совершенствования алгоритмов их систематизации и извлечения информации.

Список литературы

Белянин Д.Н. 2012. Столыпинская аграрная реформа в Сибири. Вестник Томского Государственного Университета. История, 1(17): 14–18.

Бакланов П. Я. 2019.Пространственные структуры природопользования в региональном развитии. География и природные ресурсы, 1: 5–13. https://doi.org/10.21782/gipr0206-1619

Докучаев В.В. 1948. Учение о зонах природы. М., Географгиз, 64 с.

Григорьев А.А., Будыко М.И. 1956. О периодическом законе географической зональности. Доклады АН СССР, 110(1): 129–132.

Исупов В.А. 2017. Демографическая история Западной Сибири (конец XIX – XX вв.). Новосибирск, Апостроф, 238 с.

Исаченко А.Г. 1991. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., Высшая школа, 366 с.

Колесников А.Д.1975. Ссылка и заселение Сибири. Сборник Ссылка и каторга в Сибири (XVIII–начало XX в.). Новосибирск, 12 с.

Карпик А.П., Мусихин И.А., Ветошкин Д.Н. 2021. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития. Вестник СГУГиТ, 26(2): 155–163. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163.

Леонова К.С. 2022. Формирование и реализация концепции устойчивого развития в Российской Федерации. Россия и современный мир. ИНИОН РАН, 1(114): 224–241. https://doi.org/10.31249/rsm/2022.01.13

Мусихин И.А., Опритова О.А., Тараненко С.В. 2023. Технология сценарного анализа территории: планирование экономического развития региона (на примере Новосибирской области). Геодезия и картография, 11: 18–30. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1001-11-18-30.

Мусихин И.А. 2024. Создание инструмента пространственного анализа для расчета сценарного индекса качества городской среды и оценки динамики его изменения. Вестник СГУГиТ, 29(5): 125–136. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2024-29-5-125-136.

Мядзелец А.В. 2016. Геоинформационное моделирование на основе анализа пространственно-временных закономерностей формирования территориальной организации на примере регионов Сибири. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 22(2): 80–88.

Пахомчик С.А., Фракин Р.В. 2009. Хозяйственное освоение Сибири в период Столыпинской реформы начала XX в. Вестник Томского Государственного Университета. История, 4: 31–36.

Порхунов Г.А., Воложанина Е.Е., Воложанин К.Ю. 2011. История Сибири. М., Флинта, 294 с.

Радченко Л.К., Борзенко И.М., Верова М.К. 2023 Картографирование динамики освоения Новосибирской области. Интерэкспо Гео-Сибирь, 1(2): 181–186. https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-1-2-181-186.

Селянинов Г.Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии, 20: 165–177.

Тараненко Л.С., Тараненко С.В. 2023. Разработка модуля для комплексной оценки сценариев социально-экономического и пространственного развития территорий. Интерэкспо Гео-Сибирь, 7(2): 75–81.

Цвиль М.П. 2024. Устойчивое развитие: определение, история развития, цели. Universum: экономика и юриспруденция. Электронный научный журнал, 8(118).

Черкашин А.К. 2021 Особенности географического мета-анализа. Географический вестник, 2(57): 6–21. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-6-21.

Чуркин М.К. 2012. Переселенческое движение в Западную Сибирь в оценках и решениях Российского правительства (1861–1905 гг.). Мир науки, культуры, образования, 4 (35): 261–266.

References

Belyanin D.N. 2012 Stolypin's Agrarian Reform in Siberia. Bulletin of Tomsk State University. History, 1(17): 14–18 (in Russian).

Baklanov P.Ya. 2019. Spatial Structures of Nature Management in Regional Development. Geography and Natural Resources, 1: 5–12(in Russian). https://doi.org/10.21782/gipr0206-1619

Dokuchaev V.V. 1948. Ucheniye o zonakh prirody [The Doctrine of Natural Zones]. Moscow, Pabl. Geografgiz, 64 p.

Grigoriev A.A., Budyko M.I. 1956. O periodicheskom zakone geograficheskoy zonalnosti [On the Periodic Law of Geographical Zonality]. Doklady AN SSSR, 110(1): 129–132.

Isupov V.A. 2017. Demographic History of Western Siberia (Late 19th – 20th Centuries). Novosibirsk, Pabl. Apostrof, 238 p. (in Russian).

Isachenko A.G. 1991. Landshaftovedeniye i fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye [Landscape Science and Physical and Geographical Zoning]. Moscow, Pabl. Vysshaya shkola, 366 p.

Kolesnikov A.D. 1975. Ssylka i zaseleniye Sibiri [The Exile and the Settlement of Siberia]. Sbornik Ssylka i katorga v Sibiri (XVIII–nachalo XX v.). Novosibirsk, 12 p.

Karpik A.P., Musikhin I.A., Vetoshkin D.N. 2021. Intelligent Information Models of Territories as an Effective Tool for Spatial and Economic Development. Vestnik SSUGT, 26(2): 155–163 (in Russian). https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163.

Leonova K.S. 2022. Formation and Implementation of the Concept of Sustainable Development in the Russian Federation. Russia and the Modern World. INION RAS, 1(114): 224–241 (in Russian). https://doi.org/10.31249/rsm/2022.01.13

Mushikhin I.A., Opritova O.A., Taranenko S.V. 2023. Scenario Analysis Technology for Territory Planning: Economic Development of the Region (Based on the Novosibirsk Region). Geodesy and Cartography, 11: 18–30 (in Russian). https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1001-11-18-30.

Musikhin I.A. 2024. Creating a Spatial Analysis Tool for Calculating the Scenario Urban Environment Quality Index and Assessing Its Dynamics. Vestnik SSUGT, 29(5): 125–136 (in Russian). https:// doi.org /10.33764/2411-1759-2024-29-5-125-136.

Myadzelets A.V. 2016. Geoinformation Mapping Based on the Analysis of Spatial-Temporal Regularities of Territorial Organization Forming for the Case of Siberian Regions. InterCarto.InterGis, 22(2*):* 80–88 (in Russian).

Pakhomchik S.A., Frakin R.V. 2009. Economic Development of Siberia during the Stolypin Reforms of the Early 20th Century. Bulletin of Tomsk State University. History, 4: 31–36 (in Russian).

Porkhunov G.A., Volozhannina E.E., Volozhannin K.Yu. 2011. History of Siberia. Moscow, Pabl. Flinta, 294 p. (in Russian).

Radchenko L.K. Borzenko I.M., Verova M.K. 2023. Mapping the Dynamics of the Development of the Novosibirsk region. Interexpo GEO-Siberia, 1(2): 181–186 (in Russian). https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-1-2-181-186.

Selyaninov G.T. 1928. O selskokhozyaystvennoy otsenke klimata [On the Agricultural Assessment of the Climate]. Trudy po selskokhozyaystvennoy meteorologii, 20: 165–177.

Taranenko L.S., Taranenko S.V. 2023. Development of a Module for a Comprehensive Assessment of Scenarios for Socio-Economic and Spatial Development of Territories. Interexpo Geo-Siberia, 7(2): 75–81 (in Russian).

Tsvil M.P. 2024. Sustainable Development: Definition, History of Development, and Goals. Universum: Economics and Law. Electronic Scientific Journal, 8(118) (in Russian).

Cherkashin A.K. 2021 Geographical Meta-Analysis and Its Features. Geographical bulletin, 2(57): 6–21 (in Russian). https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-6-21.

Churkin M.K. 2012. The Migration Movement to Western Siberia in the Assessments and Decisions of the Russian Government (1861–1905). World of Science, Culture, and Education, 4 (35): 261–266 (in Russian).

Поступила в редакцию 08.10.2025;
поступила после рецензирования 25.11.2025;
принята к публикации 24.12.2025

Received October 08, 2025;
Revised November 25, 2025;
Accepted December 24, 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

Дубовик Дмитрий Сергеевич, кандидат географических наук, директор Западно-Сибирского отделения Института леса им. В.Н. Сукачева, г. Новосибирск, Россия

Трубина Людмила Константиновна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экологии и природопользования, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г Новосибирск, Россия

Щербинина Анна Сергеевна, магистрант кафедры экологии и природопользования, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry S. Dubovik, Candidate of Geographical Sciences, Director of the West Siberian Branch of V.N. Sukachev Institute of Forest, Novosibirsk, Russia

Lyudmila K. Trubina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

Anna S. Shcherbinina, Master's student of the Department of Ecology and Environmental Management, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

УДК 504.3:528.9:911.52
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-380-392
EDN VBZNUV

Матрица переходов геосистем как инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО – Югры

Лебедев Э.А.
Югорский государственный университет
Россия, 628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
eduard_lebedev1999@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение матрицы переходов геосистем как инструмента геоэкологической интерпретации пространственной трансформации территории на региональном уровне. Актуальность исследования обусловлена необходимостью сопряжения количественной оценки изменения углеродного баланса с анализом пространственной структуры геосистем, которые в существующих подходах, как правило, рассматриваются раздельно. На основе геоинформационно-картографической обработки разновременных данных (2000 и 2015 гг.) для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО – Югра) сформирована матрица переходов, отражающая направления трансформации бореальных лесных равнинных, болотных равнинных, луговых пойменных и водных геосистем, а также техногенно нарушенных участков. Выполнен количественный анализ переходов с определением их долевого участия и пространственной локализации. Установлено, что доминирующими являются переходы бореальных лесных равнинных геосистем в болотные равнинные и водные геосистемы, а также формирование техногенно нарушенных территорий в пределах зон интенсивного промышленного освоения. Данные процессы обусловлены изменением гидрологического режима, вызванным развитием линейно-очаговой инфраструктуры нефтегазового комплекса. Строительство дорог, трубопроводов и насыпей нарушает естественный дренаж и перераспределяет поверхностный и грунтовый сток, что в условиях плоско-равнинного рельефа приводит к вторичному заболачиванию, подтоплению лесных массивов и образованию устойчивых водных поверхностей. Формирование техногенных участков напрямую связано с размещением кустов скважин, производственных площадок, шламовых амбаров и карьеров, что сопровождается прямым уничтожением почвенно-растительного покрова и локальной перестройкой ландшафтной структуры. Показано, что направленность трансформации геосистем определяет изменение их функциональной роли (в качестве поглотителей или источников парниковых газов) в формировании совокупного углеродного баланса территории. Предложена типизация переходов геосистем, включающая устойчивые, деградационные, гидрологические и техногенные процессы. На основе сопоставления матрицы переходов и их пространственной локализации выполнено обоснование приоритетных направлений реализации природно-климатических решений. Показано, что матрица переходов может быть использована как инструмент геоэкологической интерпретации, позволяющий связать изменение углеродного баланса с пространственной трансформацией геосистем и перейти к дифференциации территории по условиям реализации природно-климатических решений.

Ключевые слова: трансформация геосистем, матрица переходов, углеродный баланс, геоэкологический потенциал, ГИС-анализ, природно-климатические решения (ПКР), ХМАО – Югра

Для цитирования: Лебедев Э.А. 2026. Матрица переходов геосистем как инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО – Югры. Региональные геосистемы, 50 (2): 380–392. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-380-392 EDN: VBZNUV

© Лебедев Э.А., 2026

Geosystems Transition Matrix as a Tool for Geoecological Interpretation of Spatial Transformation in KhMAO – Yugra

Eduard A. Lebedev
Yugra State University
16 Chekhov St., Khanty-Mansiysk 628012, Russia
eduard_lebedev1999@mail.ru

Abstract. The article examines the application of the geosystem transition matrix as a tool for geoecological interpretation of spatial transformation at the regional level. The relevance of the study is determined by the need to integrate quantitative assessment of changes in the carbon balance with the analysis of the spatial structure of geosystems, which in existing approaches are typically considered separately. Based on GIS-based cartographic processing of multi-temporal data (2000 and 2015) for the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra (KhMAO – Yugra), a transition matrix was constructed, reflecting transformation pathways of boreal plain forest, plain peatland, floodplain meadow, and aquatic geosystems, as well as technogenically disturbed areas. A quantitative analysis of transitions was performed, including determination of their proportional contribution and spatial localization. We have established that the dominant transformations are associated with the conversion of boreal plain forest geosystems into plain peatland and aquatic geosystems, as well as the formation of technogenically disturbed areas within zones of intensive industrial development. These processes are driven by changes in the hydrological regime caused by the development of linear and areal infrastructure of the oil and gas complex. The construction of roads, pipelines, and embankments disrupts natural drainage and redistributes surface and groundwater flow, which, under flat terrain conditions, leads to secondary waterlogging, flooding of forest stands, and formation of persistent water bodies. The formation of technogenic areas is directly related to the placement of well clusters, production sites, sludge pits, and quarries, which is accompanied by direct destruction of soil-vegetation cover and local restructuring of the landscape structure. The study shows that the direction of geosystem transformation determines changes in their functional role (as sinks or sources of greenhouse gases) in shaping the aggregate carbon balance of the territory. A classification of geosystem transitions is proposed, including stable, degradation, hydrological, and technogenic processes. Based on the integration of the transition matrix and spatial localization of transitions, priority areas for the implementation of nature-based climate solutions are justified. Our findings prove that the transition matrix can be used as a tool for geoecological interpretation, making it possible to link changes in carbon balance to spatial transformation of geosystems and facilitating territorial differentiation according to conditions for implementing nature-based climate solutions.

Keywords: transformation of geosystems, transition matrix, carbon balance, geoecological potential, GIS analysis, nature-based climate solutions (NCS), KhMAO – Yugra

For citation: Lebedev E.A. 2026. Geosystems Transition Matrix as a Tool for Geoecological Interpretation of Spatial Transformation in KhMAO – Yugra. Regional Geosystems, 50(2): 380–392 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-380-392 EDN: VBZNUV

Введение

В условиях усиливающегося антропогенного воздействия и необходимости реализации климатической политики возрастает значимость исследований, направленных на оценку изменения углеродного баланса геосистем [Изменения климата … 2024]. На региональном уровне такая оценка, как правило, основывается на агрегированном подходе, при котором вклад отдельных типов геосистем определяется их площадью и удельными коэффициентами эмиссии и поглощения парниковых газов [Экологическая доктрина, 2002]. Это обеспечивает сопоставимость результатов, однако не раскрывает пространственные причины наблюдаемых изменений [Черенова, Музалевский, 2015].

Геоинформационно-картографический анализ, в свою очередь, позволяет выявлять трансформацию геосистем и изменение их пространственной структуры [Балязин, 2018]. В существующих исследованиях данные направления нередко рассматриваются раздельно: количественная оценка углеродного баланса выполняется независимо от анализа трансформации геосистем. В результате фиксируется изменение интегрального показателя, однако его интерпретация через характер преобразования геосистем остается недостаточно разработанной [Алферов и др., 2017].

Особую актуальность данная проблема приобретает для нефтегазоосвоенных территорий, где антропогенное воздействие сопровождается перераспределением геосистем, нарушением гидрологического режима и формированием техногенных объектов [Гилева, Егорова, 2019]. Территория ХМАО – Югры является одним из наиболее показательных регионов в этом отношении, сочетая высокую степень заболоченности с интенсивным промышленным освоением. В этих условиях пространственная трансформация геосистем непосредственно определяет динамику углеродного баланса территории.

Для сопряжения расчётной и пространственной составляющих анализа в настоящем исследовании используется матрица переходов геосистем. В отличие от традиционного подхода, где она выполняет вспомогательную функцию, здесь матрица рассматривается как инструмент выявления направлений трансформации и их геоэкологической интерпретации [Бакланов, 2024].

Применение матрицы переходов позволяет перейти от фиксации изменения площадей к анализу процессов трансформации геосистем и их пространственной локализации. Это обеспечивает возможность интерпретации изменения углеродного баланса через структуру и направленность преобразований геосистем, а также выделения территорий, различающихся по условиям реализации природно-климатических решений.

В современной научной практике существуют два совершенно разных метода измерения углеродного баланса. Первый метод – это региональные агрегированные расчёты, которые используют характеристики местности и стандартные коэффициенты в качестве основы для вычислений. Главная цель региональных коллективных расчетов – получение сопоставимых результатов, которые, к сожалению, в конечном итоге нормализуют разницу в пределах одного и того же типа рельефа [IPCC, 2006; Гуня и др., 2022; Голеусов, 2023; Чимитдоржиева и др., 2024]. Другой метод описывается как локальный мониторинг потока парниковых газов, включая метод турбулентной пульсации, который дает более точные измерения; однако масштабирование наблюдений, сделанных в масштабе выборки, до региональной области становится методологической проблемой [Vaganov et al., 2005; Демаков, Сафин, 2007; Dyukarev et al., 2021; Голеусов, 2025]. Это различие особенно заметно в районах с высокой интенсивностью разведки нефти. Влияние изменений инфраструктуры приводит к изменениям гидрологического режима и растительности [Мячина и др., 2023], однако существующие методы, как правило, игнорируют связь между локальными изменениями и перераспределением геосистемных территорий, изменением гидрологического состояния и потерей пространственной связности.

Матрица изменений на основе ГИС, построенная с использованием картографических данных за 2000–2015 гг., демонстрирует потенциал для устранения этого недостатка. В качестве средства поддержки расчётов площадей данное исследование создаёт автономный инструмент, позволяющий выявлять изменения углеродного баланса на основе направления пространственного движения. Кроме того, он позволит определить наиболее значимые маршруты распространения ландшафтных комплексов. Таким образом, помимо предоставления агрегированных данных, относящихся к общему масштабу проблемы, этот новый исследовательский инструмент будет использоваться для выявления отдельных областей для восстановления геосистем, чтобы обеспечить

дополнительную основу для принятия решений, касающихся окружающей среды и климата.

Целью исследования является обоснование применения матрицы переходов геосистем как инструмента геоэкологической интерпретации трансформации территории и связанного с ней изменения углеродного баланса на примере ХМАО – Югры. Для достижения поставленной цели в работе выполнен геоинформационно-картографический анализ пространственной структуры геосистем, сформирована матрица переходов и определены направления их трансформации, оценен вклад выявленных переходов в изменение углеродного баланса, выполнена пространственная локализация процессов трансформации и обоснованы приоритетные направления реализации природно-климатических решений [Аитов и др., 2015].

Впервые матрица переходов применена как самостоятельный инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО–Югры. Разработана типизация переходов, связывающая их направленность с изменением углеродного баланса, и обосновано использование связки «матрица–карта переходов» для пространственной дифференциации природно-климатических решений [Мячина, 2014].

Объекты и методы исследования

Методическая основа исследования опирается на геоинформационно-картографический анализ пространственной структуры геосистем и оценки изменения их углеродного баланса на территории ХМАО – Югры.

В анализе рассмотрена территория нефтегазоосвоенных участков округа площадью 7,31 млн га. Эта территория отличается высокой заболоченностью: заболоченные земли занимают до 46 % площади. Здесь преобладают бореальные лесные и болотные равнинные геосистемы. Инфраструктура развита по линейно-очаговому принципу.

Для оценки трансформации использовали несколько ключевых показателей. Первый – площади пяти укрупнённых функциональных классов геосистем. Второй – нормативные коэффициенты эмиссии и поглощения парниковых газов, утверждённые Приказом Минприроды России № 371. Третий – элементы матрицы переходов S_{ij}, которые отражают площади направленных изменений между классами за период 2000–2015 гг. Четвёртый – интегральное значение изменения углеродного баланса (ΔCO_2-экв.).

Пространственная база исследования сформирована на основе сопоставления разновременных данных, отражающих состояние геосистем в 2000 и 2015 гг. в границах месторождений, что обеспечивает корректность анализа их трансформации и сопоставимость полученных результатов (рис.1). Ключевым элементом методики является построение матрицы переходов геосистем, отражающей направления их трансформации между указанными временными состояниями. В рамках настоящего исследования она рассматривается как основной инструмент геоэкологического анализа, позволяющий выявить направленность преобразований геосистем [Колдобская, 2021].

Формирование матрицы переходов выполнено в среде *QGIS* на основе сопоставления двух векторных слоёв: ландшафтной карты 2000 г. и актуализированной карты 2015 г., дешифрированной по материалам дистанционного зондирования (снимки *Landsat 5/7/8*). На предварительном этапе оба слоя приведены к единой системе координат *WGS 84 / UTM zone 43N (EPSG:32643)*, прошла проверку на топологические ошибки (самопересечения, разрывы границ, наложения полигонов) и обрезаны по единому контуру исследуемой территории, охватывающему площадь нефтяных месторождений ХМАО – Югры (7,31 млн га).

Исходные ландшафтные карты составлены по морфологическому принципу с выделением рядов и серий, учитывающих рельеф, тип растительности и характеристики почвенного покрова (подзолистые, аллювиальные, торфяно-болотные и др.). Для

обеспечения сопоставимости данных за разные годы детальные типологические единицы агрегированы до пяти укрупнённых функциональных классов: лесные равнинные, болотные равнинные, луговые пойменные, водные и техногенно нарушенные территории. Агрегирование выполнено по единым диагностическим признакам – гидрологическому режиму, строению почвенного профиля и типу растительности.

Пространственное сопоставление реализовано через инструмент геообработки *Intersection*, в результате которого сформирован производный полигональный слой. Каждый элемент этого слоя содержит в таблице атрибутов информацию об исходном классе геосистемы (2000 г.) и её состоянии на 2015 г. Площади полученных полигонов рассчитаны в проекционной системе координат с использованием встроенного калькулятора геометрии.

На основе экспорта таблицы атрибутов в среду электронных таблиц выполнена кросс-табуляция: площади суммированы по парам «исходный класс – результирующий класс». Таким образом, сформирована итоговая матрица переходов S_{ij}, где строки соответствуют состоянию геосистем в 2000 г., столбцы – в 2015 г., а значения ячеек отражают площади направленных изменений. Сумма всех элементов матрицы совпадает с общей площадью исследования, что подтверждает корректность геообработки и отсутствие потерь данных.

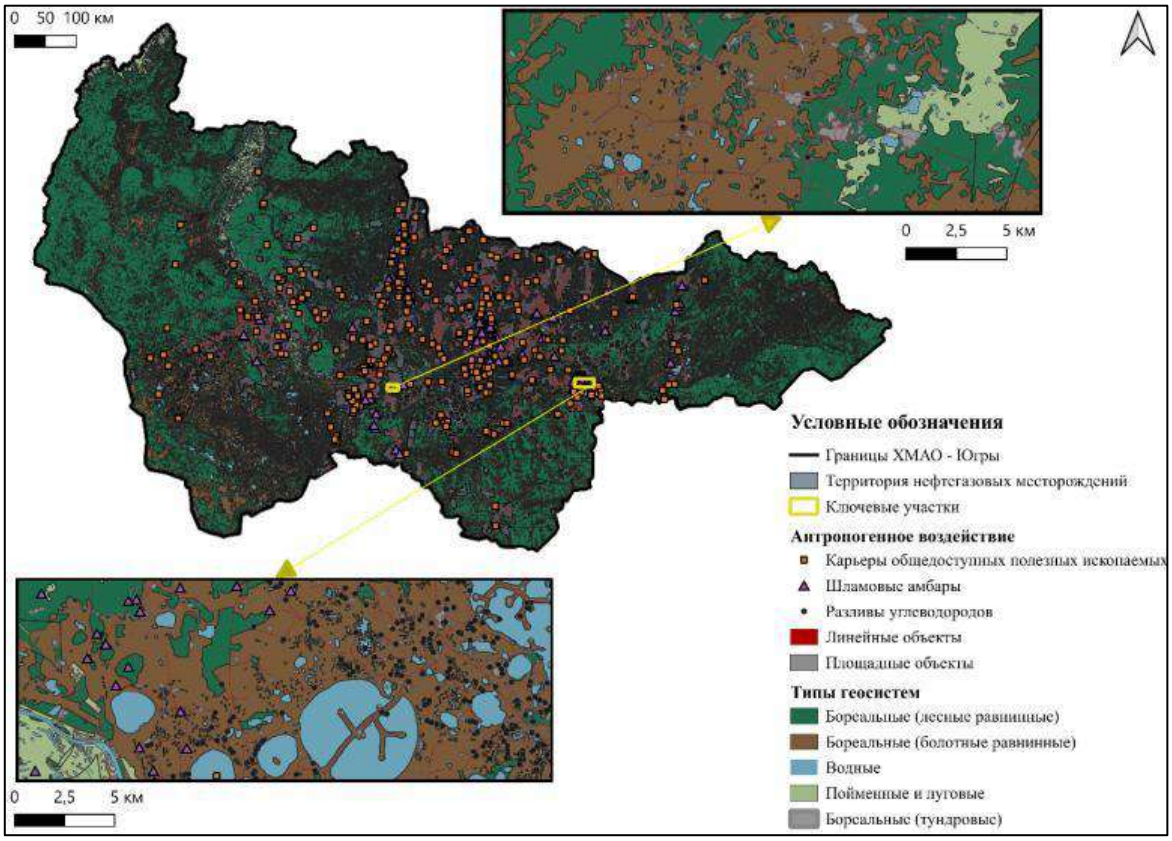


Рис. 1. Антропогенное воздействие на ландшафты ХМАО – Югры за период 2000–2015 гг.
Fig. 1. Anthropogenic impact on the landscapes of the KhMAO – Yugra for the period 2000–2015

Значения матрицы отражают площади участков, перешедших из одного состояния в другое, и используются для выявления направлений трансформации [IPCC, 2006].

Матрица переходов не применяется для расчёта углеродного баланса, а используется как инструмент его интерпретации. Это позволяет рассматривать изменение интегрального показателя как результат перераспределения геосистем и направленности их трансформации.

Результаты и их обсуждение

Построенная матрица переходов укрупненных функциональных классов геосистем позволила выявить основные направления пространственной трансформации территории ХМАО – Югры за период 2000–2015 гг. (табл. 1). В отличие от простого сопоставления площадей, она отражает направленность переходов между геосистемами, что имеет принципиальное значение для геоэкологической интерпретации выявленных изменений [Попов, 2022].

Таблица 1
Table 1

Матрица переходов геосистем ХМАО – Югры за 2000–2015 гг., га
Matrix of geosystem transitions in KhMAO – Yugra for 2000–2015, hectares

2000 г. / 2015 г.	Бореальные лесные равнинные	Болотные равнинные	Луговые пойменные	Водные	Итого (2000 г.)
Бореальные лесные равнинные	2 575 518 (63,04 %)	1 125 000 (27,54 %)	185 548 (4,54 %)	199 425 (4,88 %)	4 085 491
Болотные равнинные	478 228 (19,36 %)	1 592 698 (64,49 %)	21 942 (0,89 %)	376 958 (15,26 %)	2 469 826
Луговые пойменные	82 387 (13,32 %)	100 928 (16,32 %)	387 862 (62,72 %)	47 213 (7,63 %)	618 390
Водные	7 903 (5,76 %)	19 162 (13,97 %)	8 328 (6,07 %)	101 776 (74,20 %)	137 169
Итого (2015 г.)	3 144 036	2 837 788	603 680	725 372	7 310 876

Суммарная площадь всех элементов матрицы совпадает с площадью исследуемой территории. Это позволяет считать корректным сопоставление разновременных срезов и говорит о том, что основные переходы между функциональными классами геосистем учтены в полном объёме.

Для интерпретации результатов выполнена типизация переходов геосистем, включающая устойчивые, деградационные, гидрологические и техногенные процессы. Деградационные переходы связаны с сокращением площади бореальных лесных равнинных геосистем, гидрологические – с изменением соотношения болотных равнинных и водных геосистем, техногенные – с формированием нарушенных территорий [Сочава, 1978].

Дополнительно выполнена пространственная локализация переходов путём картографической визуализации результатов оверлейного анализа. Полученная карта переходов позволяет выявить зоны концентрации трансформационных процессов и сопоставить их с элементами антропогенной нагрузки.

Таким образом, формируется связка «матрица переходов – карта переходов», обеспечивающая переход от фиксации изменений к их пространственной интерпретации. Это позволяет выявить не только масштаб трансформации геосистем, но и её пространственную структуру, что является основой для геоэкологического анализа и обоснования природно-климатических решений.

Пространственная перестройка ландшафтов идёт преимущественно по пути гидрологического переувлажнения. Наиболее масштабный сдвиг зафиксирован в лесных равнинных комплексах: более 1,12 млн га (27,54 % площади) сменили классификационный тип на болотный. Это не просто таксономическая замена. Меняется водный баланс, нарастает заболачивание, что напрямую снижает буферный потенциал этих территорий.

В зонах длительного обводнения прослеживается ещё один вектор – образование открытых акваторий на месте бывших болот. Площадь таких участков достигает 376 958 га (15,26 %). Появление водных зеркал перестраивает локальный газообмен: усиливаются процессы эмиссии, меняется соотношение источников и стоков парниковых газов.

Обратная сукцессия (болота → леса) охватывает 478 228 га (19,36 %). Здесь важна методологическая оговорка. Наблюдаемая динамика может отражать реальное осушение, но нередко становится артефактом дешифрирования снимков разных лет. Без полевой верификации трактовать эти цифры однозначно рискованно.

Пойменно-луговые ландшафты удерживают исходный облик лишь на 62,72 % территории. При этом 16,32 % площади деградирует в болотные комплексы, что служит прямым маркером прогрессирующего переувлажнения речных долин. В целом же наименее уязвимыми остаются водные геосистемы (74,20 % сохранности типа). Близкие показатели у болотных равнин (64,49 %), тогда как бореальные лесные равнины демонстрируют самую низкую стабильность (63,04 %). Эта разница подтверждает их высокую чувствительность к текущим климатическим и антропогенным нагрузкам.

Пространственное распределение выявленных переходов отражено на карте зон приоритетной реализации природно-климатических решений (рис.2). Картографический подход здесь решает сразу несколько задач. Во-первых, он фиксирует не просто локализацию процессов, но и участки их пространственной кластеризации. Во-вторых, даёт возможность соотнести динамику ландшафтов с территориальной структурой и уровнем антропогенной нагрузки [Берлянт, 2002].

Когда разные типы трансформации сведены в единое картографическое поле, становятся видны зоны их наложения и взаимодействия. Это важный методический шаг: он смещает фокус с описания отдельных переходов на анализ пространственной организации трансформационных процессов в целом и оценку их геоэкологической роли. Подобная визуализация позволяет выявить кумулятивные эффекты антропогенной нагрузки и определить приоритетные участки для реализации природно-климатических решений, где восстановление функций геосистем будет наиболее эффективным и обратимым.

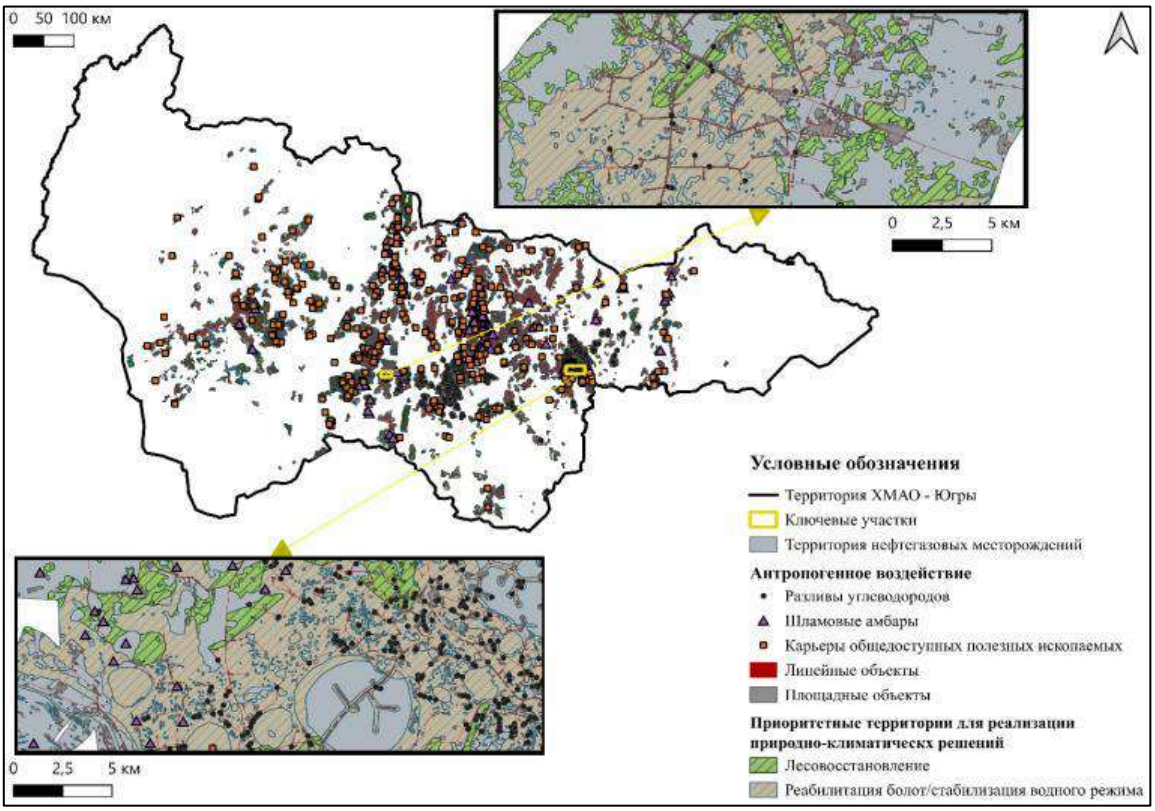


Рис. 2. Пространственная локализация зон трансформации геосистем и приоритетных территорий для реализации природно-климатических решений

Fig. 2. Spatial localization of geosystem transformation zones and priority areas for the implementation of nature-based climate solutions

Анализ карты показывает, что зоны реализации природно-климатических решений приурочены к участкам трансформации бореальных лесных равнинных геосистем, зонам вторичного заболачивания, обводнения и концентрации техногенно нарушенных территорий. В этом контексте карта переходов выступает как самостоятельный инструмент интерпретации, позволяющий локализовать участки, где выявленные переходы приобретают практическое значение [Исаченко, 1976].

Сопоставление матрицы переходов и карты пространственной локализации показывает, что основное ядро трансформации связано с перераспределением площадей бореальных лесных равнинных геосистем в болотные равнинные и водные геосистемы. Как было отмечено ранее [Коломыц, Сурова, 2019] эти переходы определяют направленность изменения углеродного баланса территории, тогда как матрица переходов позволяет раскрыть пространственные причины выявленных изменений, что демонстрирует табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Типы переходов геосистем и их значение для интерпретации природно-климатических решений
Types of geosystem transitions and their significance for the interpretation of nature-based climate solutions

Тип перехода	Основные переходы геосистем	Геоэкологическое значение	Приоритетное направление ПКР
Деградационные переходы	бореальные лесные равнинные – водные; бореальные лесные равнинные – луговые пойменные	снижение площади бореальных лесных равнинных геосистем и ослабление поглощающей функции	лесовосстановление
Гидрологическая трансформация	бореальные лесные равнинные – болотные равнинные; болотные равнинные – водные; луговые пойменные – болотные равнинные	изменение водного режима и перестройка углеродного обмена	гидрологическая реабилитация / стабилизация водного режима
Техногенная трансформация	переходы природных в техногенно нарушенные участки	утрата почвенно-растительного покрова и природных функций	рекультивация

Предложенная типизация позволяет перейти от простого перечисления переходов к их осмыслению с точки зрения функций геосистем. Для бореальных лесных равнинных геосистем основным последствием оказывается сокращение площади, сопровождаемое ослаблением поглощающей функции. В случае болотных равнинных геосистем на первый план выходит изменение водного режима, что напрямую влияет на структуру газообмена. Расширение водных геосистем связано с увеличением площадей, потенциально участвующих в эмиссии парниковых газов. Техногенно нарушенные территории, в свою очередь, характеризуются низкой степенью обратимости и требуют проведения рекультивационных мероприятий [Dyukarev et al., 2021].

Приоритет природно-климатических решений определяется глубиной нарушений водного режима. Гидрологическая реабилитация применяется к деградированным болотам и предполагает активное восстановление уровня грунтовых вод и блокировку осушительных систем для возврата функции долговременного депонирования углерода. В зонах вторичного переувлажнения, где возврат к исходному состоянию маловероятен, целесообразна гидрологическая стабилизация – управление текущим водным режимом для остановки деградации, минимизации эмиссии парниковых газов и сохранения

пространственной целостности геосистем. Такое разграничение позволяет дифференцировать мероприятия в зависимости от обратимости нарушений.

Полученные результаты в целом согласуются с пространственно-аналитическим подходом, в рамках которого расчёт углеродного баланса и анализ трансформации геосистем рассматриваются раздельно, но во взаимосвязи [Трефилова и др., 2015]. Это позволяет избежать их смешения и более точно интерпретировать выявленные изменения.

Связка «матрица переходов – карта переходов» дает возможность перейти от обобщенной оценки к пространственно дифференцированному анализу территории. В этом случае выбор природно-климатических решений определяется не только величиной изменений, но и их характером: для участков деградации бореальных лесных равнинных геосистем приоритетным становится лесовосстановление, для зон переувлажнения – гидрологическая реабилитация, а для техногенно нарушенных территорий – рекультивация [Середовских, 2025].

Отдельно стоит выделить лесную рекультивацию шламовых амбаров, как эффективное природно-климатическое решение. В отличие от традиционных подходов, лесная рекультивация шламовых амбаров за 15–20 лет формирует устойчивые насаждения, секвестирующие углерод в 3–6 раз активнее зрелых лесов и одновременно предотвращающие эрозию при восстановлении биоразнообразия [Лебедев, Скурихин, 2024].

Практические меры, направленные на недопущение деградации торфяников и катастрофических потерь леса, способствуют сохранению природных углеродных поглотителей. Природно-климатические решения, такие как реабилитация болот, стабилизация водного режима и восстановление лесов, способны существенно усилить вклад этих геосистем в достижение углеродной нейтральности [Лебедев и др., 2026].

Таким образом, матрица переходов в рамках исследования выступает не просто вспомогательным инструментом, а основой геоэкологической интерпретации. Она позволяет связать изменение углеродного баланса с конкретными пространственными преобразованиями геосистем и перейти к обоснованию природно-климатических решений для территории ХМАО – Югры.

Методические ограничения работы обусловлены особенностями обработки исходных материалов. Дешифрирование снимков дистанционного зондирования земли сопровождается методической погрешностью классификации, которая усиливается при переходе к укрупнённой типологии геосистем. Отдельный фактор неопределённости – применение осреднённых коэффициентов: они нивелируют локальную специфику, сглаживая различия на микроуровне. Указанные обстоятельства не искажают общую картину ландшафтной динамики, но формируют допустимый разброс в расчётах площадей. В связи с этим количественные показатели целесообразно трактовать как ориентировочные, а основной акцент в интерпретации смещать на качественные векторы трансформации.

Заключение

Региональная оценка углеродного баланса лесоболотных комплексов требует обязательной привязки к ландшафтной динамике. На территории Югры фиксируется устойчивая тенденция: лесные массивы сокращаются, уступая место болотам и открытым водоёмам. Параллельно растут площади техногенно нарушенных земель. Эти процессы не случайны. Они отражают совместное влияние изменений гидрологического режима и последствий нефтегазовой деятельности. Как следствие, снижается способность территории депонировать углерод, а соотношение потоков С-соединений смещается в сторону эмиссии. Баланс меняется не хаотично, а подчиняется чётким пространственным закономерностям.

Матрица переходов выступает не просто счетчиком гектаров. Ее задача – зафиксировать направленность смен типов геосистем и связать их с углеродной динамикой. Когда данные матрицы накладываются на картографическую основу, результаты получают пространственную привязку. Суммарные цифры уступают место локальным очагам трансформации. Именно в этих зонах процессы идут с максимальной интенсивностью. Такой подход смещает акцент с констатации общих трендов на выявление конкретных механизмов, действующих в отдельных ландшафтных ячейках.

Полученные данные меняют логику обоснования природно-климатических мер. Опираться только на расчётный углеродный эффект недостаточно. Ключевое значение приобретает тип деградации, степень фрагментации комплексов и потенциал восстановления нарушенных земель. Учёт этих параметров убирает излишнюю абстракцию и привязывает решения к реальным ограничениям нефтегазоосвоенных территорий. В методическом плане работа демонстрирует целесообразность разделения количественных расчётов и качественной интерпретации пространственных данных. На практике результаты могут служить основой для проектирования климатических мероприятий в регионах с длительной историей промышленного освоения.

Список источников

Берлянт А.М. 2002. Картография. М., Аспект Пресс, 336 с.

Экологическая доктрина Российской Федерации. 2002. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 года № 1225-р. Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92097/ (дата обращения: 22.01.2026).

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Institute for Global Environmental Strategies. Electronic resource. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html (date of access: 28.04.2026).

Список литературы

Аитов И.С., Козелкова Е.Н., Кузнецова Э.А. 2015. Виды антропогенных нагрузок на почво-грунты и снежный покров в районах кустовых площадок Нижневартовского региона. Международный научно-исследовательский журнал, 10–4(41): 84–86. https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.148

Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолодчиков Д.Г., Зинченко А.В. 2017. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов, Амирит, 278 с.

Бакланов П.Я. 2024. Пространственные структуры и территориальные системы в региональном развитии: избранное. Владивосток, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 464 с.

Балязин И.В. 2018. Анализ динамики степных геосистем с применением картографического метода на примере Койбальской степи. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 26: 18–30. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18

Гилева Л.Н., Егорова Н.В. 2019. Исследование и оценка воздействия объектов нефтегазового комплекса на окружающую природную среду северных территорий в целях предотвращения и снижения неблагоприятных техногенных последствий. Нефть и газ, 1: 121–132.

Голеусов П.В. 2023. Предварительная оценка потенциала поглощения углекислого газа экосистемами Белгородской области. Успехи современного естествознания, 12: 169–177. https://doi.org/10.17513/use.38188

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

Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш. 2022. Изучение ландшафтной структуры для оценки углеродного баланса горных экосистем. Геология и геофизика Юга России, 12(3): 170–181. https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.65.012

Демаков Ю.П., Сафин М.Г. 2007. Проблема оценки углерододепонирующей способности экосистем олиготрофных болот и пути ее решения. Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 1: 55–66.

Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. 2024. М., Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 360 с.

Исаченко А.Г. 1976. Прикладное ландшафтоведение. Часть 1. Л., Изд-во Ленинградского ун-та, 152 с.

Коломыц Э.Г., Сурова Н.А. 2019. Методы расчетов углеродного баланса лесных экосистем при глобальных изменениях климата. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 28(2): 189–218. https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10221

Колдобская Н.А. 2021. Экологическая ситуация в городах и районах Ставропольского края. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 5: 45–56. https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-5-45-56

Лебедев Э.А., Ахмедова И.Д., Тесленок С.А. 2026. Сравнительная эффективность углерод-регулирующей функции болот и бореальных лесов средней тайги Западной Сибири. Экология и промышленность России, 30(4): 57–61. https://doi.org/10.17323/1995-0675-2026-30-4-57-61

Лебедев Э.А., Скурихин А.А. 2024. Лесная рекультивация шламовых амбаров как механизм реализации природных климатических решений в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. В кн.: Геоэкология и рациональное недропользование: от науки к практике. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, Белгород, 10 октября 2024. Белгород, БелГУ: 172–174.

Мячина К.В. 2014. Опыт дистанционного мониторинга степных ландшафтов в районах нефтепромыслов на основе снимков Landsat. Вопросы степеведения, 11: 145–152.

Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В., Щавелев А.Н. 2023. Изменения средообразующих параметров степных геосистем в условиях нефтедобычи (на примере Волго-Уральского региона). Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 46: 114–127. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114

Попов В.А. 2022. Об основных положениях учения о ландшафтогенезе. Центральноазиатский журнал географических исследований, 1–2: 4–17.

Середовских Б.А. 2025. Ландшафтно-гидрологические системы Севера Западной Сибири: оценка геоэкологического риска. Нижневартовск, Нижневартовский государственный университет, 495 с. https://doi.org/10.35634/2412-9518-2024-34-2-190-201

Сочава В.Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 319 с.

Трефилова Н.Я., Грачева М.К., Корочкина А.М. 2015. ГИС-модель карты функционального зонирования как основа при постановке природоохранных работ. В кн.: Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 1–2 декабря 2015. Киров, Веси: 215–219.

Церенова М.П., Музалевский А.А. 2015. К вопросу комплексной геоэкологической оценки урбанизированной территории в прибрежной зоне. Экологический и экономический аспекты. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 38: 189–201.

Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О., Мильхеев Е.Ю., Цыбенов Ю.Б., Корсунова Ц.Д.-Ц. 2024. Секвестрация углерода экосистемами холодных территорий Забайкалья. Агрохимия, 12: 48–53. https://doi.org/10.31857/S0002188124120074

Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., … Lapshina E. 2021. The Multiscale Monitoring of Peatland Ecosystem Carbon Cycling in the Middle Taiga Zone of Western Siberia: The Mukhrino Bog Case Study. Land, 10(8): 824. https://doi.org/10.3390/land10080824

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., … Shibistova O.B. 2005. Forests and Swamps of Siberia in the Global Carbon Cycle. Siberian Journal of Ecology, 12(4): 631–649.

References

Aitov I.S., Kozelkova E.N., Kuznetsova E.A. 2015. Types of Anthropogenic Loads on Soils and Snow Cover in Well Cluster Areas of the Nizhnevartovsk region. International Research Journal, 10–4(41): 84–86 (in Russian). https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.148

Alferov A.M., Blinov V.G., Gitarsky M.L., Grabar V.A., Zamolodchikov D.G., Zinchenko A.V. 2017. Monitoring of Greenhouse Gas Fluxes in Natural Ecosystems. Saratov, Pabl. Amirit, 278 p. (in Russian).

Baklanov P.Ya. 2024. Spatial Structures and Territorial Systems in Regional Development: Selected Works. Vladivostok, Pabl. Pacific Institute of Geography Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 464 p. (in Russian)

Balyazin I.V. 2018. Analysis of the Dynamics of Steppe Geosystems Using the Cartographic Method: a Case Study of the Koibal Steppe. Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 26: 18–30 (in Russian). https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18

Gileva L.N., Egorova N.V. 2019. Study and Assessment of the Impact of Oil and Gas Complex Facilities on the Natural Environment of Northern Territories for the Prevention and Reduction of Adverse Technogenic Consequences. Oil and Gas, 1: 121–132 (in Russian).

Goleusov P.V. 2023. Preliminary Assessment of the Potential for Carbon Dioxide Absorption by Ecosystems of the Belgorod Oblast. Advances in Current Natural Sciences, 12: 169–177 (in Russian). https://doi.org/10.17513/use.38188

Goleusov P.V. 2025. Results of Monitoring Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in Belgorod (2023–2024). Regional Geosystems, 49(3): 462–476 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476

Gunya A.N., Gairabekov U.T., Gagaeva Z.Sh. 2022. Study of Landscape Structure for Assessing the Carbon Balance of Mountain Ecosystems. Geology and Geophysics of Russian South, 12(3): 170–181 (in Russian). https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.65.012

Demakov Yu.P., Safin M.G. 2007. The Problem of Assessing the Carbon-Depositing Capacity of Oligotrophic Bog Ecosystems and Ways to Solve It. Bulletin of PSTU. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 1: 55–66 (in Russian).

Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation. 2024. Moscow, Pabl. A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, 360 p. (in Russian).

Isachenko A.G. 1976. Prikladnoye landshaftovedeniye [Applied Landscape Science]. Part 1. Leningrad, Pabl. Leningrad University Press, 152 p.

Kolomyts E.G., Surova N.A. 2019. Methods for Calculating the Carbon Balance of Forest Ecosystems Under Global Climate Change. Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology, 28(2): 189–218 (in Russian). https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10221

Koldobskaya N.A. 2021. Ecological Situation in Cities and Districts of Stavropol Krai. Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography, 5: 45–56 (in Russian). https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-5-45-56

Lebedev E.A., Akhmedova I.D., Teslenok S.A. 2026. Comparative Effectiveness of the Carbon-Regulating Function of Bogs and Boreal Forests of the Middle Taiga of Western Siberia. Ecology and Industry of Russia, 30(4): 57–61 (in Russian). https://doi.org/10.17323/1995-0675-2026-30-4-57-61

Lebedev E.A., Skurikhin A.A. 2024. Forest Reclamation of Sludge Pits as a Mechanism for Implementing Natural Climate Solutions in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra. In: Geoecology and Rational Subsoil Use: From Science to Practice. Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Belgorod, 10 October 2024. Belgorod, Pabl. BelSU: 172–174 (in Russian).

Myachina K.V. 2014. Experience of Remote Monitoring of Steppe Landscapes in Oil Field Areas Based on Landsat Imagery. Questions of Steppe Science, 11: 145–152 (in Russian).

Myachina K.V., Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V., Shchavelev A.N. 2023. Changes in Environmental Parameters of Steppe Geosystems Under Oil Production Conditions (on the Example of the Volga-Ural Region). Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences, 46: 114–127 (in Russian). https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114

Popov V.A. 2022. On the Basic Provisions of the Theory of Landscape Genesis. Central Asian Journal of Geographical Research, 1–2: 4–17 (in Russian).

Seredovskikh B.A. 2025. Landscape-Hydrological Systems of the North of Western Siberia: Assessment of Geoecological Risk. Nizhnevartovsk, Pabl. Nizhnevartovsk State University, 495 p. (in Russian). https://doi.org/10.35634/2412-9518-2024-34-2-190-201

Sochava V.B. 1978. Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh [Introduction to the Theory of Geosystems]. Novosibirsk, Pabl. Nauka, 319 p.

Trefilova N.Ya., Gracheva M.K., Korochkina A.M. 2015. GIS Model of a Functional Zoning Map as a Basis for Planning Environmental Protection Work. In: Current Problems of Regional Ecology and Biodiagnostics of Living Systems. Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Kirov, 1–2 December 2015. Kirov, Pabl. Vesi: 215–219 (in Russian).

Tserenova M.P., Muzalevsky A.A. 2015. On the Issue of Comprehensive Geoecological Assessment of Urbanized Territory in the Coastal Zone: Ecological and Economic Aspects. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University, 38: 189–201 (in Russian).

Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Yu., Tsybenov Yu.B., Korsunova Ts.D.-Ts. 2024. Carbon Sequestration by Ecosystems of Cold Territories of Transbaikalia. Agrochemistry, 12: 48–53 (in Russian). https://doi.org/10.31857/S0002188124120074

Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., … Lapshina E. 2021. The Multiscale Monitoring of Peatland Ecosystem Carbon Cycling in the Middle Taiga Zone of Western Siberia: The Mukhrino Bog Case Study. Land, 10(8): 824. https://doi.org/10.3390/land10080824

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., … Shibistova O.B. 2005. Forests and Swamps of Siberia in the Global Carbon Cycle. Siberian Journal of Ecology, 12(4): 631–649.

Поступила в редакцию 27.04.2026;
поступила после рецензирования 21.05.2026;
принята к публикации 15.06.2026

Received April 27, 2026;
Revised May 21, 2026;
Accepted June 15, 2026

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

Лебедев Эдуард Андреевич, аспирант высшей экологической школы, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Eduard A. Lebedev, postgraduate student, Higher School of Ecology, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Социально-экономические компоненты геосистем
Socio-Economic Components of Geosystems

УДК 314.174
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-393-402
EDN RWBKKF

Территориальные тенденции демографических процессов системы расселения Орловской области

Терещенко Е.А., Тихий В.И., Колбасов С.В.
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
tikhiivi@yandex.ru, kol6sov@yandex.ru, tereshenko2602@gmail.com

Аннотация. В настоящее время большая часть регионов Российской Федерации подвержена процессам депопуляции и миграционного оттока населения, что в свою очередь сдерживает устойчивое социально-экономическое развитие регионов. На примере Орловской области были рассмотрены тенденции демографических процессов региональной системы расселения. Проведённый статистический анализ демографических процессов естественного и механического движения населения выявил острую проблему депопуляции населения региона, за последние десять лет численность населения сократилась более чем на 10 %. Основным фактором, повлиявшим на данное положение, является естественная убыль населения, обостряемая постоянным миграционным оттоком. В ходе исследования выявлены различия в темпах депопуляции между муниципальными образованиями, в системе расселения Орловской области ярко выражен центр-периферийный градиент, где наиболее острое снижение наблюдается в окраинных муниципальных образованиях. В работе предложены возможные меры по улучшению демографической ситуации, включая развитие социальной инфраструктуры, улучшение здравоохранения и создание рабочих мест. Области необходима комплексность подхода к решению проблемы депопуляции, учитывающего экономические, социальные и экологические аспекты.

Ключевые слова: область, демографические тенденции, население, рождаемость, смертность, миграционные процессы

Для цитирования: Терещенко Е.А., Тихий В.И., Колбасов С.В. 2026. Территориальные тенденции демографических процессов системы расселения Орловской области. Региональные геосистемы, 50 (2): 393–402. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-393-402 EDN: RWBKKF

Territorial Trends of Demographic Processes in the Settlement System of the Orel Region

Ekaterina A. Tereshchenko, Vladimir I. Tikhii, Sergej V. Kolbasov
Orel State University named after I.S. Turgenev,
95 Komsomolskaya St., Orel 302026, Russia
tikhiivi@yandex.ru, kol6sov@yandex.ru, tereshenko2602@gmail.com

Abstract. Currently, most of the regions of the Russian Federation are subject to the processes of depopulation and migration outflow of the population, which in turn hinders their sustainable socio-economic development. Using the example of the Orel region, we have studied trends in the demographic processes of the regional settlement system. The statistical analysis of demographic processes of natural

© Терещенко Е.А., Тихий В.И., Колбасов С.В., 2026

and mechanical movement of the population revealed an acute problem of the region's depopulation: over the past ten years the population has decreased by more than 10%. The main factor influencing this situation is the natural decline of the population, exacerbated by the constant migration outflow. The study shows differences in the rates of depopulation between municipalities, and the center-peripheral gradient is pronounced in the settlement system of the Orel region, where the most acute decline is observed in marginal municipalities. The paper suggests possible measures to improve the demographic situation, including the development of social infrastructure, improved healthcare, and job creation. The region needs a comprehensive approach to solving the problem of depopulation, taking into account economic, social, and environmental aspects.

Keywords: region, demographic trends, population, fertility, mortality, migration processes

For citation: Tereshchenko E.A., Tikhii V.I., Kolbasov S.V. 2026. Territorial Trends of Demographic Processes in the Settlement System of the Orel Region. Regional Geosystems, 50 (2): 393–402 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-393-402 EDN: RWBKKF

Введение

Орловская область – важный сельскохозяйственный регион, расположенный на юге Центрального федерального округа России. Регион граничит с Тульской, Липецкой, Курской, Брянской и Калужской областями. Географическое положение области определяет её важную транзитную роль в системе межрегиональных связей – через регион проходят автомобильные дороги федерального значения: М-2 «Крым», Р-119 (Орёл – Тамбов), Р-120 (Орёл – Смоленск), Р-92 (Калуга – Орёл); и железнодорожные магистрали: с севера на юг – Москва – Харьков – Крым – Кавказ, с запада на восток – Рига – Воронеж – Саратов. В области сильно развит агропромышленный комплекс, производится различная сельскохозяйственная продукция, такая как зерно, сахарная свёкла, картофель, растительные масла, молочные и мясные изделия. Промышленность представлена предприятиями пищевой промышленности, химической промышленности, деревообработки, машиностроения, в области производится сельскохозяйственная техника [Кожанчикова, Полякова, 2021].

Анализ современных демографических процессов в центральных регионах России свидетельствует об общих тенденциях, характерных и для системы расселения Орловской области. Исследования показывают усиление пространственной поляризации, заключающейся в концентрации населения в региональных центрах и депопуляции периферийных сельских территорий [Нефедова, Старикова, 2020; Морковская и др., 2021; Рыбаковский Л.Л., Рыбаковский О.Л., 2023; Chugunova et al., 2024; Nadarajan J. et al., 2024; Gauthier, Gietel-Basten, 2025].

Население Орловской области, как и многих других регионов России, переживает демографические изменения [Гиголаева, Гагарина, 2021; Донской, Ужакова, 2024].

Общая численность населения Орловской области на 01.01.2024 г. составила 692,58 тыс. человек[3]. В регионе отмечается устойчивая тенденция к сокращению численности населения. Так за прошедшее десятилетие население Орловской области сократилось на 10 % (72,7 тыс. чел.) (рис. 1). Доля городского населения составляет 66 %, достигнут потолок урбанизации [Кирюнин, Тихий, 2022а].

[3] Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/ (дата обращения: 22.01.2025).

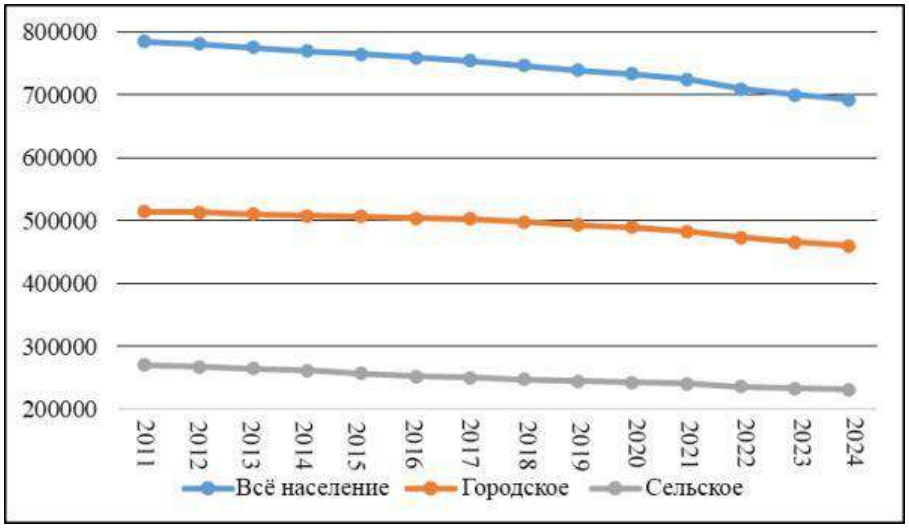


Рис. 1. Динамика численности населения Орловской области, 2011–2024 гг.
Fig 1. Dynamics of the population of the Orel region, 2011–2024

Объекты и методы исследования

Объектом данного исследования является система расселения населения Орловской области, староосвоенного региона России, состоящего из 23 муниципальных районов, одного муниципального округа и трех городов областного подчинения. Крупнейшими городами являются Орёл (административный центр), Ливны и Мценск. Территория области характеризуется высокой степенью урбанизации с преобладанием городского населения (около 70 %).

Данное исследование проводится с целью комплексного изучения происходящих в Орловской области демографических процессов, определение факторов, влияющих на динамику численности населения, анализ естественного и механического движения населения. Предмет исследования заключается в изучении территориальных тенденций демографических процессов системы расселения Орловской области.

Для выполнения цели данного исследования были применены различные методы исследования, в том числе статистический, графический, а также геоинформационный и картографический, использовали данные всероссийской переписи населения, публикации статистических ежегодников, информацию из открытых источников, сети Интернет, в том числе *OpenStreetMap* (*OSM*). Для построения картографического материала была использована свободная кроссплатформенная геоинформационная система *QGIS*, в ней были выполнены все расчёты для построения картосхем и обработки статистического материала. Построение графиков и диаграмм было выполнено с помощью *Microsoft Excel*.

Результаты и их обсуждение

Во всех муниципальных образованиях региона отмечается устойчивая тенденция к снижению численности населения, которая отличается лишь масштабом этих изменений. Так, в пределах Орловской области отмечаются различия в динамике численности населения между муниципальными образованиями. Наибольшее снижение численности населения отмечается в периферийных районах области, в частности в Должанском (–22 %), Троснянском (–20 %), Глазуновском (–19 %), Шаблыкинском (–19 %), Хотынецком (–18 %), Ливенском (–18 %), Корсаковском (–22 %), Краснозоренском (–15 %), и полупериферийных Залегощенском (–17 %), Новосильском (–15 %), Свердловском (–15 %). Менее остро, но всё же выше чем в среднем по региону депопуляция происходит в восточных, юго-восточных и южных муниципалитетах, а именно в Покровском (–14 %), Малоархангельском (–13 %), Верховском (–12 %),

Колпнянском (–11 %), Новодеревеньковском (–11 %), городском округе Ливны (–13 %) и в расположенном на севере городском округе Мценск (–11 %) и окружающем его Мценском районе (–13 %). Снижение населения в остальных муниципальных образованиях Орловщины ниже среднеобластного показателя – в Урицком, Знаменском и Сосковском (–9 %), Дмитровском и городском округе Орёл (–8 %), а наименьшие показатели отмечены в Кромском районе (–3 %) и Орловском МО (–1 %) (рис. 2).На процессы расселения населения в регионе оказывают влияние демографический кризис и миграционные процессы [Заводских и др., 2017; Mattson et al., 2021; Kaiser, Barstow, 2022; Kourtit et al., 2023].

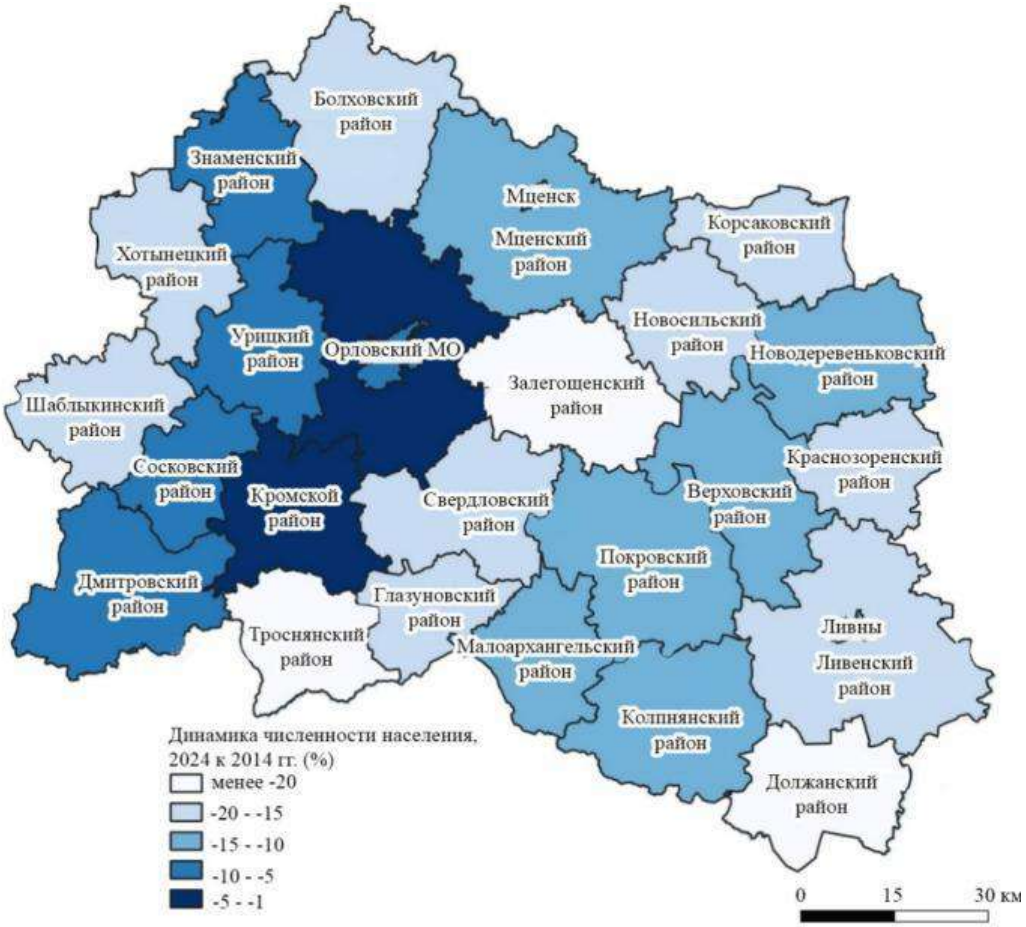


Рис. 2. Динамика численности населения муниципальных образований Орловской области, 2014–2024 гг.
Fig 2. Dynamics of the population in municipalities of the Orel region, 2014–2024

Низкий уровень депопуляции Кромского района и Орловского муниципального округа обусловлен высокой транспортной доступностью территории по отношению к региональной столице, через Кромской район проходит федеральная трасса М-2, расстояние «Орел – Кромы» составляет всего 40 км [Тихий, Корева, 2021]. Помимо этого на территории Орловского МО в пригородной зоне города Орла идёт активное многоэтажное строительство, по факту территория является субурбией областного цента.

В Орловской области наблюдается устойчивое снижение численности населения вследствие превышения показателя смертности над рождаемостью. Депопуляция в регионе в среднем составляет –10 ‰, но также имеются заметные территориальные диспропорции (рис. 3).

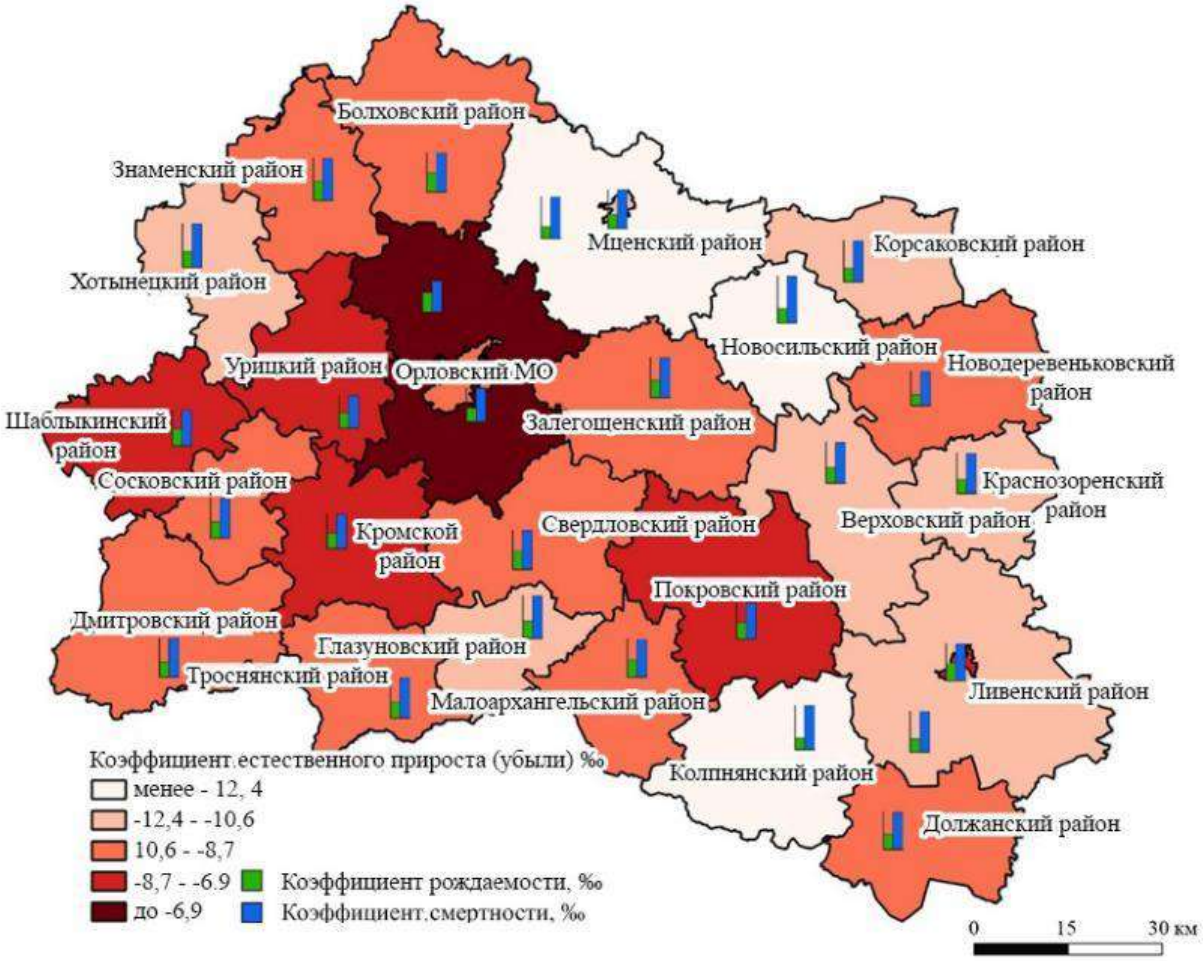


Рис. 3. Коэффициент естественного прироста (убыли)
по муниципальным образованиям Орловской области, 2014–2023 гг.
Fig 3. The coefficient of natural growth (loss) in the municipalities of the Orel region, 2014–2023

В восточной, юго-восточной и южной части региона отмечается наибольшая убыль населения: в Колпнянском и Новосильском районе – –14 ‰, в Ливенском, Глазуновском, Верховском, Краснозоренском, – –11 ‰, на севере Мценский район (–13 ‰) и городском округе Мценск (–11 ‰). «Лучше» ситуация сложилась в Малоархангельском, Свердловском, Болховском, Покровском районах и втором по величине городе в регионе – в Ливнах (–9 ‰), примерно такая демографическая обстановка в Кромском, Шаблыкинском и Урицком районах (–8 ‰). Среди всех муниципальных образований выделяется окружающий областной центр Орловский МО (–5 ‰). Это – территория с наименьшей депопуляционной составляющей. При этом в самом Орле убыль населения составляет –9 ‰. Кроме того, важной тенденцией в трансформации системы расселения Орловской области последних десятилетий является общее разуплотнение сети поселений [Тихий, Корева, 2021; Ziabina et al., 2021; Osareme et al., 2024], а кроме того, увеличивается центр-периферийный градиент [Komilova et al., 2021; Кирюнин, Тихий, 2022б; Kodali, 2023]. Естественную убыль способен компенсировать миграционный приток населения [Глебкова, Долбик-воробей, 2020; Пруель, Градусова, 2020; Javanmardnejad et al., 2021; Lavrina et al., 2022], но для Орловщины свойственен миграционный отток (рис. 4).

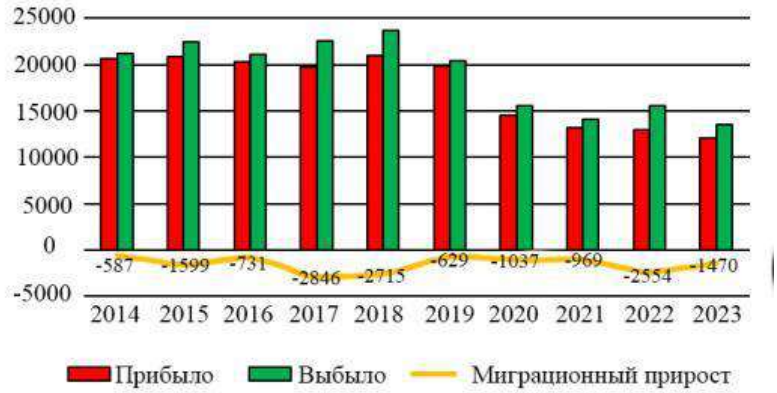


Рис. 4. Миграционные процессы в Орловской области 2014–2023 гг.
Fig. 4. Migration processes in the Orel region, 2014–2023

В 2023 году территориальная специфика миграции выглядела следующим образом (рис. 5): в большинство муниципальных образованиях Орловской области прибыло человек больше, чем выбыло, особенно это видно в Знаменском (14 ‰), Урицком (6 ‰), Кромском (10 ‰), Свердловском (6 ‰) и Залегощенском районах (10 ‰), которые с востока, юга и запада полукольцом огибают Орловский МО (–3 ‰), являясь соседями второго порядка для города Орла (–10 ‰). Помимо регионального центра наиболее низкий коэффициент миграционного прироста отмечается в Корсаковском (–17 ‰) и Новосильском районах (–11 ‰), кроме того, отрицательные показатели наблюдаются в Болховском (–8 ‰), Мценском (–6 ‰), Шаблыкинском (–6 ‰) и Верховском (–5 ‰) районах. Все эти районы расположены на периферии области. Из трёх городских округов только в г. Ливны (3 ‰) населения прибыло больше, чем уехало.

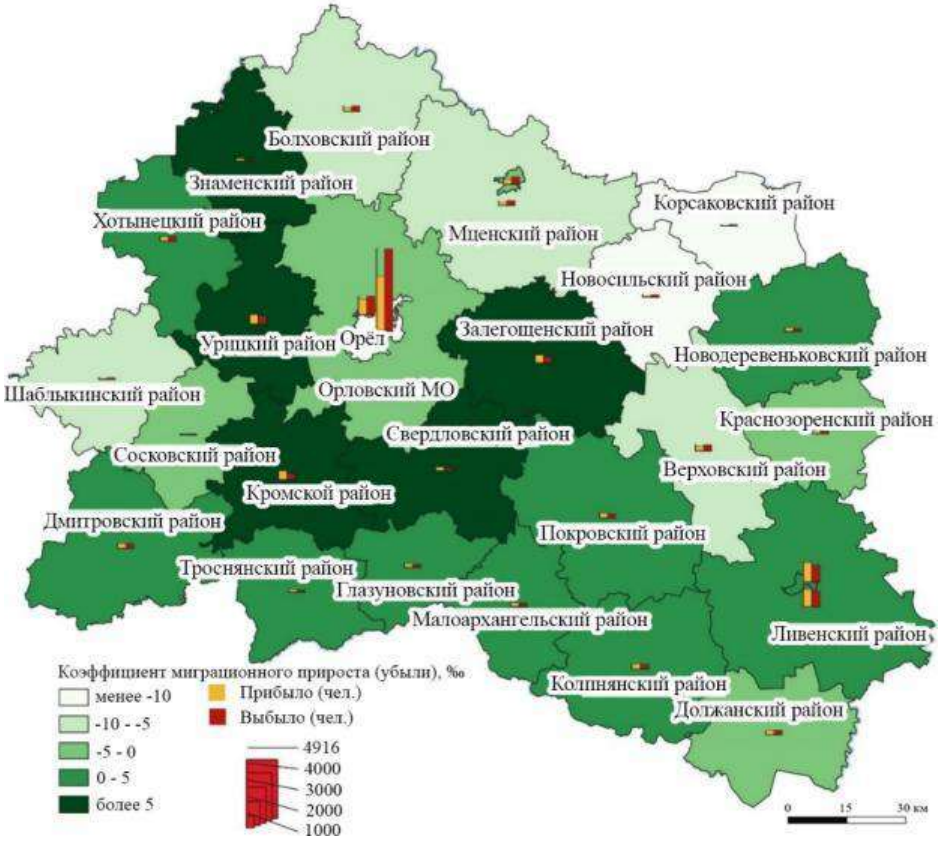


Рис. 5. Коэффициент миграционного прироста по муниципальным образованиям Орловской области, 2023 г.
Fig. 5. Migration growth rate for municipalities of the Orel region, 2023

Заключение

В Орловской области наблюдается неравномерное распределение населения и его демографических характеристик, что проявляется в усилении процессов депопуляции населения и миграции из региона. Наиболее сильно эти тенденции сказались на региональном центре и периферийных районах. За последние десять лет Орловская область потеряла десятую часть своего населения, большая часть которого была утрачена вследствие естественной убыли.

Процесс убыли населения вряд ли удастся обратить в среднесрочной перспективе, но следует применять меры, которые позволят минимизировать снижение численности населения, а именно, увеличить продолжительность жизни, повысить рождаемость и сделать положительным сальдо миграционного баланса.

К таким мерам можно отнести:

– улучшение региональной системы здравоохранения, обеспечение доступности медицинских услуг;

– обеспечение социальной защиты наименее защищённых групп населения;

– создание новых рабочих мест, улучшение условий труда и повышение уровня заработной платы;

– улучшение качества жизни и развитие социальной, транспортной и жилищной инфраструктуры;

– развитие программ стимулирования рождаемости и поддержки семей с детьми.

Только комплексный подход к решению проблемы депопуляции способен дать положительный результат. Этот подход учитывает взаимосвязь между различными факторами, влияющими на демографическую ситуацию в регионе, такими как экономические, социальные, экологические и инфраструктурные условия.

Важно понимать, что депопуляция часто является результатом не одного, а нескольких факторов, действующих одновременно. Например, экономические трудности могут привести к снижению уровня жизни и увеличению безработицы, что, в свою очередь, может вызвать отток населения из региона. В то же время, отсутствие развитой социальной инфраструктуры и качественных услуг в области здравоохранения и образования также может способствовать депопуляции.

Таким образом, комплексный подход к решению проблемы депопуляции может способствовать устойчивому развитию регионов, улучшению качества жизни населения и, в итоге, преодолению демографических вызовов.

Список литературы

Гиголаева А.В., Гагарина М.В. 2021. Современная демографическая ситуация в России и тенденции ее развития. В кн.: Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху. Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 23–24 июня 2021. М., Московский гуманитарный университет: 283–288.

Глебкова И.Ю., Долбик-воробей Т.А. 2020. Международная миграция как фактор социально-экономического развития России. Статистика и экономика, 3: 37–46.

Донской Д.А., Ужакова М.В. 2024. Анализ демографической ситуации в Российской Федерации, прогноз на 2024–2026 гг. ЭФО, 4(12): 51–61.

Заводских А.А., Тихий В.И., Шуметов В.Г. 2017. Моделирование процессов движения населения в регионах Центрального федерального округа. Региональная экономика: теория и практика, 15(4(439)): 772–783. https://doi.org/10.24891/re.15.4.772.

Кирюнин И.И., Тихий В.И. 2022а. Анализ и картографирование структуры пригородного расселения города Орла. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 28(2): 160–171. https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-160-171.

Кирюнин И.И., Тихий В.И. 2022б. Особенности динамики сельского расселения в Орловской области. В кн.: Отечественные путешественники: прошлое, настоящее будущее. Материалы

общероссийской научно-практической конференции, Орёл, 28 сентября – 01 октября 2022. Орёл, Орион-Принт: 287–295.

Кожанчикова Н.Ю., Полякова А.А. 2021. Мониторинг развития сельского хозяйства Орловской области. Вестник ОрелГАУ, 4(91): 146–153. https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.4.146

Морковская Д.Н., Чугунова Н.В., Кухарук Н.С. 2021. Мобильность населения сельских территорий Центрально-Черноземного района и возможности диффузии инноваций. Геополитика и экогеодинамика регионов, 7(3): 116–127.

Нефедова Т.Г., Старикова А.В. 2020. Миграции населения как способ его адаптации к поляризации пространства в Центре России. Социологические исследования, 10: 24–38. https://doi.org/10.31857/S013216250009567-6

Пруель Н.А., Градусова В.Н. 2020. Роль миграции в формировании населения России: федеральный и региональный аспекты. Россия: тенденции и перспективы развития, 15–2: 679–684.

Рыбаковский Л.Л., Рыбаковский О.Л. 2023. Депопуляция в России: итоги за 1992–2022 гг., компоненты, компенсация миграцией на региональном уровне. Социальнотрудовые исследования, 2(51): 16–26.

Тихий В.И., Корева О.В. 2021. Трансформация сельского расселения и устойчивость развития сельских территорий в регионе. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(4): 232–243. https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-232-243.

Chugunova N.V., Lisetskii F.N., Narozhnyaya A.G., Polyakova T.A., Morkovskaya D.N. 2024. Metropolization Process in the Rural Settlement System of the Central Chernozem Region of Russia. Geography, Environment, Sustainability, 3(17): 98–108.

Gauthier A.H., Gietel-Basten S. 2025. Family Policies in Low Fertility Countries: Evidence and Reflections. Population and Development Review, 51(1): 125–161.

Osareme J.O., Muonde M., Maduka C.P., Olorunsogo T.O., Omotayo O. 2024. Demographic Shifts and Healthcare: A Review of Aging Populations and Systemic Challenges. International Journal of Science and Research Archive, 11: 383–395.

Javanmardnejad S., Bandari R., Heravi-Karimooi M., Rejeh N., Sharif N.H., Montazeri A. 2021. Happiness, Quality of Working Life, and Job Satisfaction Among Nurses Working in Emergency Departments in Iran. Health and Quality of Life Outcomes, 19: 1–8.

Kaiser N., Barstow C.K. 2022. Rural Transportation Infrastructure in Low-And Middle-Income Countries: a Review Of Impacts, Implications, and Interventions. Sustainability, 14(4): 2149.

Kodali P.B. 2023. Achieving Universal Health Coverage in Low-And Middle-Income Countries: Challenges for Policy Post-Pandemic and Beyond. Risk Management and Healthcare Policy, 607–621.

Komilova N.K., Rakhimova T., Allaberdiev R.K., Mirzaeva G.S., Egamberdiyeva U.T. 2021. Ecological Situation: The Role of Education and Spirituality in Improving Health of Population. International Journal of Health Sciences, 5(3): 302–312.

Kourtit K., Nijkamp P., Toger M. 2023. Sustainable Cities, Quality of Life, and Mobility-Related Happiness. In: Geography of Happiness: A Spatial Analysis of Subjective Well-Being. Cham, Springer International Publishing: 103–120.

Lavrina O.V., Shirokova E.V., Shpagina I.E., Koshelyaev, R.V. 2022. Development of Labor Potential of the Penza Region Agricultural Sector. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 953: 012009.

Mattson J., Brooks J., Godavarthy R., Quadrifoglio L., Jain J., Simek C., Sener, I. 2021. Transportation, Community Quality of Life, and Life Satisfaction in Metro and Non-Metro Areas of the United States. Wellbeing, Space and Society, 2: 100056.

Nadarajan J., Borhan M.H., Idrus M.S., Abdullah M.F.D., Hamid M.N.A., ... Ibrahim R. 2024. The Detrimental Impact of Low Birth Rates on Malaysia's Accelerated Transition to an Aged Society. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 14(10): 1598–1613.

Ziabina Ye., Goncharova K., Lieonov H. 2021. Analysis of Trends in the Development of Availability of Medical Dervices for Rural Population. Health Economics and Management Review, 2(4): 87–95.

References

Gigolaeva A.V., Gagarina M.V. 2021. Sovremennaya demograficheskaya situaciya v Rossii i tendencii ee razvitiya [The Current Demographic Situation in Russia and Its Development Trends]. In: Ustoychivoe i innovacionnoe razvitie v cifrovuyu epohu [Sustainable and Innovative Development in the Digital Age]. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, Moscow, 23–24 June 2021. Moscow, Pabl. Moskovskiy gumanitarniy universitet: 283–288.

Glebkova I.I., Dolbik-Vorobey T.A. 2020. International Migration as a Factor of Social and Economic Development of Russia. Statistics and Economics, 3: 37–46 (in Russian).

Donskoy D.A., Uzhakova M.V. 2024. Analysis of the Demographic Situation in the Russian Federation, Forecast for 2024–2026. EFO, 4(12): 51–61 (in Russian).

Zavodskikh A.A., Tikhii V.I., Shumetov V.G. 2017. Process Modeling of Basic Parameters of Population Movement in the Regions of the Central Federal District. Regional Economics: Theory and Practice, 15(4(439)): 772–783 (in Russian). https://doi.org/10.24891/re.15.4.772.

Kiryunin I.I., Tikhii V.I. 2022. Analysis and Mapping of the Structure of Suburban Settlement of the City of Orel. InterKarto. InterGIS, 28(2): 160–171 (in Russian). https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-160-171.

Kiryunin I.I., Tikhii V.I. 2022. Features of the Dynamics of Rural Settlement in the Orel Region. In: Domestic Travelers: Past, Present, and Future. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Oryol, 28 September –1 October 2022. Oryol, Pabl. Orion-Print: 287–295 (in Russian).

Kozhanchikova N.Yu., Polyakova A.A. 2021. Monitoring the Agriculture Development in the Orel Region. Vestnik OrelGAU, 4(91): 146–153 (in Russian). https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.4.146

Morkovskaya D.N., Chugunova N.V., Kuharuk N.S. 2021. Mobility of the Population of Rural Areas of the Central Black Earth Region and Thepossibility of Diffusion of Innovations. Geopolitics and Ecogeodynamics of regions, 7(3): 116–127 (in Russian).

Nefedova T.G., Starikova A.V. 2020. Migrations as a Way of Population Adaptation to Polarization of Space at the Center of Russia. Sotsiologicheskie issledovaniya, 10: 24–38 (in Russian).

Pruel N.A., Gradusova V.N. 2020. The Role of Migration in the Formation of the Russian Population: Federal and Regional Aspects. Russia: Trends and Development Prospects, 15–2: 679–684 (in Russian).

Rybakovsky L.L., Rybakovsky O.L. 2023. Depopulation in Russia: Results for 1992–2022, Components, and Compensation by Migration at the Regional Level. Social and Labor Studies, 2(51): 16–26.

Tikhii V.I., Koreva O.V. 2021. Transformation of Rural Settlement and Sustainability of Rural Development in the Region. InterKarto. InterGIS, 27(4): 232–243 (in Russian). https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-232-243.

Chugunova N.V., Lisetskii F.N., Narozhnyaya A.G., Polyakova T.A., Morkovskaya D.N. 2024. Metropolization Process in the Rural Settlement System of the Central Chernozem Region of Russia. Geography, Environment, Sustainability, 3(17): 98–108.

Gauthier A.H., Gietel-Basten S. 2025. Family Policies in Low Fertility Countries: Evidence and Reflections. Population and Development Review, 51(1): 125–161.

Osareme J.O., Muonde M., Maduka C.P., Olorunsogo T.O., Omotayo O. 2024. Demographic Shifts and Healthcare: A Review of Aging Populations and Systemic Challenges. International Journal of Science and Research Archive, 11: 383–395.

Javanmardnejad S., Bandari R., Heravi-Karimooi M., Rejeh N., Sharif N.H., Montazeri A. 2021. Happiness, Quality of Working Life, and Job Satisfaction Among Nurses Working in Emergency Departments in Iran. Health and Quality of Life Outcomes, 19: 1–8.

Kaiser N., Barstow C.K. 2022. Rural Transportation Infrastructure in Low-And Middle-Income Countries: a Review Of Impacts, Implications, and Interventions. Sustainability, 14(4): 2149.

Kodali P.B. 2023. Achieving Universal Health Coverage in Low-And Middle-Income Countries: Challenges for Policy Post-Pandemic and Beyond. Risk Management and Healthcare Policy, 607–621.

Komilova N.K., Rakhimova T., Allaberdiev R.K., Mirzaeva G.S., Egamberdiyeva U.T. 2021. Ecological Situation: The Role of Education and Spirituality in Improving Health of Population. International Journal of Health Sciences, 5(3): 302–312.

Kourtit K., Nijkamp P., Toger M. 2023. Sustainable Cities, Quality of Life, and Mobility-Related Happiness. In: Geography of Happiness: A Spatial Analysis of Subjective Well-Being. Cham, Springer International Publishing: 103–120.

Lavrina O.V., Shirokova E.V., Shpagina I.E., Koshelyaev, R.V. 2022. Development of Labor Potential of the Penza Region Agricultural Sector. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 953: 012009.

Mattson J., Brooks J., Godavarthy R., Quadrifoglio L., Jain J., Simek C., Sener, I. 2021. Transportation, Community Quality of Life, and Life Satisfaction in Metro and Non-Metro Areas of the United States. Wellbeing, Space and Society, 2: 100056.

Nadarajan J., Borhan M.H., Idrus M.S., Abdullah M.F.D., Hamid M.N.A., ... Ibrahim R. 2024. The Detrimental Impact of Low Birth Rates on Malaysia's Accelerated Transition to an Aged Society. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 14(10): 1598–1613.

Ziabina Ye., Goncharova K., Lieonov H. 2021. Analysis of Trends in the Development of Availability of Medical Dervices for Rural Population. Health Economics and Management Review, 2(4): 87–95.

Поступила в редакцию 21.05.2025;
поступила после рецензирования 01.11.2025;
принята к публикации 07.12.2025

Received May 21, 2025;
Revised November 01, 2025;
Accepted December 07, 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

Терещенко Екатерина Александровна, магистрант кафедры географии, экологии и общей биологии института естественных наук и биотехнологии, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

Тихий Владимир Иванович, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии, экологии и общей биологии института естественных наук и биотехнологии, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

Колбасов Сергей Викторович, магистрант кафедры географии, экологии и общей биологии института естественных наук и биотехнологии, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Tereshchenko, Master's student, Department of Geography, Ecology and General Biology, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Vladimir I. Tikhii, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geography, Ecology, and General Biology at the Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Sergej V. Kolbasov, Master's student, Department of Geography, Ecology and General Biology, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

УДК 911.9
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-403-420
EDN VTMCXX

Разработка комплексного показателя для концепции 15-минутного города на основе мер доступности и оценки пространственных неравенств трамвайной сети Калининграда

Орехов С.Ю., Часовский В.И.
Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
Россия, 236041, гор. Калининград, ул. А.Невского, 14
orechow@yandex.ru, prof.chasovsky@mail.ru

Аннотация. В исследовании предлагается методология количественной оценки концепции 15-минутного города на основе анализа доступности и пространственных неравенств на примере трамвайной сети г. Калининград. Разработана и протестирована новая метрика – *composite score x-minute (CSx)*, позволяющая определить степень территориальной доступности ключевых городских функций в пределах установленного временного интервала. На основе литературного анализа выделены районы Калининграда для реализации модели 15-минутного города. Для каждого района проведена оценка доступности на основе данных о поездках, а также введены параметры, учитывающие значимость пунктов назначения и тип функции затухания расстояния. Все показатели были стандартизированы, взвешены и агрегированы в составной индекс *CSx*. Методика апробирована на примере трамвайной системы Калининграда. Полученные результаты позволяют выявить районы с пониженной транспортной и функциональной доступностью, что дает основание для разработки мер по улучшению трамвайных связей и пространственного распределения сервисных функций. Разработанный подход может быть адаптирован для других городов и транспортных режимов, что свидетельствует о его универсальности и применимости в стратегическом городском планировании.

Ключевые слова: 15-минутный город, доступность, трамвайная сеть, пространственные неравенства, г. Калининград, анализ поездок, доступность

Для цитирования: Орехов С.Ю., Часовский В.И. 2026. Разработка комплексного показателя для концепции 15-минутного города на основе мер доступности и оценки пространственных неравенств трамвайной сети Калининграда. Региональные геосистемы, 50 (2): 403–420. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-403-420 EDN: VTMCXX

Development of a Comprehensive Indicator for the *15-Minute City* Concept Based on Accessibility Measures and Evaluation of Spatial Inequalities in the Tram Network of Kaliningrad City

Sergey Yu. Orekhov, Vladimir I. Chasovskii
Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A. Nevsky St., Kaliningrad 236041, Russia
orechow@yandex.ru, prof.chasovsky@mail.ru

Abstract. The study proposes a methodology for quantifying the concept of a 15-minute city based on an analysis of accessibility and spatial inequalities, using the example of the Kaliningrad tram network. A new metric has been developed and tested – the composite score x-minute (CSx), which allows determining the degree of territorial accessibility of key urban functions within a set time interval. Based

© Орехов С.Ю., Часовский В.И., 2026

on the literature analysis, districts of Kaliningrad have been identified that are important for the implementation of the 15-minute city model. An accessibility assessment was carried out for each area based on travel data, and parameters were introduced that take into account the importance of destinations and the type of distance attenuation function. All of the indicators have been standardized, weighted, and aggregated into a composite CSx index. The method has been tested on the example of the Kaliningrad tram system. The results obtained make it possible to identify areas with reduced transport and functional accessibility, which provides the basis for developing measures to improve tram connections and the spatial distribution of service functions. The developed approach can be adapted for other cities and transport modes, which indicates its versatility and applicability in strategic urban planning.

Keywords: 15-minute city, accessibility, tram network, spatial inequalities, Kaliningrad city, trip analysis, availability

For citation: Orekhov S.Yu., Chasovskii V.I. 2026. Development of a Comprehensive Indicator for the *15-Minute City* Concept Based on Accessibility Measures and Evaluation of Spatial Inequalities in the Tram Network of Kaliningrad City. Regional Geosystems, 50 (2): 403–420 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-403-420 EDN: VTMCXX

Введение

На фоне растущей плотности населения в городских районах и возрастающих опасений относительно устойчивости и здоровья граждан становится неотложной необходимость стимулировать переход большего числа горожан к активным формам передвижения. Концепция «15-минутного города» представляет собой стратегию, направленную на обеспечение основных потребностей и услуг в пределах короткого времени, с целью решения проблем, связанных с транспортным неравенством. Утверждается, что близость к сервисам может уменьшить использование автомобилей, повысив тем самым транспортную справедливость и безопасность на дорогах. Однако, в связи с тем, что концепция «15-минутного города» относительно нова и недостаточно исследована, существует ограниченное количество работ, посвящённых данной теме.

Многие современные города до сих пор испытывают влияние рационалистических подходов к урбанистике, характерных для XX века [Carot, 2024]. Это наследие выражается, прежде всего, в широком распространении зависимости от индивидуального автотранспорта [Mattioli et al., 2020; Saeidizand et al., 2022], что, в свою очередь, способствует неконтролируемому разрастанию городской территории за счёт периферийных жилых районов [Kasraian et al., 2017]. Такая модель пространственного развития нередко оказывается неготовой к быстрому росту численности населения и к соответствующему увеличению нагрузок на инфраструктуру [Jacobs, 2011]. В результате города сталкиваются с рядом острых проблем: ускоренное истощение природных ресурсов, рост уровня загрязнения окружающей среды [Sicard et al., 2023], формирование городских «островов доступности» [Rajagopal et al., 2023], а также углубление социального неравенства [Steffen et al., 2015].

В ответ на эти вызовы различные международные и национальные организации инициируют стратегические меры, направленные на улучшение качества городской среды [Odendaal, 2022]. В частности, Цель 11 Повестки дня в области устойчивого развития ООН подчёркивает необходимость «обеспечения открытости, безопасности, устойчивости и экологичности городов и населённых пунктов». Как подчёркивается в докладе ООН-Хабитат «Города мира 2022» [Khor et al., 2022], для преодоления взаимосвязанных кризисов, связанных с изменением климата и утратой биоразнообразия, необходимы срочные и системные действия. Особое внимание в докладе уделяется критической значимости формирования устойчивого будущего для городов.

На сегодняшний день именно города несут основную нагрузку в контексте климатического воздействия. Согласно данным Шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), на долю городских территорий приходится от 67 до 72 % глобальных выбросов парниковых газов [Shukla et al., 2022]. Эти показатели обусловлены, главным образом, деятельностью ключевых секторов экономики, таких как транспорт, строительство и обрабатывающая промышленность, сосредоточенных преимущественно в городах и столичных агломерациях [Jiang et al., 2024].

В связи с обострением городских проблем на передний план выходят новые концептуальные направления в рамках современной урбанистической теории. Одним из наиболее заметных подходов последних лет стал хроноурбанизм – направление, фокусирующееся на сокращении временных затрат жителей на повседневные перемещения и улучшении доступности базовых услуг. Наиболее ярким воплощением идей хроноурбанизма является концепция 15-минутного города, предложенная Карлосом Морено в 2016 году [Moreno, 2016]. Суть этой модели заключается в формировании городской среды, где все жизненно важные функции (работа, жильё, услуги, досуг) находятся в пределах 15 минут ходьбы или поездки на велосипеде от места проживания. Такая структура городской жизни предполагает создание более устойчивой, социально интегрированной и инклюзивной городской ткани.

В своей статье 2020 года под названием «Представляем 15-минутный город: устойчивость, жизнестойкость и идентичность места в постпандемических городах будущего» [Moreno et al., 2021] Морено обосновывает теоретические принципы данной модели. Он выделяет шесть ключевых компонентов, необходимых для обеспечения качества городской жизни: жильё, занятость, образование, здравоохранение, досуг и культура, а также местная торговля. Их территориальная доступность в рамках 15 минут становится фундаментом для устойчивой урбанистической трансформации.

Концепция 15-минутного города направлена на формирование городской среды, в которой повседневная жизнь становится максимально удобной и устойчивой за счёт обеспечения доступности всех основных услуг в пределах 15-минутной досягаемости от места жительства [Wang et al., 2024]. Такая пространственная организация позволяет каждому жителю получить доступ к ключевым инфраструктурным объектам – включая жильё, рабочие места, образовательные учреждения, медицинские службы, объекты досуга и культуры, а также местную торговлю – без необходимости в длительных перемещениях.

Ключевым аспектом этой концепции выступает городская мобильность, основанная на принципе пространственной близости к жизненно важным ресурсам. Она оказывает существенное влияние как на доступ к городским функциям, так и на поведение при выборе вида транспорта. При этом понятие городской пригодности для жизни отражает, насколько такая мобильность способствует повышению качества жизни и эффективности выполнения ежедневных задач [Louro, 2021].

Следует подчеркнуть, что концепция 15-минутного города обладает высокой степенью адаптивности и может быть масштабирована в зависимости от размеров и топографии конкретного города. В последние годы был предложен целый ряд вариаций модели – например, 5-, 10-, 15-минутные города, объединённые под обобщающим названием «х-минутные города» [Logan et al., 2022]. Эти модели представляют собой отход от традиционного рационалистического городского планирования XX века и предлагают более устойчивую и инклюзивную структуру городской среды. Исходя из данной логики, Логан с соавторами [Logan et al., 2022] предложили два подхода к оценке доступности в пределах целых районов: во-первых, метод так называемой х-минутной статистики, во-вторых, метод статистики по удобствам. Первый подход предполагает комплексную оценку городской доступности, основываясь на максимально возможном времени в пути до каждой из необходимых услуг. Это позволяет выявлять зоны

потенциальной изоляции и слабой связности в городской структуре. Второй подход сосредоточен на детальном анализе конкретных зон обслуживания, что особенно важно для выявления и устранения локальных дефицитов в распределении городских ресурсов.

Основу этой модели составляет сокращение расстояний повседневных перемещений и, соответственно, снижение потребления ресурсов, чего можно достичь посредством пространственного планирования, основанного на принципе близости [Tajani, Laurenzi, 2022]. Такой подход способствует снижению зависимости от индивидуального автотранспорта и стимулирует трансформацию городской морфологии в сторону климатически нейтральной [Allam et al., 2022]. В Европе x-минутная модель была признана важным элементом «зелёного перехода» и активно поддерживается на политическом уровне [Abdullah, De Gregorio, 2021]. При этом центральное внимание уделяется снижению доли частного моторизованного транспорта, который, как известно, составляет 72 % выбросов ПГ в транспортном секторе [Wiggins, 2020]. Вместо этого предполагается активное развитие альтернативных видов мобильности, включая велосипедный и общественный транспорт, а также формирование безопасной и комфортной пешеходной среды.

Дополнительно модель x-минутного города предполагает ориентацию на локализованное потребление и децентрализованное производство. Такая стратегия позволяет сократить логистические цепочки, связанные с упаковкой, хранением и транспортировкой товаров, которые в совокупности являются источником около 20 % глобальных выбросов парниковых газов [Li et al., 2022]. Актуальность исследований российских авторов в области устойчивой городской мобильности и транспортной доступности также значительно возросла в последние годы, что связано с необходимостью адаптации отечественных городов к современным вызовам урбанизации. Так, Е.О. Савельева в своих работах [2021; 2024] рассматривает вопросы интеграции систем землепользования и транспорта, а также изменения транспортного поведения населения как ключевой фактор достижения устойчивой мобильности. Эти исследования демонстрируют, что российские города сталкиваются с аналогичными проблемами, что и зарубежные мегаполисы, и требуют комплексных решений, направленных на снижение зависимости от индивидуального автотранспорта и развитие общественного транспорта.

Особое значение имеет работа А.О. Меренкова [2022], посвящённая развитию городской мобильности в контексте урбанизации российских городов. Автор акцентирует внимание на необходимости формирования новых моделей транспортного обслуживания, способных обеспечить доступность и комфорт передвижения в условиях роста населения и пространственного расширения городских территорий.

Таким образом, отечественные исследования подтверждают актуальность концепции устойчивой мобильности и демонстрируют её практическую применимость в российских условиях. Включение этих работ в научный дискурс позволяет сопоставить международный опыт с национальными особенностями и выявить направления для дальнейшего развития транспортной политики в российских городах.

Актуальность и практическая применимость данной концепции значительно возросли в период пандемии *COVID-19*, которая выявила уязвимости традиционных моделей урбанизации. В ответ на новые вызовы, ряд крупных городов начал внедрение политики, соответствующей модели 15-минутного города. Так, Париж реализует стратегию «*Ville du quart d'heure*», а Мельбурн – «*Plan Melbourne*» [Paquot, 2021]. Особенно показателен пример Валенсии, которая с 2020 года реализует принципы хроноурбанизма в рамках программы «*Missions València 2030*» [Cerezo et al., 2021], нацеленной на достижение углеродной нейтральности к 2030 году. Значимость усилий Валенсии была подчеркнута присуждением ей статуса Европейской зелёной столицы в 2024 году [Event programme …, 2024], что подтверждает приверженность города принципам устойчивого развития. В контексте настоящего исследования Валенсия

рассматривается в качестве фокусной территории благодаря своей амбициозной политике и системной реализации модели 15-минутного города.

Рост интереса со стороны органов управления, стремящихся к эффективной реализации концепции, привёл к необходимости разработки точных и надёжных индикаторов, позволяющих количественно оценивать уровень доступности в х-минутных городах. В ряде исследований уже предложены разнообразные метрики, охватывающие такие аспекты, как общая устойчивость городской среды [Abu-Rayash, Dincer, 2021], велосипедная инфраструктура [Saghapour et al., 2019; Knap et al., 2023], пешеходная доступность, дружественность городской среды к пешеходам, а также оценка доступности ресурсов с учётом различных типов мобильности.

В данном контексте особенно актуальным становится отсутствие эффективных методов и инструментов для измерения прогресса города на пути к тому, чтобы стать «15-минутным городом». Поэтому данное исследование нацелено на разработку методологии количественной оценки концепции «15-минутного города» с использованием анализа доступности трамвайного транспорта в городе Калининград.

Таким образом, цель данного исследования – разработать метрику для оценки уровня реализации концепции «15-минутного города», основываясь на показателях доступности трамвайных маршрутов.

В концепции «15-минутного города» основной идеей является обеспечение жителей доступом ко всем основным услугам в пределах 15 минут активного передвижения. Организация *CNU (Congress for the New Urbanism)* предложила радиусы для различных видов передвижения в 15-минутном городе, охватывающие услуги от повседневных потребностей до культурных и образовательных возможностей. Важно отметить, что концепция «15-минутного города» имеет разные интерпретации и требования в разных странах, что делает ее не универсальной. Основной целью остается снижение трафика, но обеспечение одинакового уровня сервиса для всех жителей оказывается сложной задачей. Условие, при котором 90 % населения может удовлетворить свои потребности в течение 15 минут, представляется разумным.

Необходимо подчеркнуть, что включение общественного транспорта в рассмотрение концепции «15-минутного города» является важным, поскольку время в пути на общественном транспорте подвержено множеству переменных, таких как задержки и начальные/конечные этапы маршрута. Учитывая, что 15 минут представляют собой относительно короткий временной интервал, доступ к узлам общественного транспорта и остановкам остается необходимым для тех, кто не в состоянии передвигаться пешком или на трамваях, а также для тех, кто периодически покидает город.

Настоящее исследование предлагает объединённый подход к оценке доступности, при котором данные о наличии и достижимости ресурсов интегрируются в составной показатель для каждого вида услуг, необходимых населению на ежедневной основе. Принципиально важно, что расчёты будут основываться исключительно на открытых источниках данных и программных средствах с открытым исходным кодом, что подчёркивает значимость прозрачности и свободного доступа к информации в интересах коллективного прогресса общества.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает система городского общественного транспорта Калининграда, в частности – трамвайная сеть, включая её маршруты, остановочные пункты и транспортную доступность в пределах 15-минутной пешеходной досягаемости. Анализ охватывает пространственную структуру размещения трамвайных маршрутов № 3 и № 5, а также выявление зон, находящихся в пределах краткосрочной пешеходной

доступности к ним. Исследование направлено на оценку транспортной обеспеченности городской территории, с учетом плотности населения и улично-дорожной сети.

Методологическая база исследования включает использование геоинформационных систем (ГИС) для построения изохрон (15-минутной досягаемости от остановок трамваев), а также метод пространственного наложения данных. Применяются аналитические инструменты *QGIS* и *OpenStreetMap*, в сочетании с расчетом коэффициентов доступности (*CS10, CS15, CS∞*), которые отражают долю населения, имеющего доступ к трамвайной сети в пределах заданного временного интервала. Дополнительно используется методика интеграции демографических данных с транспортной инфраструктурой для определения транспортной обеспеченности отдельных районов города.

Для ГИС-данных была выбрана сетка *CBS* 500 на 500 м, поскольку она состоит из квадратов одинакового размера, в отличие от полигонов *PC4* или *PC6*. Вариант 100 на 100 м также доступен, но использование его приведет к увеличению количества ячеек в исследуемой области в 25 раз, достигнув приблизительно 55 000.

В трамвайную сеть включены только основные (с движением в обе стороны) линии. Автомагистрали, главные и второстепенные дороги с односторонним движением не включаются в сеть.

Сеть была построена в программе *ArcMap* с узлами на каждом пересечении линий и возможностью движения в обоих направлениях по всем линиям.

Доступность для ячейки сетки i для типа назначения p определяется следующим образом:

$$A_{i,p} = \sum_j S_j \cdot f_D(jc_{ij}) \qquad (1)$$

где: $A_{i,p}$ – доступность для ячейки сетки i для типа назначения p; j принимает значения от 1 до n и представляет различные пункты назначения (тип p); S_j – параметр, связанный с пунктом назначения j; $f_D(jc_{ij})$ – функция затухания расстояния между ячейкой i и пунктом назначения j.

Требование D для каждого пункта назначения j определяется как:

$$D_j = \sum_k \sum_q P_{k,q} \cdot f(c_{kj})^q \qquad (2)$$

где: D_j – требование для пункта назначения j; k принимает значения от 1 до m и представляет исходные ячейки спроса услуг трамвайных перевозок; q принимает значения от 1 до r и представляет 3 района г. Калининград; $P_{k,q}$ – параметр, связанный с исходной ячейкой k и трамвайных остановок районов города q; $f(c_{kj})^q$ – функция затухания расстояния для трамвайных остановок района q между исходной ячейкой k и пунктом назначения j.

Оценка типа назначения осуществляется с применением функции затухания общего расстояния, применяемой к конкретному пункту назначения. Спрос (D_j) рассчитывается для группы трамвайных остановок в каждом районе и умножается на численность данной группы ($P_{k,q}$) в соответствующей ячейке k. При этом спрос учитывается для всех ячеек k, от которых возможен доступ к услуге j в пределах установленного времени.

Для расчета запаса потенциала согласно концепции 15-минутного города проводится оценка как для исследуемой территории, так и для 3-километровой буферной зоны вокруг нее, включая пункты назначения, находящиеся непосредственно за пределами исследуемой области. Рассмотрение спроса в этой зоне также включает другую буферную зону, поскольку жители, проживающие за пределами первой буферной зоны, также могут направляться к пунктам назначения, находящимся в пределах 3 км от границы буферной зоны.

Таким образом, мера доступности интерпретируется как количество услуг определенного типа назначения, доступных для ячейки сетки i на одного человека в

пределах установленного порогового времени. Для объединения показателей доступности в единую метрику необходимо предварительно стандартизировать их, чтобы они находились на одной шкале. Стандартизация оценок доступности выполняется на основе их диапазона, где диапазон представляет собой разницу между самым высоким и самым низким баллом, согласно следующей формуле:

$$X_{i,p} = \frac{A_i - A_{p,min}}{A_{p,max} - A_{p,min}} (3)$$

Эта оценка доступности важна, поскольку не все типы направлений равнозначны в контексте значимости.

В представленном исследовании используются три ключевые метрики: *CS10, CS15 и CS∞*. Они обозначают стандартизированные показатели доступности к определённым типам пунктов назначения (услуг) в пределах заданного времени в пути на трамвае – соответственно 10, 15 и 130 минут (в практическом смысле – без ограничения) (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Данные расчёта коэффициентов доступности CSx
CSx availability coefficient calculation data

CSx	Название коэффициента	Порог времени (мин)	Формула	Обозначения	Пояснение параметров	Источник данных
CS10	Коэффициент доступности на расстоянии до 10 минут	10	$A_{i,p} = \sum_j S_j \cdot f_D(jc_{ij})$	A_i,p – суммарная доступность до типа назначения p из ячейки i S_j – значимость пункта назначения j $fD\ (jc_{ij})$ – функция затухания расстояния от i до j	Стандартизированная доступность типа направления p в ячейке i. A_i рассчитывается по формуле (1).	ГИС-модель *ArcMap, CBS* сетка 500×500 м, данные о трамвайной сети и поездках
CS15	Коэффициент доступности на расстоянии до 15 минут	15	$D_j = \sum_k \sum_q P_{k,q} \cdot \left(f(c_{kj})\right)^q$	D_j – агрегированный спрос на пункт назначения j $P_{k,q}$ – численность пользователей в ячейке k района q $f(c_{kj})$ – функция затухания расстояния между k и j	Аналогично CS10, но используется больший временной порог, увеличивая охват пунктов назначения	Те же источники
CS∞	Коэффициент доступности без ограничения времени (130 мин)	∞ (фактически 130)	$X_{i,p} = \frac{A_i - A_{p,min}}{A_{p,max} - A_{p,min}}$	–	Учитываются все возможные направления, достижимые на трамвае в пределах всей модели	Те же источники

Метрики *CSx* (где x = 10, 15, ∞) являются обобщёнными интегральными коэффициентами доступности, учитывающими типы направлений (например, магазины,

школы, рабочие места и др.), их вес в структуре спроса, а также расстояние/время до этих направлений с учетом транспортной сети (в данном случае — трамвайной) (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Источники данных
Data sources

Параметр	Источник
Данные о поездках	База: 233,273 поездок, отфильтровано до 225,958 с валидной информацией
Данные о пользователях	21,556 записей, после фильтрации – 8,214 уникальных
ГИС-сетка	*CBS* сетка 500×500 м
Сеть трамваев	Векторная сеть в *ArcMap* (основные линии с движением в обе стороны)
Плотность населения	Районы с плотностью более 1000 чел./км² (Генплан или данные переписи населения)
Функции затухания	Эмпирически подобраны на основе анализа времени в пути
Типы направлений	Категории услуг: магазины, работа, досуг, рестораны и др.
Весовые коэффициенты	Определяются на основе значимости направления; варьируются в анализе чувствительности от 0 до 0,294

Результаты и их обсуждение

В 2019 году в Калининграде более половины всех поездок на работу и обратно осуществлялись на автомобиле, в то время как 26 % пассажиров предпочитали трамвай. Среднее расстояние поездки до и от работы составляло 9,72 км [по данным *klgd.ru*]. Это подчеркивает, что поездка на работу является повседневным событием для многих жителей города, играя ключевую роль в формировании их общей мобильной паттерны.

Измерение доступности трамвайного транспорта включает разнообразные методы, которые можно классифицировать в четыре основные группы: методы, основанные на расстоянии, гравитации, инфраструктуре и *Walk Score* (индекс оценки доступности пешеходных маршрутов), последний из которых учитывает несколько значений и представляет собой комплексную оценку проходимости или цикличности.

В случае методов, основанных на расстоянии, учитывается лишь время в пути или расстояние от отправной точки до пункта назначения. Эти методы могут учитывать пункты назначения в определенном временном интервале, ближайшие точки назначения или среднее расстояние или время в пути до ближайших возможностей. Для таких методов доступности необходимы начальные точки, объекты привлечения и набор данных, включающий информацию о пешеходных и трамвайных дорожках. Этот метод вычислений достаточно прост, однако порог расстояния выбирается произвольно и может значительно влиять на количество достижимых возможностей.

Методы вычисления расстояния могут варьироваться от евклидова или манхэттенского расстояния до сетевых расстояний. Результаты евклидова и манхэттенского расстояния сильно коррелируют с результатами, полученными при использовании сетевого расстояния. Тем не менее, сетевое расстояние является более точным показателем, а современные технологии и доступные данные позволяют относительно просто его реализовать.

Тематическое исследование, проводимое в данном контексте, фокусируется на городе Калининград. Выбор этого города обусловлен тем, что он представлен в пространственной стратегии как новый или уже существующий центр полицентричной

структуры. Исследуемая территория включает все районы, в которых плотность населения составляет 1000 человек на км^2 или более. Границы точной области исследования отображены на рис. 1.

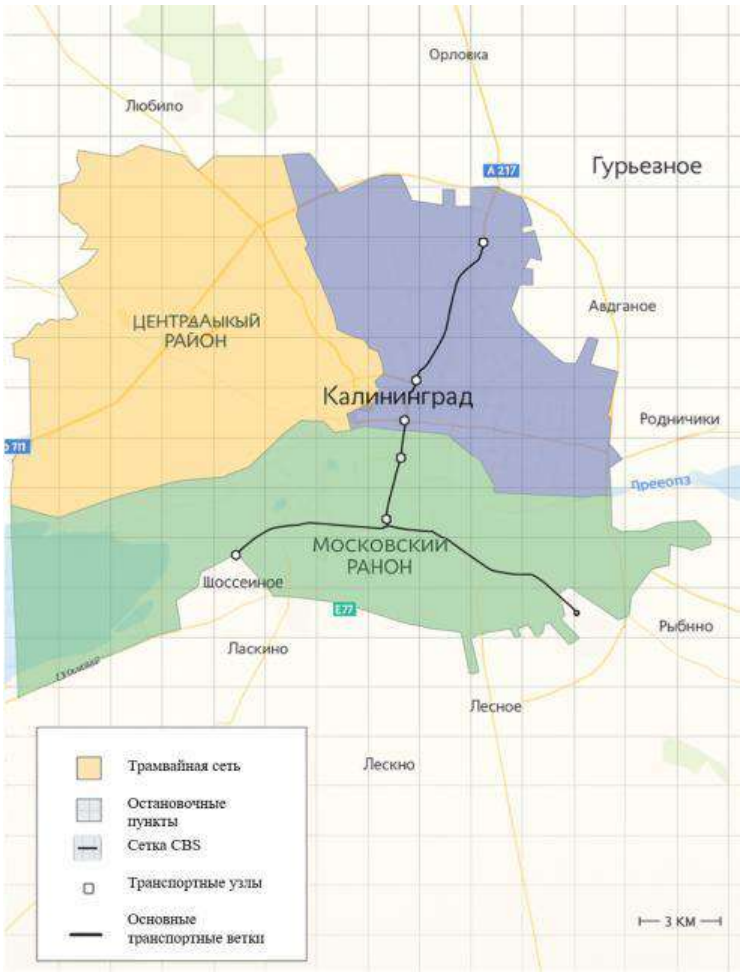


Рис. 1. Изучаемая территория
Fig. 1. The studied territory

Город Калининград хорошо известен как город, где многие люди ездят на трамваях из-за удобной трамвайной инфраструктуры. По данным *klgd.ru*, 48,5 % всех поездок в пределах Калининграда совершаются на общественном транспорте. Если учесть поездки в Калининград и обратно, то 27,6 % всех поездок совершаются на трамваях. Информация о поездках была отобрана из общего объема данных на основе нескольких критериев. В первую очередь были учтены только поездки, совершенные жителями урбанизированных зон 1, 2 или 3 (с плотностью населения более 1000 человек на км^2). Из этой выборки были выделены поездки с определенными направлениями, соответствующими требованиям концепции «15-минутного города».

По данным Яндекс.Карты, набор данных включает информацию о поездках и профилях пользователей. В наборе данных о поездках фиксируется 233,273 отдельных поездок, в то время как набор пользовательских данных содержит 21,556 записей о пользователях. После тщательной очистки от дубликатов и записей с низкой городской плотностью застройки (< 1000 адресов на км^2), набор пользовательских данных сокращается до 8,214 уникальных пользователей.

Анализ данных о поездках в контексте данных пользователей позволяет выделить 225,958 поездок, где содержится информация как о поездке, так и о пользователе. Этот

анализ исключает недействительные поездки с неизвестным временем в пути (0) или неизвестным способом передвижения. В итоге, из общего объема, 81,627 поездок были совершены с использованием трамвая.

Исходная сетка по районам города наложена на трамвайную сеть города Калининград по четырём секторам, соответствующим трамвайным линиям, и представлена на рис. 2.

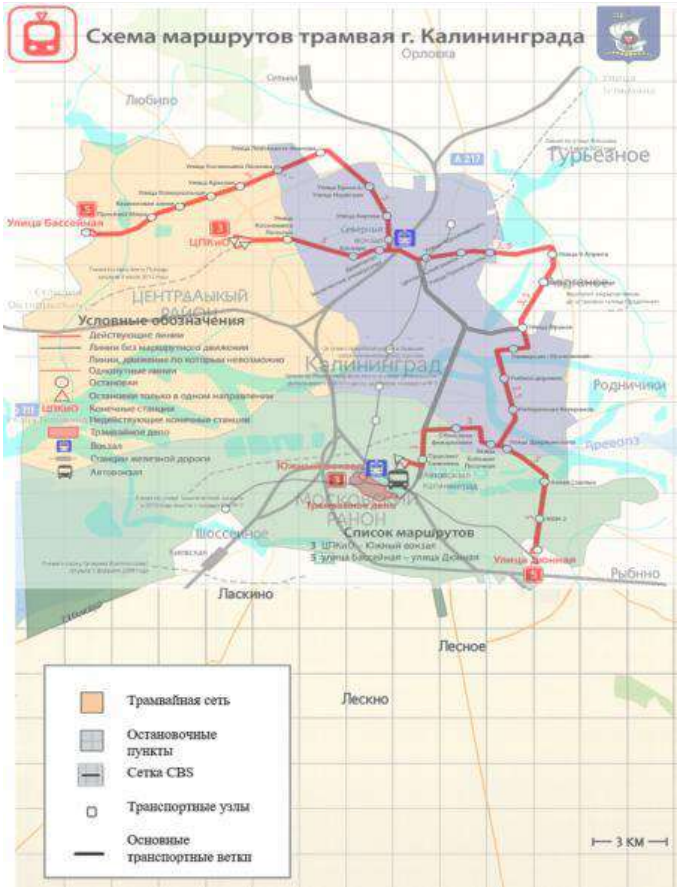


Рис. 2. Исходная сетка расчётной модели 15-минутной доступности города Калининград от трамвайных сетей

Fig. 2. Initial grid of the calculation model for 15-minute accessibility of the city of Kaliningrad from tram networks

Оценка для каждой ячейки включает в себя вес типа пункта назначения и оценку доступности для типа назначения *p* в данной ячейке *i*. Метрика рассчитывается для трёх различных порогов времени в пути: 10, 15 и максимальных 100 минут (CS_{∞}). Эти метрики далее обозначаются как CS_{10}, CS_{15} и CS_{∞}.

Доступность для каждого типа пункта назначения рассчитывается для двух пороговых значений времени в пути: 15 и 10 минут, учитывая как базовую концепцию 15-минутного города, так и 10-минутную цель города Калининграда.

В рамках анализа 15-минутной доступности трамвайной сети Калининграда представлена табл. 3, объединяющая действующие трамвайные маршруты, их остановки и соответствующие коэффициенты доступности (*CSx*).

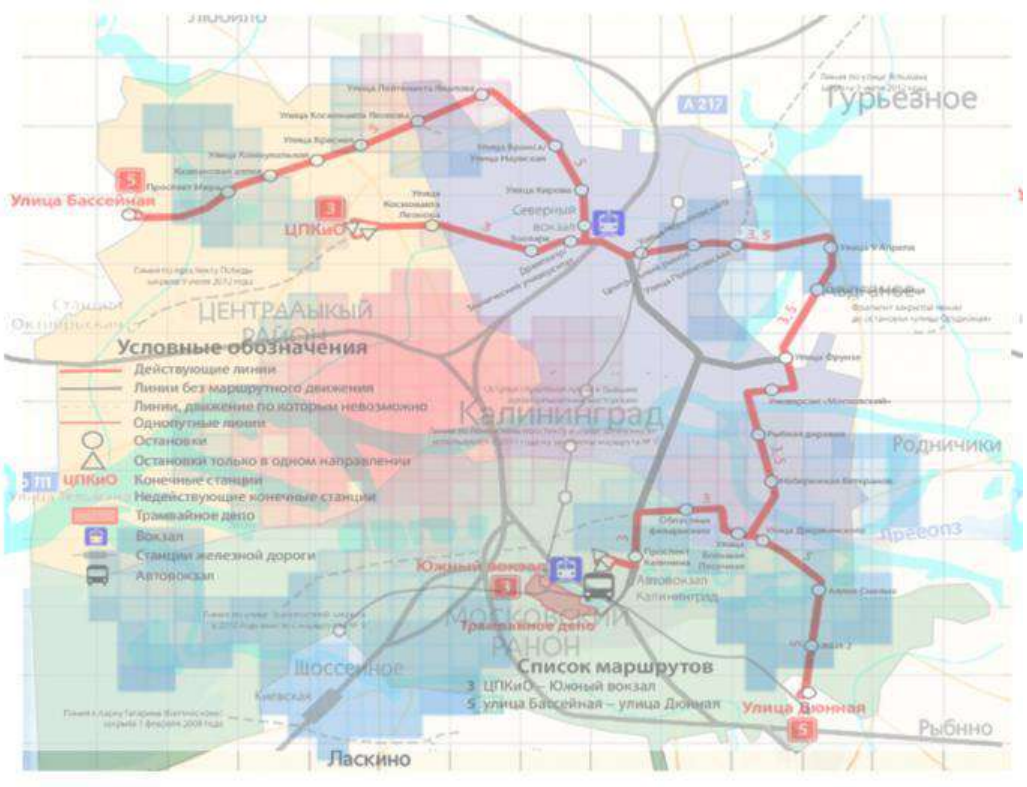
Таблица 3
Table 3

Исходная сетка расчётной модели 15-минутной доступности трамвайной сети Калининграда
Initial grid of the calculated model of the 15-minute accessibility of the Kaliningrad tram network

№ маршрута	Название маршрута	Протяжённость (км)	Основные остановки	CS10	CS15	CS∞
3	Южный вокзал – конечная станция Бассейная	21,7	Южный вокзал, Ленинский проспект, пл. Победы, ул. Черняховского, ул. 9 Апреля, Московский проспект, ул. Багратиона, ул. Бассейная	0,85	0,92	1,00
5	Конечная станция Мясокомбинат – конечная станция Бассейная	21,6	Мясокомбинат, ул. Дзержинского, Аллея Смелых, ул. Дюнная, Советский проспект, пл. Победы, ул. Черняховского, ул. 9 Апреля, Московский проспект, ул. Багратиона, ул. Бассейная	0,78	0,89	1,00

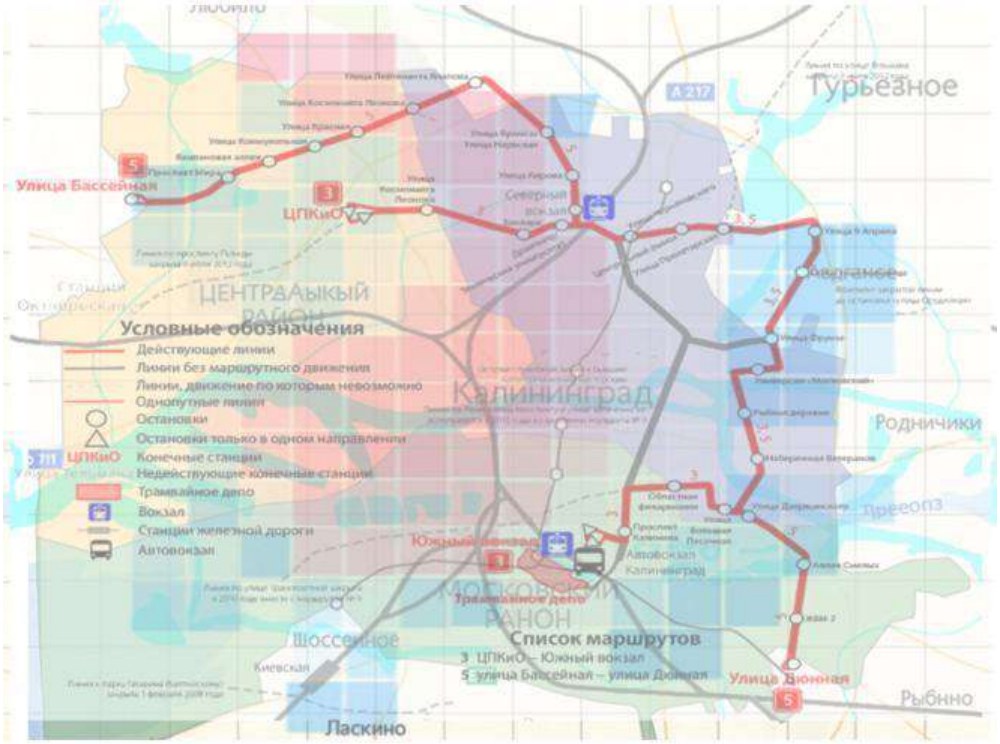
* Данные по остановкам и маршрутам получены из официальных источников Администрации города Калининграда и актуальны на 2024 год. Источники данных: Официальный реестр остановочных пунктов Калининграда: klgd.ru

Поскольку все баллы стандартизированы в соответствии с 10-минутным распределением баллов (как самые высокие, так и самые низкие выбросы), все результаты находятся на одной шкале и могут сравниваться друг с другом. На рис. 3 представлены результаты по категориям заданий и без учета категорий заданий, но результаты весьма схожи. В целом, CS_x без учета категории работы немного выше везде, потому что оценки работы относительно низкие почти во всей исследуемой области (см. рис. 3) и имеют большой вес.

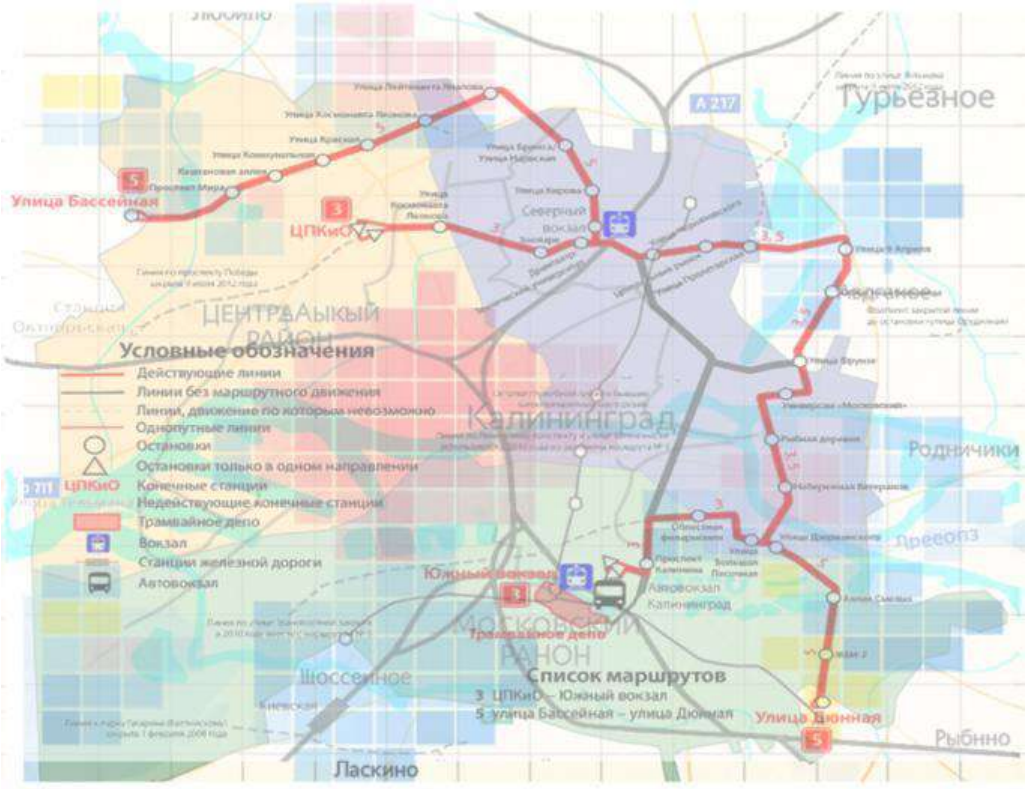


а)

b)



c)



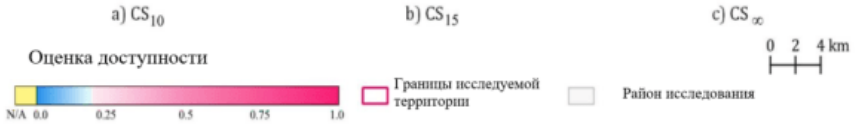


Рис. 3. a) CS_{10}, b) CS_{15} и c) $CS\infty$
Fig. 3. a) CS_{10}, b) CS_{15} и c) $CS\infty$

Наиболее заметным отличием между CS_{10} и CS_{15} является наличие ячеек сетки без оценки в CS_{10}. Эти ячейки сетки не имеют доступа к одному или нескольким типам назначения. С другой стороны, в CS_{15} есть только одна ячейка сетки в Калининграде на краю изучаемой области, которая не имеет баллов. Естественно, что без порога времени в пути все ячейки сетки могут достичь любого типа пункта назначения и, таким образом, получить оценку.

Наиболее существенным различием между моделями CS_{10} и CS_{15} является наличие ячеек сетки без оценки в модели CS_{10}, что свидетельствует о пространственной фрагментации доступности в пределах 10-минутной зоны. Эти ячейки характеризуются отсутствием доступа к одному или нескольким типам назначения, что указывает на ограниченность функциональной доступности в пределах заданного временного порога. В противоположность этому, модель CS_{15} демонстрирует практически полное покрытие территории: лишь одна ячейка на периферии исследуемой области остаётся без оценки, что подтверждает более высокую степень интеграции городской структуры в пределах 15-минутной доступности.

Модель $CS\infty$, в свою очередь, иллюстрирует теоретическую максимальную доступность, при которой все ячейки сетки достигают любого типа назначения без ограничения по времени. Это позволяет использовать её в качестве контрольной модели для оценки предельных возможностей городской инфраструктуры. Согласно расчётам, 5,76 % населения Калининграда не проживают в зоне 10-минутной доступности, тогда как в пределах 15 минут этот показатель снижается до 0,03 %, что свидетельствует о высокой степени пространственной эффективности городской трамвайной сети.

Тем не менее, интерпретация шкалы оценки доступности от 0 до 1 требует дополнительного пояснения. В рамках представленной модели как значения 0,1, так и 1,0 формально соответствуют критерию 15-минутной доступности, однако качественная разница между ними остаётся нераскрытой. Значение 0,1 может означать доступ лишь к одному типу назначения, тогда как 1,0 – к полному набору функциональных точек (работа, услуги, досуг и пр.). Отсутствие градации внутри доступной зоны затрудняет оценку реального уровня городской обеспеченности и может привести к переоценке эффективности транспортной сети.

Вопрос о достаточности двух трамвайных маршрутов для обеспечения 15-минутной доступности для 99 % населения требует критического анализа. Такая высокая степень охвата возможна лишь при условии высокой плотности населения вдоль трамвайных коридоров, компактной городской морфологии и оптимальной конфигурации маршрутов. В случае Калининграда это может свидетельствовать о высокой степени централизации городской структуры и концентрации функциональных назначений вблизи трамвайных линий. Однако без учёта качества пешеходной инфраструктуры, реальных маршрутов движения и барьеров (например, водных объектов, магистралей, промышленных зон) подобная оценка остаётся условной.

Анализ различий между административными районами города выявляет неоднородность доступности. Центральный район демонстрирует наивысшие показатели, что обусловлено плотной сетью остановок и концентрацией назначений. Московский район характеризуется умеренной доступностью, особенно в южной части, где плотность населения ниже. Ленинградский район, в силу своей периферийности, содержит наибольшее количество ячеек с низкой или нулевой оценкой, что требует дополнительных интервенций в транспортную инфраструктуру.

Для оценки надежности 15-минутной метрики города и измерения влияния неопределенности в весовых коэффициентах на дисперсию выходных данных, проведен анализ чувствительности. В рамках анализа неопределенности (UA) изучается, как неопределенность весов воздействует на значение изучаемого показателя. Анализ

чувствительности (*SA*), в свою очередь, определяет, как неопределенность каждого веса вносит вклад в дисперсию метрических выходных данных.

Методологическая основа проведённого анализа предполагает комплексный подход к оценке транспортной доступности, охватывающий всю территорию города, включая пешеходный сегмент маршрута от места проживания до ближайшей трамвайной остановки. Используемая модель основана на пространственно-решётчатой структуре (*CBS*-сетка), в которой каждая ячейка представляет собой дискретную территориальную единицу, соответствующую жилой зоне. Расчёт доступности осуществляется от центра ячейки, что позволяет учитывать реальное расстояние, необходимое для преодоления пешком до точки посадки на трамвай.

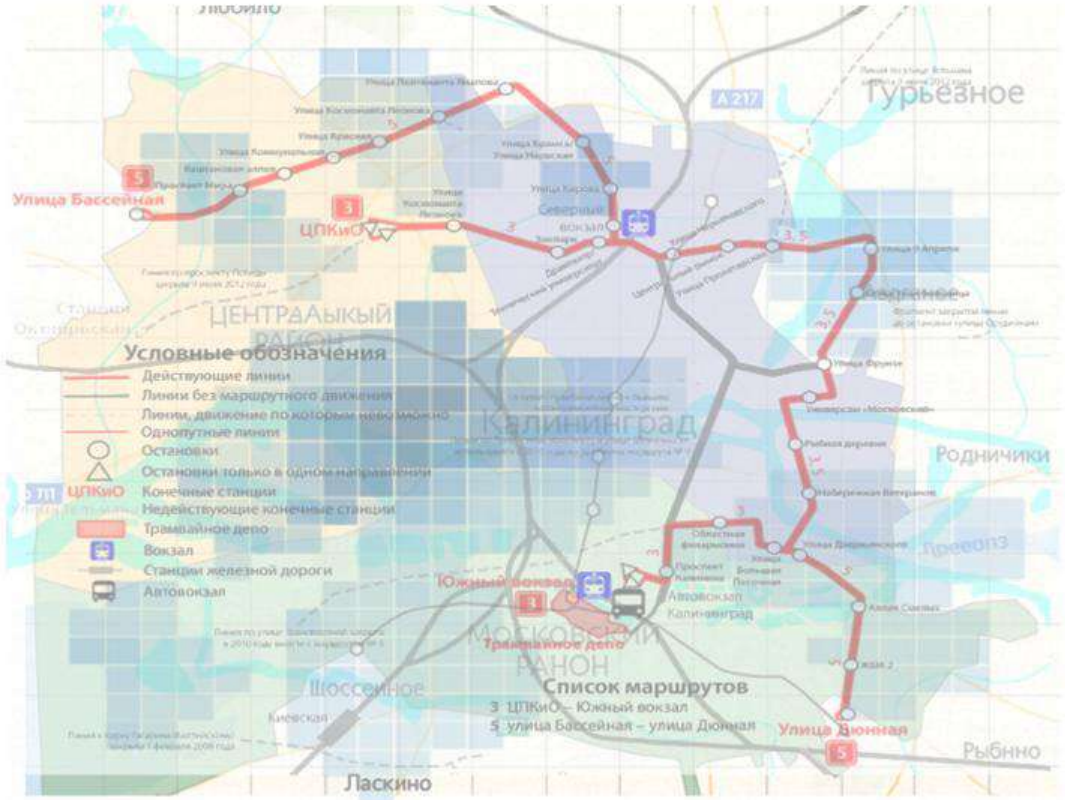
Таким образом, модель не ограничивается анализом времени в пути от остановки до назначения, а включает в себя весь маршрут, начиная с момента выхода из жилой зоны. Это обеспечивает более точную и репрезентативную оценку транспортной обеспеченности городской территории. В частности, 15-минутная доступность определяется как совокупное время, необходимое для достижения функционального назначения (работа, услуги, досуг) с учётом пешеходного сегмента и времени в пути на трамвае.

Пространственное покрытие, полученное в результате моделирования, демонстрирует высокую степень интеграции городской структуры: 99,97 % населения проживают в зоне 15-минутной доступности, что подтверждает эффективность существующей трамвайной сети. Следовательно, методика обеспечивает всестороннюю оценку доступности, охватывающую как транспортный, так и пешеходный компоненты, и может быть использована в качестве надёжного инструмента для анализа городской мобильности.

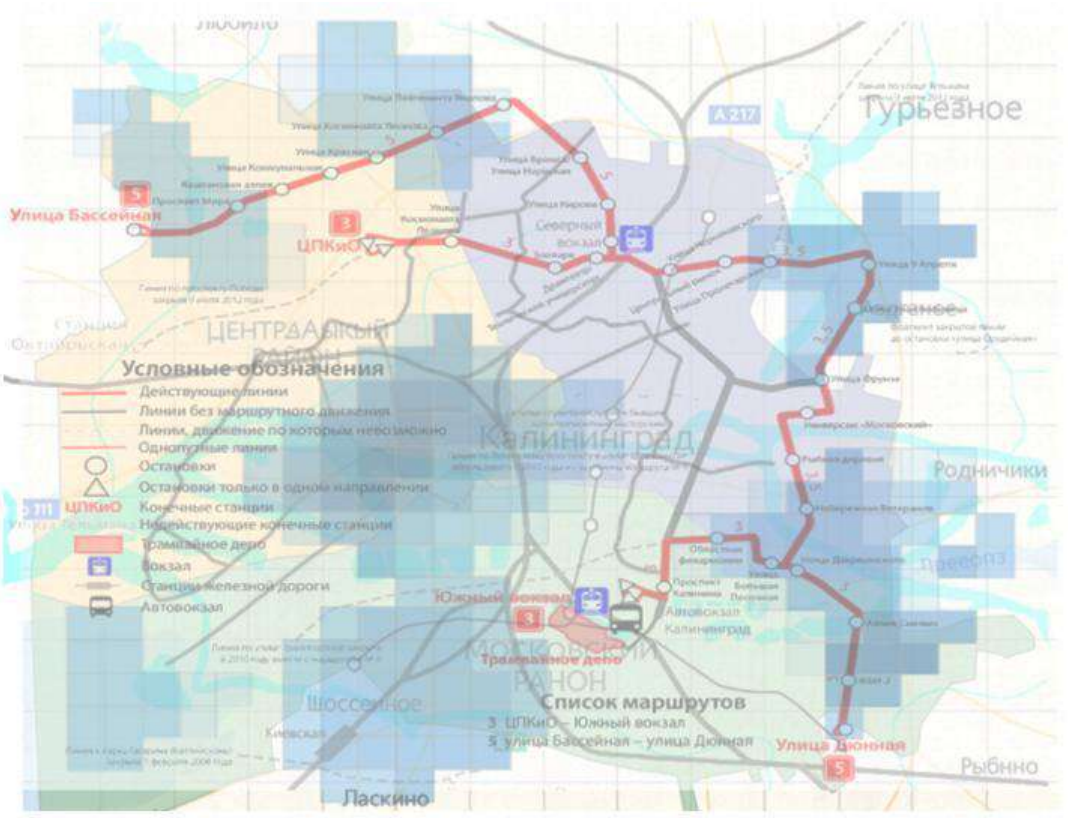
Для анализа неопределенности весовые коэффициенты были заданы в диапазоне от 0 до 0,294, что представляет максимальное значение веса задания. Включение весовых коэффициентов, равных 0, приводит к исключению одного или нескольких типов назначения в некоторых выборках. Таким образом, в анализе неопределенности рассматриваются как выбор субиндикаторов, так и схема взвешивания. Анализ чувствительности дает представление о том, как вариации в весовых коэффициентах влияют на общую дисперсию выходных данных метрики доступности.

Общий анализ метрик CS_{10} и CS_{15} показывает, что CS_{10} выдает высокие показатели в центре Калининграда и в Центральном районе. Также отмечается, что в соседних областях центры оцениваются выше, чем окраины. В результате CS_{15} более однороден, но наивысшие баллы все равно обнаруживаются в центре Калининграда и в Московском районе. Следует отметить, что более низкие значения метрик обнаружены в Ленинградском районе. Это наблюдение говорит о том, что доступность трамвайных маршрутов в этих районах может быть менее удовлетворительной по сравнению с другими частями исследуемой территории.

На рис. 4 отображаются стандартные отклонения оценок доступности для каждого типа назначения в каждой ячейке. Наблюдается, что CS_{15} и CS_{10} высоки в центре города и Ленинградском районе, однако стандартное отклонение также относительно высоко. Это свидетельствует о том, что некоторые категории могут получать очень высокие баллы, в то время как другие – значительно более низкие. В Московском районе, несмотря на низкие баллы в CS_{10} и CS_{15}, также присутствует высокое стандартное отклонение, указывая на некоторые проблемы с поставками для определенных типов назначения. Тем не менее, также заметно, что некоторые типы назначения в этом районе получают высокие баллы, что может свидетельствовать о наличии положительных аспектов в предоставлении определенных услуг.


Турьезное
Улица Бассейная
ЦПКиО
Северный вокзал
Родничики
Условные обозначения
Действующие линии
Линии без маршрутного движения
Однопутные линии
Остановки
Остановки только в одном направлении
Конечные станции
Недействующие конечные станции
Трамвайное депо
Вокзал
Станции железной дороги
Автовокзал
Южный вокзал
Автовокзал Калининград
Трамвайное депо
Список маршрутов
3 ЦПКиО – Южный вокзал
5 улица Бассейная – улица Дюнная
Улица Дюнная
Рыбинно
Шоссейное
Ласкино

a)


Турьезное
Улица Бассейная
ЦПКиО
Северный вокзал
Родничики
Условные обозначения
Действующие линии
Линии без маршрутного движения
Однопутные линии
Остановки
Остановки только в одном направлении
Конечные станции
Недействующие конечные станции
Трамвайное депо
Вокзал
Станции железной дороги
Автовокзал
Южный вокзал
Автовокзал Калининград
Трамвайное депо
Список маршрутов
3 ЦПКиО – Южный вокзал
5 улица Бассейная – улица Дюнная
Улица Дюнная
Рыбинно
Шоссейное
Ласкино

b)

c)

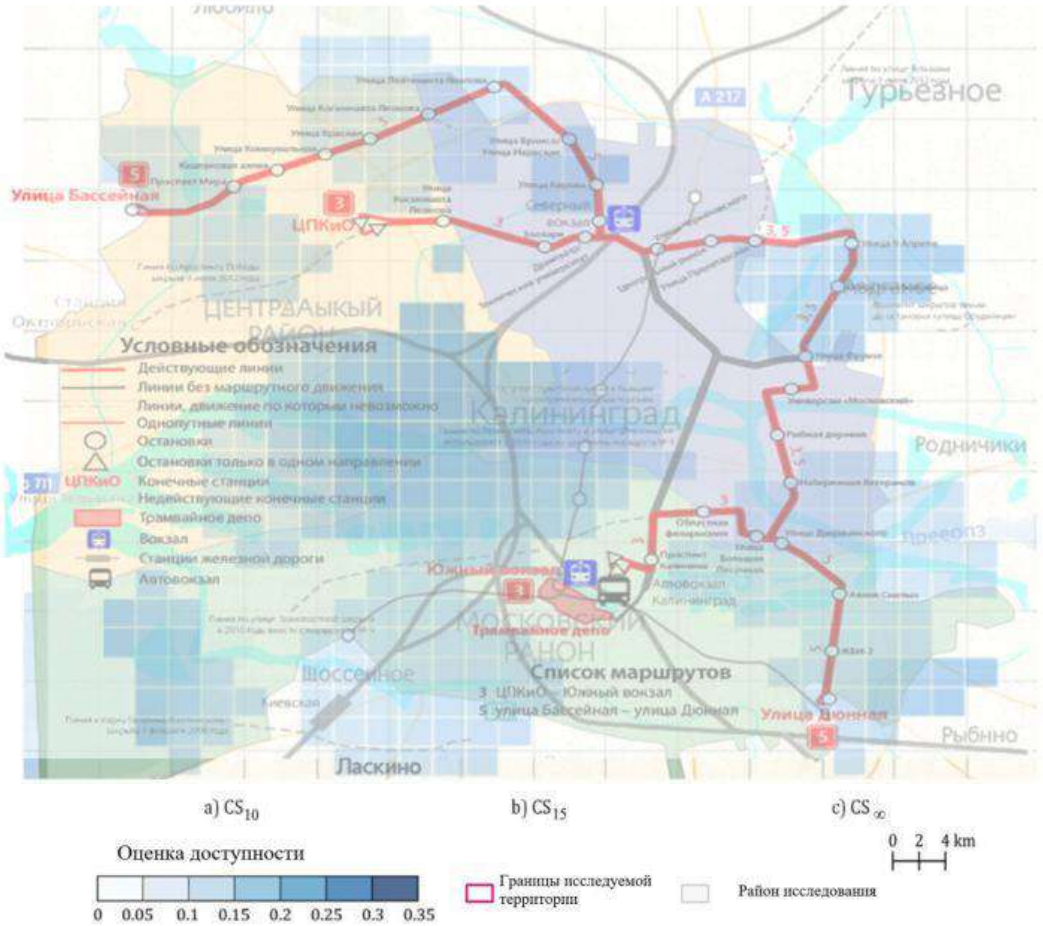


Рис. 4. Стандартное отклонение базовых оценок доступности CS_x
Fig.4. Standard deviation of the CS_x baseline availability estimates

Заключение

Результаты анализа мобильности в урбанизированных районах Калининграда показывают, что среднее время поездок на трамвае составляет от 10 до 15 минут в различные пункты назначения. Анализ функций затухания расстояния подтверждает, что большинство людей готовы добираться на трамвае до большинства типов пунктов назначения в пределах 10–15 минут, после чего интерес и готовность к использованию трамваев начинают снижаться. Таким образом, интервал от 10 до 15 минут может быть оптимальным порогом для удовлетворения мобильности в Калининграде.

Результаты проведенного анализа подтверждают, что исследуемая территория является 15-минутным городом для 99,9 % населения и 10-минутным городом для 94 % населения, преимущественно в центральных районах. Однако в некоторых отдаленных районах метрики CS_{15} и CS_{10} остаются низкими, соответствуя определению лишь одной службы для каждого доступного типа назначения.

Интеграция пространственных метрик с поведенческими данными – по предполагаемой и фактической доступности услуг, выявляет зоны напряжённости и потенциальные векторы развития городской инфраструктуры. Такой подход создаёт основу для формирования адаптивных стратегий территориального планирования, нацеленных на поэтапное приближение к модели города с минимальной зависимостью от моторизованного транспорта.

Кроме того, анализ устойчивости данной методологии к изменениям во временных и пространственных параметрах городов, а также её масштабируемость, создаёт условия для формирования прикладного инструментария, пригодного для использования в

муниципальном управлении, цифровом моделировании и политике устойчивого развития. Ожидается, что результаты исследования смогут быть интегрированы в стратегические документы по пространственному планированию, поддерживая переход к климатически нейтральным, инклюзивным и функционально сбалансированным городским структурам.

References

Abdullah H., De Gregorio S. 2021. A Green Deal for the Urban Age: A New Role for Cities in EU Climate Action. In: Towards a European Green Deal with Cities. The urban dimension of the EU's sustainable growth strategy. Barcelona, CIDOB: 27–38.

Abu-Rayash A., Dincer I. 2021. Development of Integrated Sustainability Performance Indicators for Better Management of Smart Cities. Sustainable Cities and Society, 67: 102704. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102704.

Allam Z., Nieuwenhuijsen M., Chabaud D., Moreno C. 2022. The 15-Minute City Offers a New Framework for Sustainability, Liveability, and Health. The Lancet Planetary Health, 6(3): e181–e183. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00014-6.

Carot J., Villalba A. 2024. A Quantitative Model of the City in 15 Minutes for Decision-Making. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 12(2): 1–12. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0502.

Cerezo F., Chillarón M., Peris J., Rosa D. 2021. Missions València 2030: La innovación orientada a misiones que mejoran la vida de las personas. El Consultor de los Ayuntamientos, 5.

Event programme European Green Capital València 2024. Electronic resource. URL: https://www.valencia.es/documents/20142/26150921/Programa_VCVE_eng.pdf. [Accessed: 31.03.2024].

Jacobs J. 2011. The Death and Life of Great American Cities. New York, Modern Library, 598 p.

Jiang M., Kim E., Woo Y. 2024. The Relationship between Economic Growth and Air Pollution – A Regional Comparison between China and South Korea. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(8): 2761. https://doi.org/10.3390/ijerph17082761.

Kasraian D., Maat K., van Wee B. 2017. The Impact of Urban Proximity, Transport Accessibility and Policy on Urban Growth: A Longitudinal Analysis Over Five Decades. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 46(6): 1051–1070. https://doi.org/10.1177/2399808317740355.

Khor N., Arimah B., Otieno R., van Oostrum M., Mutinda M., Oginga J. 2022. Securing a Greener Urban Future. In: World Cities Report, 4: 93–111.

Knap E., Ulak M., Geurs K., Mulders A., van der Drift S. 2023. A Composite X-Minute City Cycling Accessibility Metric and Its Role in Assessing Spatial and Socioeconomic Inequalities – A Case Study in Utrecht, the Netherlands. Urban Mobility, 3: 100043. https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100043.

Li M., Jia N., Lenzen M., Malik A., Wei L., Jin Yu., Raubenheimer D. 2022. Global Food-Miles Account for Nearly 20% of Total Food-Systems Emissions. Nature Food, 3: 445–453. https://doi.org/10.1038/s43016-022-00531-w.

Logan T., Hobbs M., Conrow L., Reid N., Young R., Anderson M. 2022. The X-Minute City: Measuring the 10, 15, 20-Minute City and an Evaluation of Its Use for Sustainable Urban Design. Cities, 131: 103924. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103924.

Louro A., Marques da Costa N., Marques da Costa E. 2021. From Livable Communities to Livable Metropolis: Challenges for Urban Mobility in Lisbon Metropolitan Area (Portugal). International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(7): 3525. https://doi.org/10.3390/ijerph18073525.

Mattioli G., Roberts C., Steinberger J., Brown A. 2020. The Political Economy of Car Dependence: A Systems of Provision Approach. Energy Research & Social Science, 66: 101486. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101486.

Merenkov A.O. 2022. Development of Urban Mobility in the Context of Urbanization of Russian Cities. Innovation & Investment, 5: 55–63 (in Russian).

Moreno C. 2016. La Ville du Quart D'heure: Pour un Nouveau Chrono-Urbanisme. La Tribune. Electronic resource. URL: https://www.latribune.fr/regions/smart-cities/la-tribune-de-carlos-moreno/la-ville-du-quart-d-heure-pour-un-nouveau-chrono-urbanisme-604358.html. [Accessed: 31.03.2024].

Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F. 2021. Introducing the "15-Minute City": Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. Smart Cities, 4(1): 93–111. https://doi.org/10.3390/smartcities4010006.

Odendaal N. 2022. Everyday Urbanisms and the Importance of Place: Exploring the Elements of the Emancipatory Smart City. Urban Studies, 58(3): 639–654. https://doi.org/10.1177/0042098020970970.

Paquot T. 2021. La ville du quart d'heure. Electronic resource. URL: https://esprit.presse.fr/article/thierry-paquot/la-ville-du-quart-d-heure-43275.[Accessed: 31.03.2024].

Rajagopal P., Shanti Priya R., Senthil R. 2023. A Review of Recent Developments in the Impact of Environmental Measures on Urban Heat Island. Sustainable Cities and Society, 88: 104279. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104279.

Saeidizand P., Fransen K., Boussauw K. 2022. Revisiting Car Dependency: A Worldwide Analysis of Car Travel in Global Metropolitan Areas. Cities, 120: 103467. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103467.

Saghapour T., Moridpour S., Thompson R. 2019. Sustainable transport in neighbourhoods: effect of accessibility on walking and cycling. Transportmetrica A: Transport Science, 15(2): 849–871. https://doi.org/1-32. 10.1080/23249935.2018.1540502.

Saveleva E.O. 2021. Managing Travel Behavior of the Population as a Way to Achieve Sustainable Mobility in Russian Cities. City and Town Planing, 1: 5–15 (in Russian). https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.01.01.

Saveleva E.O. 2024. Sustainable Mobility and (De)Integration of Land Use and Transportation Development in Russian Cities. Urban Studies, 2: 130–140 (in Russian). https://doi.org/10.7256/2310-8673.2024.2.70422

Shukla P., Skea J., Reisinger A. 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Summary for Policy Makers. Electronic resource. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf. [Accessed: 31.03.2024].

Sicard P., Agathokleous E., Anenberg S., De Marco A., Paoletti E., Calatayud V. 2023. Trends in Urban Air Pollution Over the Last Two Decades: A Global Perspective. Science of The Total Environment, 858(2): 160064. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064.

Steffen W., Broadgate W., Deutsch L., Gaffney O., Ludwig C. 2015. The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review, 2(1): 81–98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785.

Tajani C., Laurenzi C. 2022. Cities of Proximity. From the Neighborhood to the World. In: The City of Care. Springer Series in Design and Innovation: 57–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14608-4_6.

Wang T., Li Y., Chuang I.T., Qiao W., Jiang J., Beattie L. 2024. Evaluating the 15-minute City Paradigm Across Urban Districts: A Mobility-Based Approach in Hamilton, New Zealand. Cities, 151: 105147. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105147.

Wiggins B. 2020. Cars Are a Major Source of Greenhouse Gas Emissions – Some Cities Are Finally Taking Action. Global Citizen. Electronic resource. URL: https://www.globalcitizen.org/en/content/cities-car-bans-greenhouse-gas-emissions/.

Поступила в редакцию 25.07.2025;
поступила после рецензирования 06.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025

Received July 25, 2025;
Revised October 06, 2025;
Accepted November 24, 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

Орехов Сергей Юрьевич, аспирант Высшей школы пространственного развития и гостеприимства, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Часовский Владимир Иванович, доктор географических наук, профессор Высшей школы пространственного развития и гостеприимства, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey Yu. Orekhov, PhD student, Higher School of Spatial Development and Hospitality, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Vladimir I. Chasovskiy, Higher School of Spatial Development and Hospitality, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

УДК 911.373 (470.31)
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-421-435
EDN ZZIKJE

Сельское расселение Брянской области: современные особенности развития

Куница М.Н.
Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского,
Россия, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14
geodem12@yandex.ru

Аннотация. В современный период происходят активные изменения сельского расселения Центральной России и ее субъектов. В контексте реализации государственных программ развития сельской местности страны усиливается важность его изучения. Цель данной работы – анализ особенностей трансформации сельского расселения юго-западной приграничной Брянской области в первой четверти XXI века. Применены системный и территориальный научные подходы исследования. Показана специфика комплекса гетерогенных факторов, влияющих на ситуацию в модельном регионе. Выделены ведущие процессы перестройки расселения. Отражены как общероссийские тренды, так и выраженное своеобразие его функционирования в области. Проанализирована динамика сети поселений. Выявлены общие и региональные черты сжатия заселенного пространства, углубления контрастности, изменения структуры расселения на двух уровнях – субъекта и его муниципальных образований. Рассмотрена территориальная дифференциация сельского расселения. Обозначены основные проблемы и тенденции его развития в Брянской области.

Ключевые слова: сельское расселение, сеть расселения, трансформация, развитие, дифференциация, фактор, процесс, регион

Для цитирования: Куница М.Н. 2026. Сельское расселение Брянской области: современные особенности развития. Региональные геосистемы, 50(2): 421–435. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-421-435 EDN: ZZIKJE

Rural Settlement Pattern of the Bryansk Region: Modern Development Features

Marina N. Kunitsa
Bryansk State Academician I.G. Petrovski University,
14 Bezhitskaya St., Bryansk 241036, Russia
geodem12@yandex.ru

Abstract. The active changes in the rural settlement pattern of Central Russia and its subjects are taking place in the modern period. The importance of its study in the context of the implementation of state programs for the development of the country's rural areas is increasing. The purpose of this work is to analyze the peculiarities of the transformation of rural settlement pattern of the southwestern border Bryansk region in the first quarter of the 21st century. Systemic and territorial scientific research approaches were applied. The specifics of complex of heterogeneous factors which influence in the situation of the model region is shown. The leading processes of restructuring of the settlement pattern are highlighted. Both the all-Russian trends and the pronounced peculiarity of its functioning in the region are reflected. The dynamics of the settlement network is analyzed. The common and regional features of

© Куница М.Н., 2026

compression of populated space, of deepening the contrast, changes in the structure of settlement pattern at two levels – of a subject and its municipalities are revealed. The territorial differentiation of the rural settlement pattern is considered. The main problems and trends of its development in the Bryansk region are indicated.

Keywords: rural settlement pattern, settlement network, transformation, development, differentiation, factor, process, region

For citation: Kunitsa M.N. 2026. Rural Settlement Pattern of the Bryansk Region: Modern Development Features. Regional Geosystems, 50(2): 421–435 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-421-435 EDN: ZZIKJE

Введение

Развитие сельской местности как исторически сложившегося территориального комплекса, повышение ее экономического и социального потенциалов, качества жизни ее населения – приоритеты «Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года», Государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий», значимые направления национальных проектов. Их практическая реализация в стране требует усиления роли пространственного подхода, региональных исследований структуры данного комплекса, его важной экистической составляющей – сельского расселения. Длителен и динамичен процесс его функционирования в пределах староосвоенных районов Центральной России. В современный период наблюдается его трансформация.

Для модельной юго-западной приграничной Брянской области характерны сложные тенденции развития расселения, сочетающие общероссийские тренды и выраженную региональную специфику. Его исследование осуществляется с разных научно-методических позиций. Можно выделить несколько основных направлений с отражением ситуации на разных таксономических уровнях. Особенности сети поселений данного субъекта как элемента более крупной системы представлены: 1) на национальном уровне – на фоне процессов изменения сельского расселения в стране, ее Европейском макрорегионе (работы А.И. Алексеева, С.Г. Сафронова, М.С. Савоскул, Г.Ю. Кузнецовой, Н.В. Зубаревич и др.); 2) на межрегиональном уровне (в Центральной России, Нечерноземье) – как компонента структуры сельской местности (труды Т.Г. Нефедовой, А.И. Трейвиша, К.В. Аверкиевой и др.), как подсистемы расселения территории (статьи А.А. Ткаченко, А.А. Фомкиной, В.Н. Шаврина, И.Н. Румянцева, А.А. Смирновой и др.); 3) на нескольких уровнях (от национального до муниципального) – в типологическом аспекте (публикации А.С. Наумова, И.Н. Рубанова, Н.Х. Аблязиной и др.). Среди работ регионального уровня, в различных аспектах характеризующих современную сельскую местность области, только некоторые являются тематическими. В данной статье представлены результаты комплексного анализа развития сельского расселения Брянской области в современный период (в первой четверти XXI века).

Объекты и методы исследования

Комплексность исследования обеспечивалась реализацией «внутренней» географической и «внешней» интеграции географии расселения с другими системами наук. Объектом являлись сельские населенные пункты Брянской области, образующие региональные сети расселения. Информационную базу работы составили разные типы источников – литературные, нормативно-правовые, статистические, картографические. Ведущие научные подходы – системный и территориальный. Основными единицами пространственного анализа выбраны административно-территориальные. Область и ее

муниципальные образования (районы, городской и муниципальные округа) отвечают требованиям наличия и сопоставимости информации. Исследование проводилось на региональном и дифференцировано на локальном уровне (сельские поселения). Применены методы анализа и синтеза, сравнительно-географический, группировок, картографирования.

Анализ включал несколько этапов. Первый – создание банка тематической информации о сети сельских населенных пунктов Брянской области. Второй – изучение комплекса факторов развития расселения. Третий – выделение ведущих процессов трансформации расселения региона, главных особенностей динамики его структуры и сети. Четвертый – выявление специфики его территориальной дифференциации. Пятый – определение основных проблем и тенденций развития сельского расселения области.

Результаты и их обсуждение

Факторы развития сельского расселения Брянской области.

В современный период трансформация геополитических отношений и социально-экономических процессов, институциональные преобразования, демографические «волны», экологическая Чернобыльская катастрофа образуют сложный комплекс факторов функционирования населенных пунктов этого юго-западного субъекта Центрального федерального округа (ЦФО). Они формируют систему «вызовов» развитию расселения, на которые оно отвечает изменением процессов и структуры.

Важна роль геополитического фактора. Длительная приграничность и транзитность – особенности экономико-географического положения (ЭГП) данного региона, оказывающие влияние в прошлом и настоящем на многие черты его социально-экономической структуры и расселения. В современный период область выделяется своим стратегическим геополитическим положением на стыке трех стран. Трансформация международных отношений определила различную динамику и функции границ: укрепление контактной с Белоруссией, изменение контактной на барьерную – с Украиной. Муниципальные образования области, примыкающие к границе с государствами, «совершающими в отношении Российской Федерации, российских юридических лиц и физических лиц недружественные действия…», отнесены к геостратегическим территориям [Стратегия пространственного развития…, 2024]. Это периферийное российско-украинское пограничье (5 муниципальных районов и один округ) в условиях проведения специальной военной операции выделяется сильным обострением угроз жизнедеятельности населения и функционированию поселений. Еще одна ключевая черта ЭГП области – близость ее к столичному региону обусловливает выраженную ориентацию на него социально-экономических связей, миграций жителей. На локальном уровне возрастает роль положения сел по отношению к организационным центрам разных рангов, транспортным сетям. Расширение сферы влияния пригородного сельского расселения [Алексеев, Сафронов, 2015] характерно и для Брянщины.

Воздействие институциональных факторов (политических, правовых, экономических, социальных) многоаспектно (прямое и косвенное, обеспечивающее и лимитирующее, на разных пространственных уровнях). В целом для развития сельского расселения субъекта наиболее важны следующие институты: государственные (законодательство – административное, кадастровое, финансовое, налоговое, трудовое, особенное – «чернобыльское», в сфере демографической политики, территориального планирования и др.; стратегии и программы пространственного развития страны, ее сельских территорий), рыночные (собственности, инфраструктурные, инвестиционные, занятости и др.). Большое влияние на расселение оказала муниципальная реформа, нацеленная на создание в стране новых структур управления, замену административно-территориального деления на муниципальное. Ее основной этап пришелся на 2003–

2009 гг., но реализовалась она и в дальнейшем. В области в условиях трансформации сельских территориальных единиц управления сократилось их количество и выросла численность населения. Так, на 1 января 2000 года насчитывалось 413 сельских администраций (средняя людность 1089 чел.), 2025 года – 176 поселений (1941 чел.) [Регионы России…, 2000; Брянская область…, 2025]. Данный процесс отражает тренд уменьшения сельских жителей, однако активная централизация и укрупнение поселений способствуют повышению социально-экономической дифференциации и, в частности, поляризации расселения. В последние годы в условиях новых вызовов усилилась роль законодательного обеспечения системы безопасности жизнедеятельности людей и социально-экономического функционирования Брянщины и особенно ее российско-украинского пограничья.

Долговременный фактор – природный. Для области характерны благоприятные для населения природные условия – равнинный рельеф, умеренно-континентальный климат, хорошая водная обеспеченность, распространение зональных хвойных, смешанно- и широколиственно-лесных, лесостепных ландшафтов. Территорию отличает значительное разнообразие ландшафтной структуры с сочетанием ополий и предополий, предполесий, полесий, моренных, эрозионно-расчлененных лессовых равнин, речных долин [Природа и природные ресурсы…, 2012]. Эти особенности естественного базиса в комплексе с историко-политическими и социально-экономическими факторами прямо и опосредованно через характер сельскохозяйственной освоенности повлияли на формирование относительно плотного мелко-среднеселенного и среднеселенного расселения с доминированием долинного типа размещения сел. Специфика и рисунок природно-территориальных комплексов (ПТК) во многом обусловили стержневые линии его каркаса. Данный тип расселения – отражение длительной адаптации людей к ландшафтному разнообразию территории.

В ходе общественного развития значение природной среды уменьшалось. Однако с ростом антропогенной нагрузки, снижением потенциалов ПТК стала усиливается ее лимитирующая функция. Для Брянской области особо негативным фактором стал радиационно-экологический. После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году она оказалась наиболее пострадавшим субъектом России. Была поражена треть ее территории, где в пределах 4 зон загрязнения – отчуждения (свыше 40 Ku/км^2), отселения (15–40 Ku/км^2), проживания с правом на отселение (5–15 Ku/км^2), с льготным социально-экономическим статусом (1–5 Ku/км^2) проживало 33 % ее населения [«Чернобыль»…, 2011]. Наиболее сложная ситуация на юго-западе. Неоднократно изменялось зонирование субъекта (в 1997, 2005, 2015, 2023 годах). Этот вызов природно-экологического риска обусловил трансформацию хозяйства, демографического, особенно миграционного поведения людей, системы расселения. К настоящему времени вследствие естественного распада радионуклидов и проведения реабилитационных мероприятий в большей части регионов обстановка улучшилась. Однако, в зонах загрязнения и в 2024 году было сконцентрировано 27 % всего (21 % городского и 39 % сельского) населения области.

Активизировалось влияние демографического фактора на развитие расселения. Современный период характеризуется трансформацией, динамизмом, сменой прогрессивных и регрессивных тенденций естественного и миграционного движения, структуры населения. Демографический кризис сельской местности области проявляется в уменьшении населения, естественной убыли, деформации половозрастного состава, сложности миграционных процессов [Куница, 2022]. Депопуляция региона – системная проблема. Количество сельских жителей за период 01.01.2000–01.01.2025 годов сократилось на 24,1 % (с 449,9 тыс. чел. до 341,6 тыс. чел.) [Брянская область…, 2025]. Это существенно выше, чем в целом в ЦФО (–8,4 %). Численность населения упала в 24 из 27 муниципальных образований области, где естественная убыль не компенсировалась

миграционным притоком или усиливалась оттоком. Наибольшие потери (свыше 40 % за анализируемый период) на западной, юго-западной и южной периферии. В последние три года темпы депопуляции выросли. Максимальны они в 4 муниципальных образованиях российско-украинского приграничья и еще в нескольких районах, образующих вместе своеобразную «дугу» от юга до северо-запада. За четверть века потенциал увеличился в 3 субъектах пригородной и полупригородной зон, что определялось длительной лучшей в области демографической ситуацией (наименее и относительно неблагоприятной), а в Брянском районе и Жуковском округе еще и административной перестройкой (переводом в категорию сел поселков городского типа). Сейчас данная тенденция сохранилась только в Брянском районе, однако и она ослабевает. Сокращение населения и в перспективе останется важным лимитирующим фактором развития области.

Депопуляция во многом обусловлена кризисом процессов воспроизводства населения. Пик длительной естественной убыли наблюдался в 2000–2006 гг. После восьмилетнего улучшения ситуации снова проявилась негативная тенденция снижения рождаемости и усложнилась динамика смертности. Уровень убыли постоянно превышает показатели ЦФО. Согласно критерию демографической безопасности [Экономическая безопасность…, 2005] его можно охарактеризовать как практически постоянно кризисный (свыше –7,0 ‰), снижение до предкризисного (–4,0 – –6,9 ‰) было кратким, а к докризисному (менее –4,0 ‰) не происходило. Субъект отличается регрессивным типом возрастной структуры сельского населения [Будажанаева, 2024], усиливается его старение. Для ослабления проблем важно эффективное осуществление «Стратегии действий по реализации семейной и демографической политики, поддержке многодетности в Российской Федерации до 2036 года», национальных проектов («Семья», «Новые технологии сбережения здоровья», «Продолжительная и активная жизнь» и др.). Для области характерно интенсивное миграционное движение сельских жителей, что отражает его периодизация [Куница, 2022]. Ситуация в XXI веке динамична при преобладании оттока. Ведущие черты настоящего этапа (с 2022 года) – колебания миграционного оборота, отрицательное сальдо, изменение межрегиональных перемещений и направлений преобладающего внутрирегионального перетока, снижение значения внешней миграции. Высока степень территориальной дифференциации демографической структуры сельского населения (от наименее неблагоприятной со значительным ростом численности жителей в Брянском районе до длительно кризисной с активной депопуляцией, доминирующей в субъекте и типичной для 13 в основном периферийных районов). Негативные социально-демографические процессы лимитируют устойчивость большого числа сел и стимулируют сжатие сети поселений.

Среди ведущих факторов функционирования расселения – трансформация экономики области. В последнее десятилетие одним из драйверов развития субъекта стал агропромышленный комплекс. Это связано, в частности, с реализацией политики импортозамещения, национальных проектов, с приходом крупных инвесторов, интенсификацией деятельности. Позиция области в аграрном комплексе страны, варьируя, после падения повысилась (2000 г. – 29, 2010 г. – 33, 2020 г. – 24, 2023 г. – 19, 2024 г. – 20 место). Упрощение отраслевой структуры сменилось ее диверсификацией. Субъект по ряду базовых показателей в последние годы входит в десятку лидеров в России (по производству картофеля – первое, скота и птицы (на убой) – третье место). Однако, при внедрении новых технологий восстановление производства в староосвоенных районах Центра приводит к углублению пространственных контрастов в экономике [Nefedova, 2022] и не способствует сохранению занятости местного населения [Нефедова, 2021]. Это характерно и для Брянщины с активным развитием агрохолдингов. Вне пригородной зоны во многих регионах с многоотраслевым АПК продолжается депопуляция, что снижает устойчивость сети расселения. При уменьшении роли производственной возрастает

значение селитебной, рекреационной и потребительской функций деревни [Алексеев, Сафронов, 2017]. Их реализация зависит и от специфики инфраструктурного комплекса сельской местности. В нем происходят позитивные изменения. Однако уровень его развития дифференцирован, на что повлияла и муниципальная реформа, содействуя стягиванию сервисного сектора в центры сельских поселений. Проблемы транспортной доступности, обеспечения качества торгового, социального, жилищно-коммунального обслуживания лимитируют жизнедеятельность людей большого количества сел, особенно на периферии субъекта. Довольно высокая миграционная мобильность жителей частично ориентирована на обустроенные села, но в основном – на городские населенные пункты и не только области с возможностью трудоустройства и развитым сервисом.

Взаимодействие разнотипных групп факторов определило перестройку расселения.

Современные особенности развития сельского расселения Брянской области.

Его структура изменялась по трем «векторам» – усложнения, адаптации, деградации, с различием тенденций трансформации разных категорий поселений, спецификой периодов – начала столетия [Куница, 2012] и последнего 15-летия. В процессах ее развития выделяется несколько ведущих направлений. Динамика показателей сети расселения области отражена в таблице, составленной на основе анализа материалов Всероссийских переписей населения [Итоги Всероссийской … 2002 года, 2025; Всероссийская … 2010 года, 2025; Итоги Всероссийской … 2020 года…, 2025].

Динамика распределения сельского населения Брянской области
по населенным пунктам разных групп людности
Dynamics of the rural population distribution of the Bryansk region
by settlements of different population size groups

Группы населенных пунктов по людности (чел.)	Количество населенных пунктов по итогам Всероссийских переписей населения			Удельный вес населенных пунктов в сети расселения (%)			Удельный вес населенных пунктов в численности сельского населения (%)		
	2002	2010	2020	2002	2010	2020	2002	2010	2020
Всего, в том числе	2688	2633	2604	100	100	100	100	100	100
Очень малые (1–50 чел.):	1355	1289	1218	50,4	49,0	46,8	5,9	5,1	4,6
1–10	486	590	681	18,1	22,4	26,2	0,6	0,7	0,8
11–50	869	699	537	32,3	26,6	20,6	5,3	4,4	3,8
Малые (51–200 чел.):	618	449	406	23,0	17,1	15,6	14,3	11,6	12,7
51–100	364	264	196	13,5	10,0	7,5	5,9	4,8	4,0
101–200	254	185	210	9,5	7,1	8,1	8,4	6,8	8,7
Средние (201–500 чел.)	392	397	349	14,6	15,0	13,4	30,2	33,1	30,6
Большие (501–1000 чел.)	169	132	109	6,3	5,0	4,2	25,5	23,0	20,7
Крупные (1001–2000 чел.)	42	34	29	1,6	1,3	1,1	12,4	11,8	11,2
Крупнейшие (более 2000 чел.)	14	16	19	0,5	0,6	0,7	11,7	15,4	20,2
Пункты без населения	98	316	474	3,6	12,0	18,2	–	–	–

Углубление дифференцированности расселения. Данный тренд с обособлением разных частей поля расселения – жизнеспособной и депопулирующей с отмирающими пунктами длительно типичен для Центра страны, особенно его периферии [Лухманов, 2001; Зубаревич, 2013; Алексеев, Сафронов, 2015; Нефедова, 2021]. Первая четверть XXI столетия на Брянщине отличается выраженной спецификой. Ведущие факторы депопуляции: экономические (изменение экономической политики, трансформация аграрного сектора), институциональные (законодательные реформы), демографические (естественная убыль, доминирование миграционного оттока, старение населения), «чернобыльские» процессы, а в последние годы и новый вызов – проведение специальной военной операции с режимом контртеррористической операции в области. В анализируемый период темпы среднегодового сокращения сельского населения долговременно превышали уровень конца XX века. Выделяются два его пика (1,54 % в 2005–2009 гг. и 1,27 % в 2022–2024 гг.) и одна ложбина (0,70 % в 2015–2019 гг.). Показатели итоговой депопуляции в муниципальных образованиях колеблются от 6 % до 60 %. Негативный процесс деградации сети расселения, стадии которого – ее разрушение и измельчение [Куница, 2012], продолжается. Его значимый индикатор – активность уменьшения числа поселений, отражающая сжатие заселенного пространства. Существующая разница реального и номинального количества сельских населенных пунктов в стране [Ткаченко, 2018] характерна и для области. Между Всероссийскими переписями населения 2002 и 2020 годов сеть в целом потеряла 3,1 % сел. Однако интенсивность сокращения пунктов с населением существенно выше – 17,8 %. Углубляется проблема «пустующих деревень». За это же время их число увеличилось в 4,8 раза (с 98 до 474). Процесс снятия их с учета усложнен правом частной собственности, практикой возврата владельцев в свои дома, политикой местных властей [Алексеев и др., 2019]. Пункты без населения разнообразны. Предложена их типология с выделением сезонно обитаемых, оставленных, исчезнувших и пустошей [Румянцев и др., 2019]. Определение региональных особенностей их ревитализации на Брянщине требует проведения тематического анализа. Однако в целом, учитывая специфику сети расселения области, потенциал данного процесса в ней ограничен. Появление в основном пунктов с временно проживающими людьми – явление локальное и не снижает остроту депопуляции сельской местности. Ведущая тенденция дифференциации поля расселения – ее усиление. Определены 6 вариантов интенсивности данного процесса в муниципальных образованиях (МО) области по соотношению уровней реальной (2002–2020 гг.) и потенциальной (согласно доле наименее устойчивых пунктов с населением 1–10 чел. по переписи 2020 г.) трансформации сети. Типы ее динамики и критерии уровней: – рост (+1–10 % – низкий уровень), – сокращение (–1 – –10 % – низкий, –11 – –20 % – средний, более –21 % – высокий уровни). Варианты: 1) низкий рост – низкое сокращение (Брянский район); 2) низкое – среднее сокращение (2 МО); 3) низкое – высокое сокращение (3 МО); 4) среднее – высокое сокращение (11 МО); 5) высокое – среднее сокращение (1 МО); 6) высокое – высокое сокращение (9 МО). Доминирование негативных процессов сжатия заселенного пространства сохранится и в ближайшей перспективе с закреплением особо проблемной ситуации на западной периферии Брянщины. Усложняется положение и в российско-украинской приграничной полосе.

Тенденции мелкоселенности: основные траектории. Средняя людность сельского населенного пункта в современный период уменьшилась незначительно (174–168 чел.). Однако одной из ключевых проблем развития сельской местности остается исторически сложившееся доминирование очень малых сел. Хотя число и доля данной группы в сети расселения снижаются, она и сейчас объединяет почти 47 % пунктов, концентрируя 4,6 % жителей. Вследствие негативных демографических (высокой естественной и миграционной убыли, интенсивного старения населения) и экономических процессов (деградации социально-экономической базы) в этих пунктах активизируется сокращение – до «исчерпания» их человеческого потенциала. Происходит упрощение функций сел.

Долговременна тенденция существенного увеличения деревень с людностью, не превышающей 10 человек, – «переходных к пустующим» [Куница, 2012]. Они пополняются в основном за счет депопуляции второй категории очень малых пунктов. В немногим более четверти сел проживает меньше одного процента населения. В разрушающейся экономической и социальной среде остались в основном слабо мобильные пожилые люди. Самая проблемная ситуация характерна для депрессивных регионов западной периферии, локально – юго-востока и центра Брянщины, где удельный вес таких сел достигает 30–40 %, а доля их населения выше среднеобластной.

Длительно преобладающая в сети категория населенных пунктов – «вымирающие деревни» с числом жителей 11–50 человек теряет свои позиции. Этому способствует сокращение низкого демографического и производственного потенциалов, полная зависимость в сфере сервиса от больших по размеру сел, главным образом центров поселений, число которых уменьшилось. Формируются разные стратегии жизнедеятельности людей. Максимальную роль в сети (23–33 %) и в населении (6–9 %) они сохранили в западном и центрально-восточном ареалах.

Очень малые населенные пункты – самая неустойчивая часть сети расселения. Минимально их влияние в Брянском районе, где в 27 % сел насчитывается менее одного процента населения. Особо негативная ситуация на западной и восточной периферии. Отмирание данной группы пунктов усилит процесс сжатия заселенного и освоенного пространства. Значима проблема их выборочного сохранения, особенно «вымирающих деревень». Это может быть связано с финансовой поддержкой местных фермеров и индивидуальных предпринимателей, улучшением транспортной доступности сел, развитием социального обслуживания (если не стационарной, то передвижной формы).

Трансформация структуры сельского расселения. Изменяется роль малых сел. Сократилось их количество, доля в сети при переходе от длительного снижения к росту численности населения.

Активен процесс уменьшения пунктов с людностью 51–100 чел. Их рассматривают как «поселки пенсионеров» [Алексеев, 1990]. Доминируют аграрные села, существенно меньше несельскохозяйственных. Современная действительность – кризисная демографическая ситуация, регрессивная половозрастная структура с преобладанием старшей женской когорты, сворачивание производственных и социальных функций при расширении селитебной. Их измельчение способствует «подпитке» группы очень малых пунктов. Наиболее представлены они (10–14 % сети) в пригородном и аграрных полупригородных, ряде периферийных южных районов.

Тенденция падения роли сел, где проживает 101–200 чел., в последнее 10-летие в условиях стимулирования сельского хозяйства области, депопуляции более крупных пунктов сменилась на обратную. Господствует их аграрный тип. В значительной их части продолжает сокращаться демографический потенциал, сужаются производственные и социально-культурные функции. Лучшие условия для обеспечения достаточно стабильного функционирования, сохранения или увеличения количества жителей имеют центры сельских поселений, ряд пунктов с подразделениями холдингов. Эта категория «слабо устойчивых сел» наиболее распространена в периферийных южных и юго-восточных аграрных районах, где их удельный вес достигает 10–13 %.

Для повышения привлекательности малых сел значимы реализация агропромышленных инноваций с созданием новых рабочих мест, активизация участия фермеров и индивидуальных предпринимателей в целевых экономических программах, развитие транспортной и социальной инфраструктуры, газификации.

Важна группа средних сел. Она является базовой в населении. Тенденция небольшого роста сменилась сокращением их количества, доли в сети и численности жителей области. На это повлияли демографические, социально-экономические и

институциональные факторы (муниципальная реформа и др.). Однако их системообразующая роль остается весомой. Наряду с аграрными, немногими агропромышленными довольно высок удельный вес центров сельских поселений в основном со слаборазвитой производственной базой, разными вариантами обслуживания (от низового до базового). Демографическая ситуация проблемная, но активность депопуляции обычно меньше, чем в очень малых и малых пунктах. Функционируют «слабо устойчивые» и «относительно устойчивые» села (организационные центры, пригородные, пункты с выгодным ЭГП). Широко представлены они (17–25 %) на периферии юго-запада и юга, в ряде полупригородных регионов, где в них сосредоточено большинство населения. Специфика Брянского района: их значительная доля в сети и низкая – в количестве жителей. Дефицит данных пунктов на северо-западе и локально на других территориях лимитируют развитие таких муниципальных образований.

Произошло ослабление позиций больших и крупных сел в системе расселения, на что повлияла и депопуляция. Развитие новых форм производства, их отраслевая направленность в большинстве населенных пунктов пока недостаточно влияют на закрепление трудоспособной когорты жителей, особенно молодежи. Однако, в ряде сел ситуация более благоприятна, а периодически превышающий естественную убыль миграционный приток способствует стабилизации-росту населения. Преобладают центры сельских поселений и агропромышленные населенные пункты с достаточно развитой социальной инфраструктурой. Важна задача увеличения потенциала этих «центров устойчивости каркаса сельского расселения». Наиболее велика их роль в Брянском районе, весома – в муниципальных образованиях, которые возглавляют второй и третий по значению города области (в Клинцовском районе и Новозыбковском городском округе). Минимальное присутствие этих групп сел на северо-западе и юго-востоке области, отсутствие их в сети Жирятинского и Злынковского районов негативно для развития данных территорий.

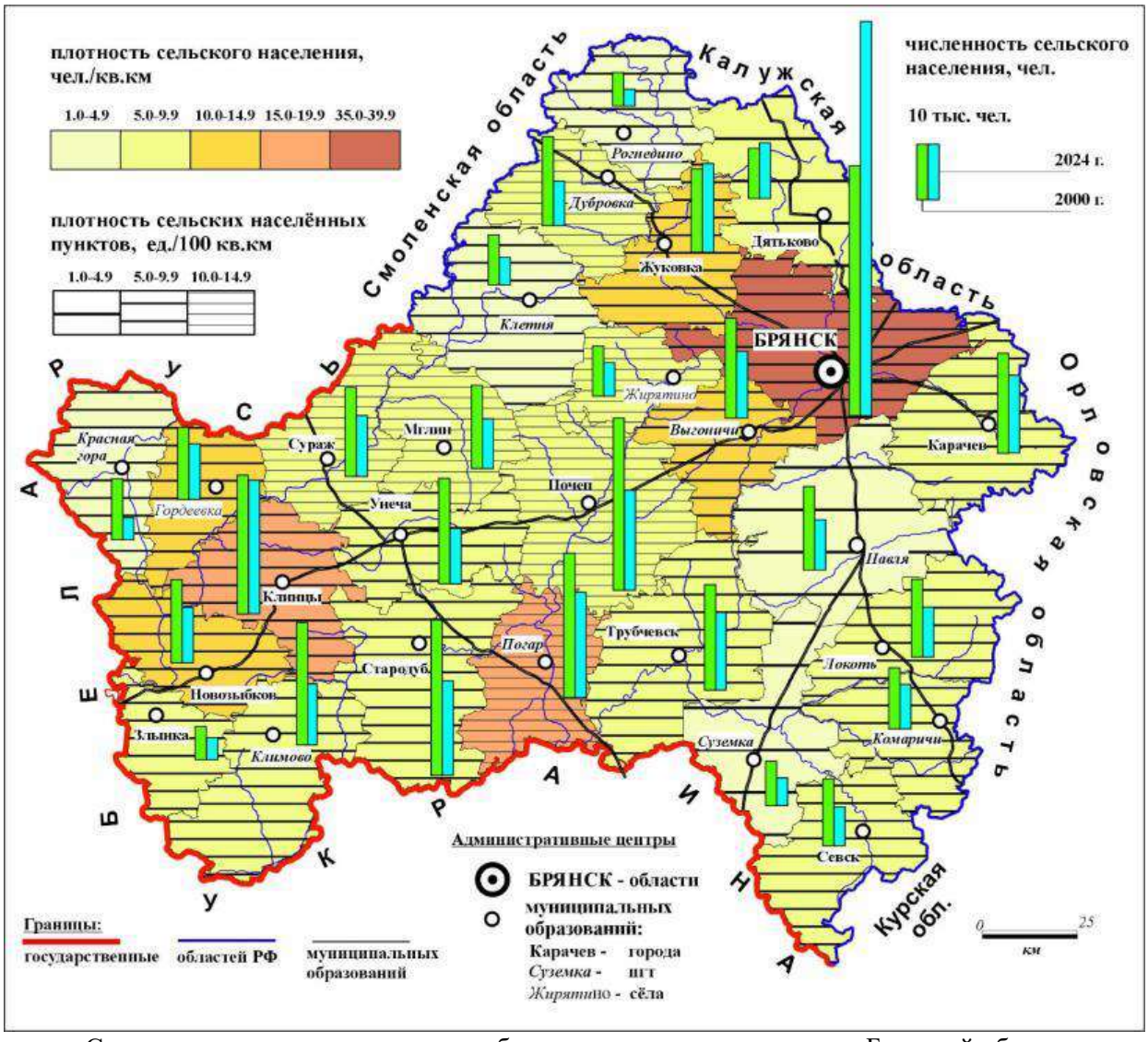
Усилилось значение крупнейших поселений. Их сейчас всего 19, но в них сосредоточена пятая часть сельских жителей области. Для большинства из них характерны стабилизация или увеличение населения вследствие замещающей естественную убыль миграции. Данные многофункциональные села с полным набором обслуживающих учреждений имеют выраженное организационное значение, являются центрами муниципальных районов и сельских поселений. Доминируют пригородные пункты. Концентрацией этой группы поселений – «центров развития сельской местности» – выделяются Брянский и Клинцовский районы (их доля в области соответственно 47 % и 16 %). Необходимо увеличение социально-экономического потенциала районных центров – сел Гордеевка и Жирятино. Кроме них еще село Ржаница и поселок Сеща согласно «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года» наряду с Брянском и городскими центрами муниципальных образований отнесены в области к категории опорных населенных пунктов, приоритетных для достижения национальных целей и обеспечения национальной безопасности, развития социальной инфраструктуры и реализации иных потребностей жителей прилегающих территорий [Стратегия пространственного развития…, 2024; Единый перечень…, 2025].

Позитивным, однако еще слабо выраженным процессом является становление особой категории населенных пунктов – «возрождающихся деревень». Среди факторов их развития наиболее важны: демографический (замещающая миграция), экономический (инновации агрохолдингов, стимулирование малого бизнеса, производственной инфраструктуры и др.), социальный (улучшение социального и бытового обслуживания, историко-культурный ребрендинг, самоорганизация сельского населения и др.), рекреационный. Дачное реосвоение территорий, типичное для Центра страны [Медведев, Нефедова, 2021] проявляется и на Брянщине. Возрождение деревень – процесс локальный,

особо весомый для очень малых и малых сел, более характерный для пригородного и полупригородных, редко – полупериферийных регионов.

Новый элемент расселения – «коттеджные поселки». Их немного. Они выделяются довольно благоприятной демографической структурой, высоким качеством жизнедеятельности населения, комфортной средой обитания. Развиваясь в основном в пригородной зоне, они со временем приобретают функции второго постоянного места проживания.

Трансформация сельского расселения: дифференцированность территориальной структуры. Для области характерны процессы, отражающие как национальные тренды, так и региональную специфику. Они развивались под воздействием комплекса факторов, которые определили современные пространственные черты расселения (см. рисунок).



Современные территориальные особенности сельского расселения Брянской области
Modern territorial peculiarities of rural settlement pattern of the Bryansk region

Среди значимых особенностей субъекта – перестройка расселения под влиянием радиационно-экологического фактора. На начало 2002 года в зонах радиоактивного загрязнения насчитывалось 974 населенных пункта, сконцентрировавших 378,8 тыс. чел.: отчуждения – 4 пункта (безлюдные), отселения – 194 пункта (77,4 тыс. чел.), проживания с правом на отселение – 237 пунктов (134,8 тыс. чел.), с льготным социально-

экономическим статусом – 539 пунктов (166,6 тыс. чел.) [Сведения об изменении …, 2003; Белоус, 2018]. На 01.01.2024 года в границах зон поражения находилось 749 населенных пунктов, где проживало 304,201 тыс. чел.: отчуждения – 4 пункта (безлюдные), отселения – 26 пунктов (7,086 тыс. чел.), проживания с правом на отселение – 191 пункт (148,435 тыс. чел.), с льготным социально-экономическим статусом – 528 пунктов (148,680 тыс. чел.) [Природные ресурсы …, 2025]. В анализируемый период на изменение ситуации повлиял комплекс причин: экологическая (уровень радиоактивного загрязнения как индикатор экологического риска для жизнедеятельности людей), институциональная (законодательная трансформация зонирования), экономическая (изменение специализации, системы льгот и выплат), демографическая (депопуляция, динамизм миграций, в том числе чернобыльских переселений с их итоговым сокращением). Сейчас в пределах трех зон функционирует всего 12 городских населенных пунктов, остальные – сельские. За 25 лет потери населения 6 муниципальных образований наиболее загрязненного юго-запада составили: 6 % в Клинцовском, 26–30 % в Гордеевском и Новозыбковском, 40–50 % в Злынковском и Климовском, 60 % в Красногорском районе (максимум в субъекте) при среднеобластном показателе 24,1 %. Процессы очень сложны, дифференцированы по периодам [Куница, 2012; 2022] и зонам загрязнения. Из зоны отчуждения жители были полностью отселены. Это территория демографической деградации. Для зоны отселения, ареал которой сузился, характерны активные процессы депопуляции и запустения пунктов, упрощение функций существующих сел, поляризация сети. В зоне проживания с правом на отселение наблюдались депопуляция, динамизм межселенных связей, рост доли пустующих, измельчение небольших пунктов, «стягивание» жителей в средние и большие села. В зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом происходило увеличение безлюдных пунктов, сокращение населения, особенно в очень малых и малых селах, стабилизация или слабое повышение демографического и экономического потенциалов центров поселений (средних, больших и крупных сел), дифференциация сети. Трансформация расселения была столь значительна, что привела даже к утрате групп населенных пунктов (больших в Злынковском, крупных в Красногорском районе). Лимитирующая роль данного фактора снижается, оставаясь значимой для зоны отселения и проживания с правом на отселение.

Происходит пространственное перераспределение населения. Растет его пригородная концентрация [Куница, 2012; Наумов и др., 2021]. Наиболее выражен этот процесс на региональном уровне. Особо интенсивен он в Брянском районе, удельный вес которого в сельском населении области за период 2000–2024 гг. увеличился с 10,0 % до 21,0 %, и существенно менее активен (рост с 5,6 % до 7,0 %) в Клинцовском районе со вторым по статусу городом субъекта. Несколько повысилось значение полупригородных Дятьковского и Жуковского муниципальных образований. На остальной территории области центр-периферийный градиент проявляется слабо и только на локальном уровне (отдельных сел вблизи малых городских центров районов).

Изменение процессов связано сейчас и со спецификой Брянщины как приграничного региона. Особо проблемная ситуация в 6 южных муниципальных образованиях российско-украинского пограничья, отнесенных к геостратегическим территориям страны. Необходимость обеспечения национальной безопасности, действие режима контртеррористической операции на территории субъекта в условиях проведения Россией специальной военной операции образуют новую систему «вызов-отклик» для населения (динамизм миграций с доминированием оттока, гражданские потери) и сети расселения (повреждение/разрушение зданий и сооружений, инфраструктуры – их восстановление). Комплекс факторов при усилении лимитирующей роли данной ситуации повлиял на активизацию депопуляции. Среднегодовые темпы уменьшения численности населения в последние 3 года в 5 муниципальных образованиях одни из максимальных на

Брянщине (–1,6 – –2,3 %) и только в одном – на уровне среднеобластного показателя (–1,3 %). Осуществляется система мер федеральной и областной социально-экономической поддержки, восстановления и развития этих территорий, обеспечения сохранения их населения и качества его жизни.

Для Брянской области характерна территориальная дифференциация сельского расселения. В 2010 году в области доминировали среднезаселенные территории со средними значениями густоты городской сети и плотности сельского населения [Ткаченко и др., 2013]. Зонально-азональные особенности расселения [Куница, 2012] выражены и сейчас. Значимо влияние статуса центра муниципального образования (город, поселок городского типа, село), уровня его развития, системообразующей роли. Наиболее проблемный мелко-среднеселенный тип представлен в 3 районах запада (Клетнянском, Мглинском, Рогнединском). Его отличает высокая доля пустующих пунктов, максимальная – очень малых, больше среднеобластного уровня – малых, отсутствие крупных и крупнейших сел, интенсивная депопуляция, что негативно для функционирования регионов. Преобладающий в субъекте тип – среднеселенный с доминированием средних и больших сел, выраженным сокращением демографического потенциала. Сложилось несколько его подтипов: 1) «классический», 2) с неполной структурой сети (без крупных и крупнейших сел), 3) со значительной долей очень малых и малых пунктов, 4) со значительной долей крупных сел. Их представительство в сети изменилось: первого и четвертого – снизилось, второго и третьего – увеличилось, что отражает и кризисность демографических процессов. Третий тип – средне-крупноселенное расселение, характерное для Выгоничского, Гордеевского, Дятьковского и Клинцовского районов, Жуковского округа. Доля пустующих пунктов меньше среднеобластной, очень малых и малых сел – невелика. Численность населения за анализируемый период в 2 районах повысилась вследствие в основном значительного миграционного прироста, в 3 остальных темпы сокращения – одни из самых низких среди муниципальных образований. Четвертый тип – крупноселенное расселение, типичное для Брянского района. Количество жителей выросло вследствие институциональных преобразований (перевода в категорию сел всех поселков городского типа) и замещающей миграции. Удельный вес пунктов без населения, очень малых и малых сел минимален в области. Основа опорного каркаса – крупные и крупнейшие села разных функциональных типов (аграрного, агропромышленного, пригородного и др.).

Среди особенностей развития сельского расселения области в первой четверти XXI века наиболее выражены депопуляция, перестройка структуры, углубление демографической и социально-экономической контрастности, изменение рисунка сети.

Заключение

Процессы трансформации сельского расселения Брянской области в современный период сложны, динамичны, территориально дифференцированы. Они развиваются под влиянием комплекса гетерогенных факторов – геополитического, институционального, демографического, социально-экономического, экологического. Для области характерны как общероссийские тренды, так и проявление региональной специфики. Основными тенденциями являются: депопуляция, углубление дифференциации поля расселения, активное сжатие заселенного пространства, продолжающееся доминирование в сети очень малых пунктов, изменение структуры расселения (уменьшение числа малых сел при переходе от снижения к росту их доли в количестве жителей, сохранение преобладания в населении средних, ослабление позиций больших и крупных, рост – крупнейших сел, появление «возрождающих деревень» и коттеджных поселков), снижение устойчивости большого числа населенных пунктов, усиление контраста «центр-периферия», трансформация рисунка сети.

Выражены пространственные особенности расселения. Наиболее интенсивная депопуляция, перестройка типологической и территориальной структур характерны для западной периферии области, особенно ее радиоактивно-загрязненного юго-запада с постепенно преодолеваемым комплексом проблем. В настоящее время повышается динамизм развития сети юга Брянщины – геостратегического российско-украинского приграничья. Контрастна ситуация в районах полупериферии. Менее негативны процессы в большинстве муниципальных образований полупригородной зоны. Концентрация населения, увеличение людности и усложнение функций сел типичны для Брянского района. Среди приоритетов развития сельского расселения кроме создания комплекса условий снижения роли лимитирующих факторов, выделяется повышение уровня сформированности областной системы вследствие укрепления ее каркаса на основе роста социально-экономического потенциала сельских опорных населенных пунктов, центров поселений, сел в пределах расселенческо-планировочных осей, модернизации инфраструктуры муниципальных образований. В настоящее время возрастает востребованность дифференцированного подхода к развитию сельской местности, важность учета территориальных особенностей системы ее расселения при разработке и реализации региональной социально-экономической политики Брянской области.

Список источников

Брянская область в цифрах: Краткий статистический сборник. 2025. Электронный ресурс. URL: https://32.rosstat.gov.ru/folder/31508 (дата обращения: 06.09.2025).

Всероссийская перепись населения 2010 года. Брянская область. Итоги. Тома официальной публикации итогов Всероссийской переписи населения 2010 года. Том 1. Численность и размещение населения. Электронный ресурс. URL: https://32.rosstat.gov.ru/folder/31751 (дата обращения: 10.09.2025).

Единый перечень опорных населенных пунктов Российской Федерации. Электронный ресурс. URL:https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossii_do_2030_goda_c_prognozom_do_2036_goda/edinyy_perechen_opornyh_naselennyh_punktov_rf/ (дата обращения: 28.09.2025).

Итоги Всероссийской переписи населения 2002 года. Брянская область. Том 1. Численность и размещение населения. Электронный ресурс. URL: https://32.rosstat.gov.ru/folder/31803 (дата обращения: 18.09.2025).

Итоги Всероссийской переписи населения 2020 года. Брянская область. Том 1. Численность и размещение населения. Таблица 11. Группировка сельских населенных пунктов по численности населения. Электронный ресурс. URL: https://32.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/15tab-11_VPN-2020.pdf (дата обращения: 28.09.2025).

Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области. 2025. Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2024 г. Электронный ресурс. URL: https://kpl32.ru/in_doc/20250710_60502_gosdoklad_bryansk_zkologiya_2024.pdf (дата обращения: 03.10.2025).

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2000. Статистический сборник. В 2 томах. Том 2. М., Госкомстат России, 879 с.

Сведения об изменении численности и возрастно-половом составе населения в зонах радиоактивного загрязнения Брянской области (статистический бюллетень). 2003. Брянск, 95 с.

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 4146-р от 28 декабря 2024 г. Электронный ресурс. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/3b8e3a39329ce7949978d271195fdb6d/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rf_na_period_do_2030_goda_s_prognozom_do_2036_goda.pdf (дата обращения 07.10.2025).

«Чернобыль» четверть века спустя. 2011. Статистический сборник. Брянск, 175 с.

Экономическая безопасность России. 2005. Под ред. В.К. Сенчагова. М., Дело, 896 с.

Список литературы

Алексеев А.И. 1990. Многоликая деревня (население и территория). М., Мысль, 266 с.

Алексеев А.И., Сафронов С.Г. 2015. Изменение сельского расселения в России в конце XX – начале XXI века. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2: 66–76.

Алексеев А.И., Сафронов С.Г. 2017. Типология сельских населенных пунктов Европейской части России в современной демографической и социально экономической ситуации. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 6: 55–61.

Алексеев А.И., Сафронов С.Г., Савоскул М.С., Кузнецова Г.Ю. 2019. Основные тенденции эволюции сельского расселения России в XX – начале XXI вв. ЭКО, 4(538): 26–49.

Белоус Н.М. 2018. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. Вестник Брянской ГСХА, 1(65): 3–11.

Будажанаева М.Ц. 2024. Демографические тенденции сельских территорий Российской Федерации. Уровень жизни населения регионов России, 20(4): 612–628. https://doi.org/10.52180/1999-9836_2024_20_4_10_612_628.

Зубаревич Н.В. 2013. Трансформация сельского расселения и сельской сети услуг в регионах. Известия РАН. Серия географическая, 3: 26–38.

Куница М.Н. 2012. Трансформация системы расселения и хозяйственного комплекса Брянской области на современном этапе. В кн.: Российско-Белорусское приграничье: двадцать лет перемен: Монография. Под ред. А.П. Катровского и Ю.П. Ковалева. Смоленск, Универсум: 166–205.

Куница М.Н. 2022. Трансформация и пространственная дифференциация геодемографической структуры сельского населения Брянской области. В кн.: Тенденции пространственного развития современной России и приоритеты его регулирования. Материалы Международной научной конференции (XIII Ежегодная научная Ассамблея АРГО), Тюмень, 12–17 сентября 2022. Тюмень, ТюмГУ-Press: 272–277.

Лухманов Д. 2001. Эволюция сельского расселения в 1959–1989 годах. В кн.: Город и деревня в Европейской России: сто лет перемен. М., ОГИ: 240–271.

Медведев А.А., Нефедова Т.Г. 2021. Деревни и дачи по статистике и космическим снимкам. В кн.: Староосвоенные районы в пространстве России: история и современность. М., Товарищество научных изданий КМК: 119–125.

Наумов А.С., Рубанов И.Н., Аблязина Н.Х. 2021. Новые подходы к типологии сельских территорий России. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 4: 12–24.

Нефедова Т.Г. 2021. Старые и новые сельские тренды. В кн.: Староосвоенные районы в пространстве России: история и современность. М., Товарищество научных изданий КМК: 46–58.

Природа и природные ресурсы Брянской области. 2012. Под ред. Л.М. Ахромеева. Брянск, Курсив, 319 с.

Румянцев И.Н., Смирнова А.А., Ткаченко А.А. 2019. Сельские населенные пункты «без населения» как географический и статистический феномен. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 1: 29–37.

Ткаченко А.А. 2018. О реальном и номинальном количестве сельских населенных пунктов в современной России и ее регионах. Известия Русского Географического Общества. 150(2): 15–24.

Ткаченко А.А., Фомкина А.А., Шаврин В.Н. 2013. Районные системы расселения Центральной России. Вопросы географии, 135: 270–288.

Nefedova T.G. 2022. Urbanization and Rural Trends in Russia and in Its Old-Developed Regions. Regional research of Russia, 12(1): 24–41. https://doi.org/10.1134/S2079970522700319

References

Alekseev A.I. 1990. Mnogolikaya derevnya: naselenie i territoriya [Many-Sided Countryside: Population and Territory]. Moscow, Publ. Myisl’, 266 p.

Alekseev A.I., Safronov S.G. 2015. Changes in Rural Settlement Patterns in Russia During the Late 20th – Early 21st Centuries. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 2: 66–76 (in Russian).

Alekseev A.I., Safronov S.G. 2017. Typology of Rural Settlements in the European Part of Russia Under Recent Demographic and Socio-Economic Situation. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 6: 55–61 (in Russian)

Alekseev A.I., Safronov S.G., Savoskul M.S., Kuznetsova G.Yu. 2019. The main trends in the evolution of rural settlement in Russia in the 20th – early 21st centuries. EKO, 4(538): 26–49 (in Russian).

Belous N.M. 2018. Development of Radioactive Contaminated Territories of the Bryansk Region in the Remote Period after the Chernobyl Accident. Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy, 1(65): 3–11 (in Russian).

Budazhanaeva M.Ts. 2024. Demographic Trends in Rural Areas of the Russian Federation. Living Standards of the Population in the Regions of Russia, 20(4): 612–628 (in Russian). https://doi.org/10.52180/1999-9836_2024_20_4_10_612_628.

Zubarevich N.V. 2013. Transformation of Rural Settlement Pattern and Social Services Network in Rural Areas. Regional Research of Russia, 3(3): 221–233 (in Russian). https://doi.org/10.1134/S2079970513030118.

Kunitsa M.N. 2012. Transformatsiya sistemy rasseleniya i khozyaystvennogo kompleksa Bryanskoy oblasti na sovremennom etape [Transformation of the Settlement System and Economic Complex of the Bryansk Region at the Present Stage]. In: Rossiysko-Belorusskoe prigranich'e: dvadtsat' let peremen [Russian-Belarusian Borderland: Twenty Years of Change]. Ed. by A.P. Katrovskiy and Yu.P. Kovalev. Smolensk, Publ. Universum: 166–205.

Kunitsa M.N. 2022. Transformation and Spatial Differentiation of Geodemographic Structure of the Rural Population of the Bryansk Region. In: Trends in the Spatial Development of Modern Russia and Priorities of its Regulation. Proceedings of the International Scientific Conference (XIII Annual Scientific Assembly of ARGO), Tyumen, 12–17 September 2022. Tyumen, Publ. TyumGU-Press: 272–277 (in Russian).

Lukhmanov D. 2001. Evolution of Rural Population in 1959–1989. In: The Town and the Country in European Russia: One Hundred Years of Changes. Moscow, Publ. OGI: 240–271 (in Russian).

Medvedev A.A., Nefedova T.G. 2021. Villages and Dachas According to Statistics and Space Images. In: Old-Developed Regions in the Sociogeographic Space of Russia: History and Contemporaneity. Moscow, Publ. KMK Scientific Press Ltd.: 119–125 (in Russian).

Naumov A.S., Rubanov I.N., Ablyazina N.H. 2021. New Approaches to the Typology of Rural Areas of Russia. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 4: 12–24 (in Russian).

Nefedova T.G. 2021. Old and New Rural Trends. In: Old-Developed Regions in the Sociogeographic Space of Russia: History and Contemporaneity. Moscow, Publ. KMK Scientific Press Ltd.: 46–58 (in Russian).

Priroda i prirodnye resursy Bryanskoy oblasti [Nature and Natural Resources of the Bryansk Region]. 2012. Ed. by L.M. Akhromeev. Bryansk, Publ. Kursiv, 320 p.

Rumjancev I.N., Smirnova A.A., A.A. Tkachenko A.A. 2019. Rural Settlements «Without Population» as a Geographical and Statistical Phenomenon. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 1: 29–37 (in Russian).

Tkachenko A.A. 2018. Real and Nominal Numbers of Rural Settlements in Present-Day Russia and Its Regions. Regional Research of Russia, 8(2): 178–183 (in Russian). https://doi.org/10.1134/S2079970518020089

Tkachenko A.A., Fomkina A.A., Shavrin V.N. 2013. Settlement Systems of Municipal Districts of Central Russia. Problems of Geography, 135: 270–288 (in Russian).

Nefedova T.G. 2022. Urbanization and Rural Trends in Russia and in Its Old-Developed Regions. Regional research of Russia, 12(1): 24–41. https://doi.org/10.1134/S2079970522700319

Поступила в редакцию 28.10.2025;
поступила после рецензирования 26.11.2025;
принята к публикации 11.12.2025

Received October 28, 2025;
Revised November 26, 2025;
Accepted December 11, 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

Куница Марина Николаевна, кандидат

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Marina N. Kunitsa, Candidate of Geographical

географических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского, г. Брянск, Россия

Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, Bryansk, Russia

УДК 911.5/9
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-436-451
EDN YPLKKH

Геосистемная модель региональной кризисоустойчивости

Ковалев Ю.Ю., Лопатников Д.Л.
Институт географии РАН
Россия, 119017 Москва, Старомонентный переулок, 29 стр. 4
yykowaljow@gmail.com, imartos@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена концептуализации региональной кризисоустойчивости (резилиентности) в условиях обостряющихся глобальных вызовов — климатических, геополитических, экономических и социальных. Критически анализируют существующие подходы, в которых регион трактуется преимущественно как социально-экономическая система, а резилиентность сводится к экономической адаптации. Обосновывается необходимость перехода к геосистемному пониманию региона как сложной саморазвивающейся системы, включающей природные, социальные, экономические и политико-институциональные подсистемы. Особое внимание уделяется экологическому вызову и климатическому переходу, которые требуют переосмысления роли природной подсистемы и её взаимодействия с антропогенными структурами. На основе анализа зарубежных моделей региональной резилиентности (США, Германия, Австрия) предлагается расширенная геосистемная модель, учитывающая принципы разнообразия, модульности, обратной связи, избыточности и эмерджентности. Сформулированная модель определяет региональную кризисоустойчивость (резилиентность) как динамический процесс коэволюции природных и социальных структур, основанный на адаптивности, инновациях и способности к трансформации. Предложена система индикаторов для оценки кризисоустойчивости и подчёркивается необходимость «географизации» исследований устойчивости в эпоху климатических изменений.

Ключевые слова: резилиентность, региональная система, геосистема, устойчивость, коэволюция, глобальное изменение климата, экология

Благодарности: Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ИГ РАН «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы», FMWS-2024-0008

Для цитирования: Ковалев Ю.Ю., Лопатников Д.Л. 2026. Геосистемная модель региональной резилиентности. Региональные геосистемы, 50(2): 436–451. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-436-451 EDN: YPLKKH

Geosystemic Model of Regional Resilience

Yuri Yu. Kovalev, Dmitry L. Lopatnikov
Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
29 Staromonetny Ln., building 4, Moscow, 119017, Russia
yykowaljow@gmail.com, imartos@mail.ru

Abstract. This article explores the conceptualization of regional resilience in the face of escalating global challenges — climatic, geopolitical, economic, and social ones. The authors critically analyze existing approaches that treat a region primarily as a socioeconomic system and reduce resilience to economic adaptation only. The paper argues for a shift toward a geosystemic understanding of a region as a complex, self-evolving system encompassing natural, social, economic, and political-institutional subsystems. Particular attention is paid to the environmental challenge and climate transition, which require a rethinking of the role of the natural subsystem and its interaction with anthropogenic structures.

© Ковалев Ю.Ю., Лопатников Д.Л., 2026

Based on an analysis of international models of regional resilience (USA, Germany, Austria), an expanded geosystemic model is proposed that takes into account the principles of diversity, modularity, feedback, redundancy, and emergence. The resulting model defines regional resilience as a dynamic process of coevolution of natural and social structures, based on adaptability, innovation, and the capacity for transformation. The authors propose a system of indicators for assessing resilience and highlight the need to make the resilience research in the era of climate change more geographically-oriented.

Keywords: resilience, regional system, geosystem, sustainability, coevolution, global climate change, ecology

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences "Socio-economic space of Russia in the context of global transformations: internal and external challenges", FMWS-2024-0008

For citation: Kovalev Yu.Yu., Lopatnikov D.L. 2026. Geosystemic Model of Regional Resilience. Regional Geosystems, 50(2): 436–451 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-436-451 EDN: YPLKKH

Введение

Региональная кризисоустойчивость (резилиентность) – одна из наиболее актуальных областей региональных исследований. Число публикаций зарубежных и отечественных учёных по этой теме постоянно возрастает [Чернова, 2023]. Это связано с поиском механизмов (инструментов), способствующих сохранению региональной динамики и структур, подвергающихся воздействию как неожиданных разрушительных внешних факторов (*external shocks*), так и вялотекущих негативных изменений (*slow burns*) [Pendall et al., 2010; Martin, Sunley, 2015]. Действительно, третья декада XXI в. характеризуется переплетением многочисленных и разнообразных по своим истокам и функциям негативных планетарных процессов, представляющих угрозу развитию стран и макрорегионов мира. Геополитические, территориальные конфликты, экономические, финансовые и др. кризисы, санкции, терроризм, экстремальные погодные условия и природные катаклизмы увеличивают риски международного хаоса, дестабилизируют жизнь миллионов людей. В таких условиях вопросы региональной безопасности, самоорганизации и самосохранения региональных структур выходят на первый план стратегий территориального планирования и развития. Адаптационные функции региональных систем, их способность противодействовать внешним негативным воздействиям приобретают в этих условиях чрезвычайную важность. Под региональной кризисоустойчивостью (резилиентностью, адаптивной устойчивостью) понимается способность региональной системы в целом и её субсистем, в частности, успешно противостоять внезапным, мощным изменениям (внешним шокам) или вялотекущим долгосрочным внешним вызовам [Pendall et al., 2010]. Понятия кризисоустойчивость (резилиентность) и «устойчивое развитие» не тождественны. «Кризисоустойчивость» – более узкое понятие, оно отражает не общую устойчивость, а её устойчивость к стрессам различного генезиса. Для региональных систем речь идёт о стрессоустойчивости по отношению к негативному воздействию широкого спектра экономических, социальных, политических и экологических факторов.

Первые исследования региональной кризисоустойчивости были предприняты в начале 2000-х гг. В 2002 г. А. Реджиани с соавторами использовали термин резилиентность для характеристики эволюции пространственных экономических систем [Reggiani et al., 2002]. Расцвет зарубежных исследований в этом направлении пришёлся на период 2006–2017 гг. [Martin, Sunley, 2006; Hill et al., 2008; Pendall et al., 2010; Martin, 2012; Weig, 2016]. В российском дискурсе активное развитие данной темы наблюдается в экономической науке после 2020 г. [Чернова, 2023]. Обобщая огромный пласт накопившихся зарубежных и отечественных публикаций по данной теме, можно сделать следующие выводы [Streambach, Klement, 2016]:

1. Сегодня в научном дискурсе по региональной кризисоустойчивости доминирует экономический уклон и под региональной резилиентностью понимают в большинстве случаев экономическую кризисоустойчивость территории.

2. В исследованиях господствует упрощенная социально-экономическая модель региона, что не позволяет увидеть широкий спектр угроз регионального развития и возможностей усиления адаптационных механизмов. Главной целью региональной политики называют стимулирование экономического роста региона, адаптация его экономической системы к вызовам внешнего воздействия.

3. В большинстве работ происходит смешивание понятий устойчивость, рост и кризисоустойчивость. Эти понятия рассматриваются как синонимы. Целенаправленный редукционизм вытесняет из поля зрения природную компоненту региона, характер отношений между структурами региональной системы.

На наш взгляд, данный подход в его традиционном виде уже не соответствует требованиям современного этапа развития. В условиях нарастающей климатической нестабильности и усложнения глобальных экологических взаимосвязей именно экологический вызов и обусловленный им экологический переход – включающий региональные стратегии климатической адаптации, декарбонизацию энергетики, повышение ресурсной эффективности и переход к низкоуглеродным моделям роста – становятся ключевыми детерминантами трансформации региональных структур. Эти факторы выступают сегодня не просто контекстом развития, а основным драйвером формирования региональной кризисоустойчивости и адаптивного потенциала.

В такой перспективе природная подсистема региона перестаёт рассматриваться как внешняя среда или пассивный элемент территориальной организации. Напротив, она приобретает статус самостоятельного и полноправного субъекта регионального развития, определяющего рамочные условия воспроизводства пространственных, экономических и политико-социальных процессов [Latour, 2018]. Это предполагает необходимость переосмысления структуры региональных систем с учётом активной роли природных факторов и их способности к генерации как ограничений, так и возможностей для развития.

Аналогичным образом, политическая и социальная подсистемы региона требуют анализа в новом концептуальном ракурсе, отражающем их вовлечённость в процессы экологического перехода. В современном контексте критически важным становится показатель инновационности институциональных и организационных структур, их гибкости, способности к трансформации и восприятию новых нормативных и технологических требований. Эти характеристики определяют, насколько регион способен не только адаптироваться к изменяющимся условиям, но и использовать экологический переход в качестве ресурса модернизации и структурного обновления.

Особое значение приобретает характер взаимодействия между ключевыми подсистемами – природной, экономической, институциональной и социальной. Наличие или отсутствие эффекта резонанса между ними, то есть согласованности, синергии и взаимного усиления процессов адаптации, становится фундаментальным фактором формирования региональной адаптивной устойчивости [Rosa, 2018]. Именно такие резонансные эффекты позволяют региональным системам минимизировать уязвимость, снижать риски и формировать долгосрочные траектории устойчивого развития в условиях экологической турбулентности.

В этой связи комплексное, целостное представление о региональной системе как интегральной геосистеме предлагает адекватную модель региональной кризисоустойчивости как ответ на современные многоуровневые мультивызовы. Экономика-общество-природа образуют в этой модели единое целое. Геосистема – пространственная, комплексная природно-социальная система, представляющая собой целостное, «саморазвивающееся единство» природного и общественного, связанного воедино беспрерывными потоками вещества, энергии, информации [Ретеюм, Снытко,

2017]. Такое представление о геосистемах служит надежным инструментом территориального прогнозирования и планирования [Преображенский, 1984]. Геосистемы обладают свойствами эмерджентности, самоорганизации и коэволюции [Rotmans, Loorbach, 2010]. Изменение модуса взаимодействия между субсистемами региона, создание эффекта «резонанса» между ними, делает возможным трансформацию структур и переход их на новый уровень организации. Под резонансом понимается такая форма отношений между структурами системы, в которой взаимодействие влечет за собой одновременно качественную их трансформацию [Rosa, 2018].

Цель данной статьи – расширить представление о региональных системах как интегральных геосистемах, раскрыть значение природной, экономической, социальной, политической субсистем территорий в формировании региональной кризисоустойчивости, рассмотреть существующие модели региональной резилиентности и предложить авторскую модель её усиления с индикаторами оценки. Авторы не претендуют на окончательную, логически завершённую модель резилиентного региона. Основная задача статьи – дать эвристический импульс дальнейшим исследованиям в этой области, показать многогранность систем территорий и особенностей их взаимосвязей, необходимость географизации подходов в изучении и усилении адаптивного потенциала региона в условиях роста геополитической, экономической, социальной и экосистемной нестабильности.

Объекты и методы исследования

Объектом данного исследования являются региональные системы как интегральные геосистемы (природная, экономическая, социальная и политическая субсистемы). Предметом – механизмы формирования и усиления региональной кризисоустойчивости и их влияние на адаптивный потенциал региона.

Методологическую основу исследования составляют аналитический обзор литературы и существующих моделей кризисоустойчивости (резилиентности); системный подход к изучению взаимодействия субсистем; сравнительно-теоретический анализ; моделирование авторской концепции усиления резилиентности; индикаторный анализ для оценки уровня адаптивной устойчивости.

Главными источниками информации данного исследования стали труды отечественных и зарубежных экспертов в области региональной кризисоустойчивости и механизмах её формирования. Они представлены в списке литературы.

Результаты и их обсуждение

Регион как интегральная геосистема

Системный подход в исследовании регионов получил активное развитие в 90-е годы. Многие отечественные и зарубежные исследователи-географы рассматривают регион как территориальную систему [Липец, 1983; Климанов, 2003; Staudecher, 2005; Федоров, 2010; Климанов и др., 2018; и др.]. По наблюдению Г.М. Федорова [2010, с. 20], использование системного подхода «позволяет моделировать поведение объекта исследования, выявлять факторы и закономерности его развития и, в конечном счёте, прогнозировать вероятное будущее объекта и воздействовать на изменения в желаемом направлении».

Ключевыми элементами системного анализа являются выделение структурных компонентов региона, изучение связей между ними, а также анализ «входов» и «выходов» системы – её взаимодействий с внешней средой. Такой подход предполагает рассмотрение региональных процессов как многоуровневых, многоаспектных и разворачивающихся на стыке эндогенных и экзогенных факторов. При этом понимание региона как геосистемы остаётся методологическим ядром исследований. Несмотря на разночтения в

определениях, сегодня доминирует представление о геосистеме как о «саморазвивающемся единстве» социальных и природных подсистем территории [Ретеюм, Снытко, 2017].

Важным методологическим дополнением стали современные теории сложности (*complexity science*), рассматривающие регионы как нелинейные адаптивные системы (*complex adaptive systems*), чьё развитие определяется множеством взаимосвязанных факторов, способных порождать неожиданные эффекты – системные сдвиги, резкие переходы, рост уязвимости или, наоборот, самостабилизацию. Региональные системы можно отнести к аутопоэтическим: они «репродуцируют свои собственные операции» [Luhmann, 1995, p. 60], сохраняя функциональную целостность до тех пор, пока способны к самовоспроизводству. Однако современная география дополняет этот взгляд концепциями кризисоустойчивости (*resilience*) и социально-экологических систем (*SES*), где внимание сосредоточено не только на стабильности, но и на способности системы адаптироваться, трансформироваться и восстанавливаться после внешних и внутренних потрясений. Адаптация к окружающей среде понимается как результат интерактивных процессов, изменяющих внутренние связи и функциональные качества системы [Luhmann, 1995, p. 67].

В рамках эволюционной экономической географии это трактуется как путь-зависимое развитие (*path dependence*), сочетание устойчивости и возможности перехода к новым траекториям (*path creation*), что особенно важно в условиях технологической трансформации, энергетического перехода и климатических вызовов. Современные регионы функционируют в условиях возрастающего геоэкономического, геополитического и геоэкологического давления. Многие из них сталкиваются с кризисами, утратой структурной устойчивости, институциональными сбоями и социальными трансформациями.

Исходя из этих положений, регион можно рассматривать как пространственную, комплексную геосистему, включающую тесно связанные природные, социальные, экономические и институциональные подсистемы разного уровня. Системный подход позволяет анализировать регион как социально-природную систему среднего уровня, встроенную в более крупные структуры – страну, макрорегион, глобальную систему.

Таким образом, регион соответствует типу интегральной геосистемы, выделенному П.Я. Баклановым [2020, с. 8], где «существует взаимосвязь и сопряжение различных природных, природно-ресурсных, социальных и экономических компонентов». Современные теории сложности, устойчивости и эволюционного развития усиливают этот подход, позволяя глубже понять механизмы адаптации региональных систем, их уязвимости, потенциалы трансформации и долгосрочные траектории развития.

Какова же роль структур региона в создании его резилиентности? Их значение различно (рис. 1).

Природная подсистема формирует экологический каркас региона, определяет ресурсную обеспеченность, условия проживания населения и создаёт базовые предпосылки экономического развития и территориальной специализации. Устойчивость экологических систем является ключевым условием региональной кризисоустойчивости: чем здоровее и богаче экосистема, тем выше её способность сохранять стабильность под воздействием негативных факторов. Резилиентность региона усиливается благодаря высокому биоразнообразию и наличию обширных природных территорий.

В условиях прогрессирующего глобального климатического изменения и роста частоты экстремальных погодных явлений природный компонент регионов становится незаменимым как для адаптации, так и для противодействия климатическим трансформациям. Естественные поглотители углерода остаются важнейшим глобальным механизмом стабилизации климата. За счёт расширения природных экосистем в 2023 г. было дополнительно поглощено 2,2 млрд т CO_2 [Smith et al., 2024]. Лесные климатические

проекты становятся значимым источником дохода для регионов и инструментом декарбонизации.



Рис. 1. Социально-природная геосистема [Ковалев, 2021]
Fig. 1. Social-natural geosystem [Kovalev, 2021]

Таким образом, природные системы не только обеспечивают экологическую устойчивость, но и опосредованно влияют на трансформацию региональных структур. Это позволяет говорить о формировании элементов «нового геодетерминизма» в региональном развитии [Pogodin et al., 2024]. При этом природная среда выполняет важные социальные функции, способствуя улучшению физического и психического здоровья населения.

Экономическая подсистема региона коренится в природно-ресурсной структуре территории. Влияние природных факторов особенно велико в аграрных, сырьевых, индустриальных и промышленных регионах. П. Кругман показал, что факторы «первой природы» – природные ресурсы и географическое положение – продолжают играть определяющую роль в хозяйственном развитии большинства регионов, формируя их экономический профиль [Krugman et al., 2022]. Факторы «второй природы» – агломерационные эффекты, человеческий капитал, институциональная среда – становятся

доминирующими в развитых странах и определяют траектории роста наиболее успешных регионов. Политическая система призвана обеспечивать такую трансформацию региональной экономики, при которой постепенно усиливается роль именно факторов «второй природы», включая гуманитарный потенциал, экономику знаний и инновационные отрасли [*Ibid.*]. При этом значение самой природы как поставщика качественных экологических услуг (чистой воды, воздуха, продовольствия) будет возрастать.

Экономическая подсистема включает производственно-хозяйственный комплекс и систему экономических отношений, регулирующих создание, распределение и потребление материальных и нематериальных ценностей. Её ключевыми ресурсами являются материально-техническая база, человеческий капитал и внешнеэкономические связи.

Социальная подсистема региона представлена проживающим на его территории обществом с присущими ему культурными нормами, традициями, ценностями и формами коллективного поведения. Социум является сложной системой интеракций между индивидуумами, семьями, классами, социальными группами и организациями. Коммуникация выступает системообразующим элементом социальной структуры [Luhmann, 1995]. Социальные системы, согласно теории сложности, находятся в состоянии постоянной неустойчивости. Движение населения, миграции, конкурирующие интересы групп и институтов порождают внутреннюю динамику, которая ведёт к трансформации социальных структур. Такие изменения можно рассматривать как эволюционные процессы, уменьшающие хаос и усиливающие выживаемость системы. Неспособность к обновлению ведёт к упадку и распаду социальных структур [Wilke, 2023].

Социальные системы имеют собственные географические, исторические и культурные особенности, а их отношения с природными и экономическими подсистемами изменяются во времени и пространстве.

Политическая подсистема оказывает значительное влияние на уровень резилиентности региона. По мнению Г. Баренберга, политическая (управленческая) система способна пространственно ограничивать, направлять и модифицировать взаимодействие различных функциональных подсистем территории [Barenberg, 2002]. С помощью административных инструментов она может усиливать или ослаблять природную компоненту, социальные процессы, технологическую модернизацию, климатическую повестку, санкционный ответ и др. Политическая система рассматривает природные, социальные и экономические процессы как территориально связанные и представляющие собой продукт коллективных решений. Поэтому, по Баренбергу, регионализация невозможна без политики: именно она определяет принадлежность акторов к одной политико-территориальной единице [*Ibid.*].

Кризисоустойчивость региона во многом формируется инновациями, возникающими на стыке взаимодействия подсистем. Важны не только коммерчески успешные технологические новшества, но и инновации, укрепляющие адаптивный потенциал территорий. На пересечении экономики и природы ключевую роль играют экологические исследования и эко-технологии, формирующие новые возможности для роста и экологической модернизации. Не менее значимы социальные инновации, улучшающие общественные отношения и качество коммуникации. Внедрение низкоуглеродных технологий, «разрыв» зависимости экономического роста от потребления природных ресурсов (декаплинг), снижение выбросов ПГ – важные элементы коэволюции региональных подсистем.

Региональная экономическая подсистема тесно связана с политико-административной системой, социумом и институционально-культурной средой. Кризисоустойчивость региона базируется на интеракциях между всеми его структурами. Социолог Х. Роза подчёркивает, что резонанс между региональными подсистемами создаёт условия для устойчивого развития: в резонансном модусе происходят

трансформация структур и одновременная адаптивная стабилизация системы на новом уровне [Rosa, 2018].

Адаптивная устойчивость региона представляет собой процесс взаимодействий всех акторов, сопровождающийся обучением, инновациями и внутренними изменениями, которые обеспечивают гибкость системы под внешним давлением. Кризисоустойчивость региона – это больше, чем сумма адаптационных возможностей отдельных подсистем: она формируется благодаря постоянным эндогенным изменениям, поддерживающим динамику и эластичность системы. Субсистемы региона – экономическая, природная, политическая и социальная – состоят из отраслей, институтов, социальных групп, экосистем, организаций и находятся в непрерывном взаимодействии. Эти коммуникационные процессы формируют механизмы возникновения региональной кризисоустойчивости (рис. 2).



Рис. 2 Образование региональной кризисоустойчивости (составлено авторами)
Fig. 2. Formation of regional resilience (compiled by the authors)

Как мы видим в основе региональной кризисоустойчивости находится взаимодействие акторов на самом низком уровне. Это могут быть интеракции внутри предприятий, фирм, политических партий, государственных учреждений, социальных групп, сформированных экосистем. Принятые на этом уровне решения могут изменить поведение актора, отразится на его дальнейшей деятельности. Интеракции внутри хозяйственной отрасли, межотраслевое взаимодействие, политические решения, формирующиеся культурные ценности образуют субсистемную кризисоустойчивость. В свою очередь, каждая региональная субсистема оперирует в плотном коммуникационном поле других субсистем территории. Данная коммуникация, её качество, адекватность внешним изменениям формируют региональную адаптивную устойчивость. Её можно дефинировать как продукт индивидуальных, коллективных и институциональных процессов принятия решений [Martin, Sunley, 2015]. В результате описанных выше комплексных процессов взаимодействий акторов на микро- и мезоуровне возникает эффект резонанса, под которым понимается создание новых свойств, качеств, функций системы на макроуровне. В свою очередь, новые свойства системы по принципу обратной

связи изменяют качества и функции акторов на микро- и мезоуровне. Происходит переход всей региональной системы на новый уровень развития и самоорганизации.

Модели региональной кризисоустойчивости

Для определения уровня резилиентности региона главное значение имеют качественные показатели развития региональной системы. При этом важен анализ эндогенных региональных структур и характер взаимодействия между ними. Для природной системы региона релевантными для оценки её кризисоустойчивости будут являться показатели, оценивающие состояние экосистем и экоресурсов, наличие охраняемых территорий, углеродный след региона при достаточном жизненном уровне населения, степень развития замкнутого производства, качество окружающей среды и т.д.

Для экономической субсистемы могут быть взяты показатели оценки уровня диверсификации хозяйства, наличия отраслей нового или новейшего технологического уклада, соотношение экспортоориентированных и импортозамещающих производств, а также показатели, отражающие экологический переход отраслей хозяйства. К ним относятся уровень материало- и углеродоемкости производства, наличие круговой экономики, доля «чистой» энергетики, количество стартапов в экологическом, цифровом сегменте. Для социальной системы важны показатели демографической структуры, миграции, уровня жизни и образования населения, социальный и гуманитарный капитал региона, а также кооперации и сотрудничества региональных акторов. Экономическая обеспеченность населения снижает социальное напряжение и протестный потенциал, а равный доступ к базовым благам (занятость, жильё, здравоохранение, образование) укрепляет доверие к региональным институтам. Для политической системы огромное значение имеет политическая стабильность, проводимая экологическая, экономическая и социальная политика, уровень политической партиципации и транспарентности.

Существующие сегодня эмпирические модели региональной кризисоустойчивости базируются на социально-экономической модели региона. В них анализируется ограниченное число индикаторов, соответсвующих классическому представлению о региональной резилиентности. Однако можно также отметить усиливающийся крен в сторону большей экологизации региональной модели. Тем самым прослеживается эволюция представлений и тенденция отхода от экономической к социально-экономической и социально-экологической модели кризисоустойчивости. Рассмотрим выборочно некоторые модели региональной резилиентности.

Одно из первых исследований региональной резилиентности было проведено в США в период 2007–2012 гг. Группа исследователей под руководством К. Форстера изучала резилиентность метрополитенских ареалов США [Foster, 2007]. Для этого ими был разработан специальный индекс резилиентности (*Resilience capacity index*). Он охватывал три тематические области (экономика, социум и коммуникационное взаимодействие), в которых анализировались соответственно четыре важнейших показателя. Так, в экономике: распределение доходов, отраслевая дифференциация, покупная способность населения и условия ведения бизнеса для предприятий. В социально-демографической области учитывался образовательный уровень населения, обеспечение людей с особыми потребностями, уровень бедности и доля лиц, имеющих медицинскую страховку. В коммуникационном взаимодействии использовались показатели развитости общественной транспортной инфраструктуры, региональная стабильность, жилищные условия и участие в выборах [Foster, 2012]. Итоги исследования показали, что наибольшая кризисоустойчивость (резилиентность) наблюдается в регионах с диверсифицированной экономикой, хорошими отношениями и тесной кооперацией на коммунальном уровне между организациями. Также децентральные гражданские инициативы и сети, открытое политическое руководство и интеграция населения в принятии политических решений усиливают региональную устойчивость [*Ibid.*].

В Германии исследование региональной кризисной устойчивости (*regionale Krisenfestigkeit*) было проведено в 2010 г. институтом системных исследований Э. Пестеля (*ISP*) (Ганновер, ФРГ). В этом проекте было использовано 18 показателей, разделённых по 6 категориям: социум, проживание, транспорт, использование земель, энергия и экономика со своими собственными индикаторами [Regionale Kriesenfestigkeit, 2010]. Все регионы ФРГ были ранжированы, соответственно этим индикаторам.

По результатам проекта наибольшей устойчивостью по отношению к внешним кризисам продемонстрировали периферийные, аграрные регионы Восточной и Южной Германии (Округа Демин, Укермарк, Равенсбург). Имея слабые и спорадические связи с глобальной экономикой, но одновременно сильную, самодостаточную региональную экономику они наилучшим способом защищают себя от внешних кризисных воздействий [Hahne, 2014]. Традиционно экспортоориентированные регионы Германии (Штутгарт, Франкфурт, Рейнские агломерации) по результатам исследования вошли в категорию регионов с низкой кризисной устойчивость [Regionale Krisenfestigkeit, 2010].

Более углублённую методологическую модель региональной кризисоустойчивости с учётом природной среды предложили австрийские исследователи под руководством Р. Лукеша [Lukesch et al., 2010]. Модель включает две взаимосвязанные субсистемы территории: политико-административную (*Regional Governance*) и собственно региональную (*Region*), интегрированные в многоуровневую систему показателей кризисоустойчивости.

В субсистеме «регион» ключевое место занимает категория устойчивости, предполагающая сбалансированное развитие общества, экономики и природной среды. В экономике факторами кризисоустойчивости выступают локальное производство, системные предприятия, региональные сети и экономика замкнутого цикла (*regionale Wirtschaftskreisläufe*). В общественной сфере наибольшее значение имеют демографическая динамика, развитие человеческого и социального капитала, а также общественная безопасность. В природном компоненте важную роль играют географическое положение, уровень загрязнения и привлекательность жизненного пространства (*Lebensraum*).

По мнению авторов, региональная резилиентность возможна лишь при соблюдении принципов сбалансированности: социальной сплочённости (сокращение неравенства, защита прав человека и меньшинств), территориальной сплочённости (снижение межтерриториальных различий, развитые региональные сети и автономность принятия решений) и потенциала будущего (минимизация будущих угроз, переход к возобновляемой энергетике, условия для самореализации и положительное миграционное сальдо) [*Ibid.*, p. 44].

Политико-административная субсистема охватывает управление региональным развитием и организационные принципы усиления кризисоустойчивости. Центральным элементом управления является разработка долгосрочной стратегии, ориентированной на использование региональных преимуществ и поддержание баланса между специализацией и диверсификацией, открытостью и закрытостью экономики, традициями и инновациями. Особое внимание уделяется формированию «полюсов роста» вокруг образовательных и научных центров для обеспечения поступательного развития [*Ibid.*, p. 45].

Ключевую роль в повышении кризисоустойчивости играет кооперация региональных акторов на основе их равноправного участия, включая органы власти, бизнес и представителей гражданского общества [*Ibid.*, p. 47]. Важным элементом является также развитие механизмов обучения и саморефлексии, формирование регионального самосознания и пространств коммуникации для стратегического планирования и принятия решений.

По нашему мнению, модель Р. Лукеша наиболее адекватна для формирования региональной кризисоустойчивости на современном этапе развития. Несмотря на все её

достоинства, геосистемное представление о регионе может расширить и обогатить концепцию австрийских исследователей. Данное представление базируется на долгосрочном видении развития региона в перспективах 50–100 лет. Оно исходит от предположения неизбежности перехода человечества на новую ступень цивилизационного развития. Эту новую ступень (формацию) можно обозначить как экологическую. В ней природа и общество не находятся в модусе антагонистических структур, а коэволюционируют (например уже сейчас реализуемая модель «экологической цивилизации» в КНР). Экологический императив выступает здесь как триггер трансформации современных региональных структур и укрепления его адаптационного потенциала. Новые источники энергии, циркулярная экономика, близкая к естественному круговороту веществ, территориальный симбиоз природы и общества (в различных конфигурациях) будут создавать фундамент нового общества и его силу.

Условием сильной региональной кризисоустойчивости в таких условиях становится развитая региональная экономика, в которой наблюдается баланс между автаркией и интегрированностью в структуры мирового хозяйства [Kegler, 2014]. Высокая зависимость от мирового рынка – одна из угроз стабильного развития региона. Поэтому важным условием кризисоустойчивости региона должна стать его экономическая самостоятельность, релокализация базисных отраслей хозяйства (на что указывают и все экономические модели резилиентности). Усиление адаптационного потенциала региона и его устойчивости возможно лишь на основе способности к восприятию новых знаний, обучению.

В центре геосистемной модели региональной кризисоустойчивости находится зона взаимодействия природной, социальной и экономической субсистем территорий, «погруженных» в институционально-политическую и культурную среду региона (рис. 3).



Рис. 3. Геосистемная модель региональной кризисоустойчивости (составлено авторами)
Fig. 3. Geosystemic model of regional resilience (compiled by the authors)

Природная система региона в этой модели характеризуется равновесным состоянием и возрастанием в ней полезной энергии (эксергии), повышающую её устойчивость и саморегуляцию. Экономическая система региона представлена структурами локальной экономики, отдельными ТНК и другими формами организации экономической деятельности с высокой экологической эффективностью. Условиями кризисоустойчивости социальной системы становятся принципы социального равенства, справедливости, эффективного управления (*good governance*), партиципации, индивидуальной резилиентности. Таким образом, кризисоустойчивость региона определяется уровнем устойчивости его отдельных структур и подсистем, начиная с индивидуальной резилиентности проживающего в нем населения и заканчивая устойчивостью региона как целостной системы. Коммуникация и социальная справедливость, стимулирование региональной идентичности, прагматичного оптимизма (*applied optimism*) – важные составляющие социальной кризисоустойчивости.

Индикаторами кризисоустойчивости региона служат показатели резилиентности отдельных его субсистем (структур). Спектр выбора индикаторов значителен. Здесь необходимо умышленное их ограничение. Выбор индикаторов будет зависеть от задач исследования и авторских предпочтений. По нашему мнению, для природного сегмента и оценки его кризисоустойчивости важны показатели видового биоразнообразия, доли охраняемых территорий в структуре землепользования, углеродный след и баланс региона, состояние экосистем, качество окружающей среды, поглощающая способность экосистем. Для кризисоустойчивости экономической системы важны показатели регионального душевого дохода, доли региональной продукции в структуре потребления населения, уровень диверсификации производства, доля низкоуглеродных или возобновляемых источников в производстве электроэнергии, доля инновационных компаний, наличие круговых сетей производства и потребления, углеродоёмкость экономики и её отраслей. Для социальной системы: гуманитарный и социальный капитал территорий, интегральный показатель уровня жизни населения региона, сальдо миграций, уровень расходов на адаптационные мероприятия к изменению климата, углеродный след населения, душевое производство отходов, уровень социальной партиципации и т.д. Достижение эффекта резонанса в интеракциях региональных акторов и структурах системы позволяет создать в регионе процессы эмерджентности и выхода её на новый уровень развития. Кризисоустойчивость есть процесс, «динамика поиска, обучения и инноваций, приобретение качеств сопротивления и самообновления, вечное движение, направленное в сторону большей устойчивости» [Hahne, 2014].

Заключение

Кризисная устойчивость (резилиентность) регионов остаётся одним из перспективных направлений исследований в социально-экономической и общественной географии. В большинстве современных теорий и эмпирических моделей резилиентность трактуется преимущественно как экономическая устойчивость, что приводит к доминированию упрощённой социально-экономической модели региона. Однако ускоряющееся глобальное изменение климата, прогрессирующие разрушения окружающей среды и наметившийся экологический переход требуют пересмотра традиционных концептуальных оснований.

Одним из перспективных подходов выступает геосистемная модель региона, которая расширяет представление о нём как о саморазвивающемся единстве природных, социальных, экономических и политических структур. Каждая из этих подсистем обладает собственной

логикой функционирования и собственным уровнем кризисной устойчивости. Институциональная и культурная среда образуют межсистемное пространство, определяющее характер коммуникаций и типы взаимодействий между субсистемами.

Резилиентность региона формируется не только за счёт состояния каждой подсистемы, но и благодаря качеству их взаимодействий. От того, насколько эти связи согласованы, взаимодополняемы и адаптивны, зависит способность региона противостоять внешним и внутренним шокам. Ключевым условием адаптивной стабилизации становится появление «эффекта резонанса» – согласованного поведения акторов, позволяющего системе трансформироваться и переходить на новые траектории развития.

В эволюции моделей региональной резилиентности отчётливо прослеживается тенденция к экологизации. Геосистемный подход рассматривает природные, социальные и экономические структуры как равноправных участников регионального развития. Поэтому оценка кризисной устойчивости требует комплексной диагностики экологических, социальных, экономических показателей, а также анализа качества межсистемных коммуникаций. Набор индикаторов при этом определяется целями исследования и актуальными вызовами, с которыми сталкивается регион.

Таким образом, геосистемная модель может служить базовым принципом формирования стратегий регионального развития для органов государственной власти разных уровней. Она также выступает эффективным инструментом управления региональной резилиентностью, позволяя учитывать сложную природу современных кризисов и повышать адаптивный потенциал территорий.

Список литературы

Бакланов П.Я. 2020. Геосистемный подход в географических исследованиях. Тихоокеанская география, 1(1): 7–12. https://doi.org/10.35735/7102875.2020.1.1.001

Климанов В.В. 2003. Региональные системы и региональное развитие в России. М., УРСС, 296 с.

Климанов В.В., Михайлова А.А., Казакова С.М. 2018 Региональная резилиентность: теоретические основы постановки вопроса. Экономическая политика, 13(6): 164–187. https://doi.org/10.18288/1994-5124-2018-6-164-187

Ковалев Ю.Ю. 2021. Эволюция системного подхода в исследованиях геопространства. Известия РАН. Серия: географическая, 85(5): 773–784. https://doi.org/10.31857/S2587556621050046

Липец Ю.Г. 1983. Цикл работ по исследованию региональных систем: обзор. Региональные системы, 3: 98–102.

Преображенский В.С. 1984. Геосистема как объект ландшафтного исследования. В кн.: Вопросы географии. Теоретические аспекты географии. М., Мысль: 26–32.

Ретеюм А.Ю., Снытко В.А. 2017. Концепция геосистем в современном ландшафтоведении. В кн.: Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. Материалы XII Международной ландшафтной конференции, Тюмень-Тобольск, 22–25 августа 2017. Тюмень, Тюменский государственный университет: 24–27.

Чернова О.А. 2023. Проблемы региональной резилиентности в российских исследованиях. Естественно-гуманитарные исследования, 45(1): 277–284.

Федоров Г.М. 2010. Регион как территориальная система. Вестник Российского государственного университета им. И. Канта, 1: 20–27.

Bahrenberg G. 2002. Globalisierung und Regionalisierung: die «Enträumlichung» der Region. Geographische Zeitschrift, 90(1): 52–63.

Foster K. 2007. Snapping Back: What Makes Regions Resilient? National Civic Review, 3: 27–29.

Foster K. 2012. In Search of Regional Resilience.In: Urban and Regional Policy and its Effects. Washington, Building Resilient Regions: 24–59.

Krugman P.R., Obstfeld M., Melitz M. 2022. International Economics: Theory and Policy Global Edition, 12th Edition. Addison-Wesley, 803 p.

Kegler H. 2014. Resilienz. Strategien and Perspektiven Für Die Widerstandsfähige und lernende Stadt. Guetersloh, Bauverlag, 222 p.

Luhmann N. 1995. Die Kunst der Gesellschaft. Frankfurt am M. Suhrkamp. 517 p.
Lukesch, R., Payer, H., Winkler-Rieder W. 2010. Wie Gehen Regionen Mit Krisen um? Eine Explorative Studie Über die Resilienz von Regionen. Wien, ÖAR, 181 p.
Hahne, U. 2014. Regionale Resilienz und Postfossile Raumstrukturen. Zur Transformation schrumpfender Regionen. In: Transformationen der Gesellschaft Für Eine Resiliente Stadt- und Regionalentwicklung. Germany, Detmold, Verlag Dorothea Rohn: 11–32.
Hill E., Wial H., Wolman H. 2008. Exploring Regional Economic Resilience. Working Paper. Institute of Urban and Regional Development, University of California, 18 p. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5099.4000
Latour B. 2018. Das Terrestrische Manifest. Berlin, Suhrkamp, 136 p.
Martin R., Sunley P. 2006. Path Dependence and Regional Economic Evolution. Journal of Economic Geography, 6(4): 395–437. https://doi.org/10.1093/jeg/lbl012
Martin R. 2012. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks. Journal of Economic Geography, 12(1): 1–32. https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019
Martin R., Sunley P. 2015. On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation. Journal of Economic Geography, 15(1):1–42.
Pendall R., Foster K.A., Cowel M. 2010. Resilience and Regions: Building Understanding of the Metaphor. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 3(1): 71–84. https://doi.org/10.1093/cjres/rsp028
Reggiani A., Graft T., Nijkamp P. 2002. Resilience: an Evolutionary Approach to Spatial Economic Systems. Networks and Spatial Economics, 2(2): 211–229. https://doi.org/10.1023/A:1015377515690
Regionale Kriesenfestigkeit. 2010. Eine indikatorengestuezte Bestandaufnahme auf der Ebene der Kreise und kreisfreien Staedte. Hannover, 21 p.
Rotmans J., Loorbach D. 2010. The Practice of Transition Management: Examples and Lessons from Four Distinct Cases. Future, 42(3): 237–246. https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.009
Rosa H. 2018. Resonanz statt Reichweitenvergrösserung. Anders wachsen! München: 57–79.
Pogodin S., Gladkiy Y., Lopatnikov D. 2024. Geographical Neodeterminism: A Broken or Transformed Paradigm? In: Proceedings of Topical Issues in International Political Geography (TIPG 2022). Springer Springer Geography: 109–123.
Smith S.M., Geden O., Gidden M.J., Lamb W.F., Nemet G.F., … Vaughan N.E. 2024 The State of Carbon Dioxide Removal 2024 – 2nd Edition. University of Oxford, 221 p. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/F85QJ
Staudacher C. 2005. Wirtschaftsgeographie regionaler Systeme. Wien, 482 p.
Strambach S., Klement B. 2016. Resilienz aus wirtschaftsgeographischer Perspektive: Impulse eines “neuen” Konzeptes. Wiesbaden, Multidisziplinaere Perspektiven der Resilienzforschung, 388 p. https://doi.org/10.1007/978-3-658-09623-6_12
Weig B. 2016. Resilienz Komplexer Regionalsysteme. Dissertation. Wiesbaden: Springer. Spektrum, 324 p.
Wilke H. 2023. Klimakrise und Gesellschaftstheorie: Zu den Herausforderungen und Chancen globaler Umweltpolitik. Frankfurt/New York, Campus, 219 p.

References

Baklanov P.Ya. 2020. The Geosystem Approach in Geographical Researches. Pacific Geography, 1(1): 7–12 (in Russian). https://doi.org/10.35735/7102875.2020.1.1.001
Klimanov V.V. 2003. Regional'nyye sistemy i regional'noye razvitiye v Rossii [Regional Systems and Regional Development in Russia]. Moscow, Pabl. URSS, 296 p.
Klimanov V.V., Mikhailova A.A., Kazakova S.M. 2018. Regional Resilience: Theoretical Basics of the Question. Economic Policy, 13(6): 164–187 (in Russian). https://doi.org/10.18288/1994-5124-2018-6-164-187
Kovalev Yu.Yu. 2021. Systems Approach Evolution in the Study of Geospace. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 85(5): 773–784 (in Russian) https://doi.org/10.31857/S2587556621050046
Lipets Yu.G. 1983. Tsikl rabot po issledovaniyu regional'nykh sistem: obzor. [A Series of Works on the Study of Regional Systems: an Overview]. Regional Systems, 3: 98–102.

Preobrazhensky V.S. 1984. Geosistema kak ob"yekt landshaftnogo issledovaniya [Geosystem as an Object of Landscape Research]. In: Voprosy geografii. Teoreticheskiye aspekty geografii [Geography Issues. Theoretical Aspects of Geography]. Moscow, Pabl. Mysl': 26–32.

Reteyum A.Yu., Snytko V.A. 2017. Kontseptsiya geosistem v sovremennom landshaftovedenii. [The Concept of Geosystems in Modern Landscape Science]. In: Landshaftovedeniye: teoriya. metody. landshaftno-ekologicheskoye obespecheniye prirodopolzovaniya i ustoychivogo razvitiya [Landscape Science: Theory, Methods, Landscape-Ecological Support for Nature Management and Sustainable Development]. Proceedings of the XII International Landscape Conference, Tyumen-Tobolsk, 22–25 August 2017. Tyumen, Pabl. Tyumenskiy gosudarstvennyy universitet: 24–27.

Chernova O.A. 2023. Problems of Regional Resilience in Russian Studies. Natural-Humanitarian Studies, 45(1): 277–284 (in Russian).

Fedorov G.M. 2010. Region as a Territorial System. Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta, 1: 20–27 (in Russian).

Bahrenberg G. 2002. Globalisierung und Regionalisierung: die «Enträumlichung» der Region. Geographische Zeitschrift, 90(1): 52–63.

Foster K. 2007. Snapping Back: What Makes Regions Resilient? National Civic Review, 3: 27–29.

Foster K. 2012. In Search of Regional Resilience.In: Urban and Regional Policy and its Effects. Washington, Building Resilient Regions: 24–59.

Krugman P.R., Obstfeld M., Melitz M. 2022. International Economics: Theory and Policy Global Edition, 12th Edition. Addison-Wesley, 803 p.

Kegler H. 2014. Resilienz. Strategien and Perspektiven Für Die Widerstandsfähige und lernende Stadt. Guetersloh, Bauverlag, 222 p.

Luhmann N. 1995. Die Kunst der Gesellschaft. Frankfurt am M. Suhrkamp. 517 p.

Lukesch, R., Payer, H., Winkler-Rieder W. 2010. Wie Gehen Regionen Mit Krisen um? Eine Explorative Studie Über die Resilienz von Regionen. Wien, ÖAR, 181 p.

Hahne, U. 2014. Regionale Resilienz und Postfossile Raumstrukturen. Zur Transformation schrumpfender Regionen. In: Transformationen der Gesellschaft Für Eine Resiliente Stadt- und Regionalentwicklung. Germany, Detmold, Verlag Dorothea Rohn: 11–32.

Hill E., Wial H., Wolman H. 2008. Exploring Regional Economic Resilience. Working Paper. Institute of Urban and Regional Development, University of California, 18 p. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5099.4000

Latour B. 2018. Das Terrestrische Manifest. Berlin, Suhrkamp, 136 p.

Martin R., Sunley P. 2006. Path Dependence and Regional Economic Evolution. Journal of Economic Geography, 6(4): 395–437. https://doi.org/10.1093/jeg/lbl012

Martin R. 2012. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks. Journal of Economic Geography, 12(1): 1–32. https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019

Martin R., Sunley P. 2015. On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation. Journal of Economic Geography, 15(1):1–42.

Pendall R., Foster K.A., Cowel M. 2010. Resilience and Regions: Building Understanding of the Metaphor. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 3(1): 71–84. https://doi.org/10.1093/cjres/rsp028

Reggiani A., Graft T., Nijkamp P. 2002. Resilience: an Evolutionary Approach to Spatial Economic Systems. Networks and Spatial Economics, 2(2): 211–229. https://doi.org/10.1023/A:1015377515690

Regionale Kriesenfestigkeit. 2010. Eine indikatorengestuezte Bestandaufnahme auf der Ebene der Kreise und kreisfreien Staedte. Hannover, 21 p.

Rotmans J., Loorbach D. 2010. The Practice of Transition Management: Examples and Lessons from Four Distinct Cases. Future, 42(3): 237–246. https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.009

Rosa H. 2018. Resonanz statt Reichweitenvergrösserung. Anders wachsen! München: 57–79.

Pogodin S., Gladkiy Y., Lopatnikov D. 2024. Geographical Neodeterminism: A Broken or Transformed Paradigm? In: Proceedings of Topical Issues in International Political Geography (TIPG 2022). Springer Springer Geography: 109–123.

Smith S.M., Geden O., Gidden M.J., Lamb W.F., Nemet G.F., … Vaughan N.E. 2024 The State of Carbon Dioxide Removal 2024 – 2nd Edition. University of Oxford, 221 p. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/F85QJ

Staudacher C. 2005. Wirtschaftsgeographie regionaler Systeme. Wien, 482 p.

Strambach S., Klement B. 2016. Resilienz aus wirtschaftsgeographischer Perspektive: Impulse eines “neuen” Konzeptes. Wiesbaden, Multidisziplinaere Perspektiven der Resilienzforschung, 388 p. https://doi.org/10.1007/978-3-658-09623-6_12

Weig B. 2016. Resilienz Komplexer Regionalsysteme. Dissertation. Wiesbaden: Springer. Spektrum, 324 p.

Wilke H. 2023. Klimakrise und Gesellschaftstheorie: Zu den Herausforderungen und Chancen globaler Umweltpolitik. Frankfurt/New York, Campus, 219 p.

Поступила в редакцию 23.11.2025;
поступила после рецензирования 28.01.2026;
принята к публикации 03.05.2026

Received November 23, 2025;
Revised January 28, 2026;
Accepted May 03, 2026

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

Ковалев Юрий Юрьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Лопатников Дмитрий Леонидович, доктор географических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri Yu. Kovalev Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of World Development Geography, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Dmitry L. Lopatnikov, Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of World Development Geography, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

УДК 91:914/919
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-452-462
EDN ZOHLCV

Dynamics of Demographic Indicators of the Rural Population in Azerbaijan's Mil-Mughan Economic Region

Musa R. Valiyev
Institute of Geography named after Academician H. Aliyev
115 H.Javid Ave., Baku AZ 1143, Azerbaijan
musavaliyev77@gmail.com

Abstract. The Mil-Mugan economic region includes Beylagan, Imishli, Saatly, and Sabirabad administrative districts. The economic region is located in the Kura-Araz lowland, on the Mil plain, which covers the Kura and Araz rivers, and on the Mugan plain, which separates the right bank of both rivers. Sabirabad district passes into the Shirvan plain in a small area. The purpose of the study is to study the trends in the dynamics of demographic indicators among the rural population of the Mil-Mugan economic region, their impact on population growth and changes in the gender-age composition, and to identify ways to solve the emerging problems. To achieve these goals, the following tasks have been set: (1) to analyze the factors affecting the decrease in birth rates and the increase in mortality in the villages of the economic region; (2) to analyze the trends in the change in the level of births, deaths, natural growth, infant mortality, marriages and divorces from 2010 to 2024; (3) to conduct a comparative analysis of internal differences in demographic indicators in the economic region and their comparison with the average indicators for the country; (4) to study the negative impact of natural increase and decrease in marriages, high infant mortality and divorces on population growth in the region. The research was conducted using statistical methods, comparative analysis, mapping, a historical-geographical approach and periodic statistical materials of the State Statistical Committee of Azerbaijan. The main results show that the economic difficulties that began in 1995 led to a decrease in the number of children born and a decrease in the growth rate of the rural population. In recent years, the decrease in the number of children born, the increase in the number of families with one or two children, the decrease in marriages and the increase in divorces have resulted in a minimal increase in the number of rural population. Although villages have been the main source of population growth in the republic for many years, they can no longer fulfil this function. Therefore, it is necessary to take measures in the economic and socio-cultural directions to ensure the growth of the population, including the rural population.

Keywords*:* Republic of Azerbaijan, Mil-Mugan economic region, rural settlements, rural population, birth, death and natural growth rates, infant mortality, marriages and divorces, administrative districts, population

For citation: Valiyev M.R. 2026. Dynamics of Demographic Indicators of the Rural Population in Azerbaijan's Mil-Mughan Economic Region. Regional Geosystems, 50 (2): 452–462 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-452-462 EDN: ZOHLCV

Динамика демографических показателей сельского населения Миль-Муганского экономического района Азербайджана

Валиев М.Р.
Институт географии им. Академика Г. Алиева
Азербайджан, AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 117
musavaliyev77@gmail.com

Аннотация. Миль-Муганский экономический район включает административные районы Бейлаган, Имишли, Саатли, Сабирабад. Экономический район расположен в Кура-Аразской низменности, на Мильской равнине между реками Кура и Араз, и на Муганской равнине, по

© Valiyev M.R., 2026

правому берегу обеих рек. Сабирабадский район на небольшой территории переходит в Ширванскую равнину. Цель исследования – изучение тенденций динамики демографических показателей среди сельского населения Миль-Муганского экономического района, их влияния на рост населения и изменения в полово-возрастном составе, а также выявление путей решения возникающих проблем. Для достижения этих целей поставлены следующие задачи: (1) анализ факторов, влияющих на снижение рождаемости и увеличение смертности в селах экономического района; (2) анализ тенденций изменения уровня рождаемости, смертности, естественного прироста, младенческой смертности, браков и разводов в 2010–2024 гг.; (3) провести сравнительный анализ внутренних различий демографических показателей экономического региона и их сравнение со средними показателями по стране; (4) изучить негативное влияние естественного прироста и сокращения числа браков, высокой младенческой смертности и уровня разводов на рост населения в регионе. Исследование проводилось с использованием статистических методов, сравнительного анализа, картографирования, историко-географического подхода и периодических статистических материалов Государственного статистического комитета Азербайджана. Основные результаты показывают, что экономические трудности, начавшиеся в 1995 году, привели к снижению рождаемости и замедлению темпов роста сельского населения. В последние годы снижение рождаемости, увеличение числа семей с 1–2 детьми, снижение числа браков и увеличение числа разводов привели к минимальному увеличению численности сельского населения. Хотя села на протяжении многих лет являлись основным источником прироста населения в республике, они больше не могут выполнять эту функцию. Поэтому необходимо принять меры в экономическом и социально-культурном направлениях для обеспечения роста населения, в том числе сельского. Результаты исследования могут быть использованы при разработке комплексных мер по регулированию демографической ситуации в экономическом регионе, при определении потенциала трудовых ресурсов в селах в ближайшем будущем, при сравнении экономического региона с другими регионами, а также играть важную роль в качестве источника в этих областях.

Ключевые слова: Азербайджанская Республика, Миль-Муганский экономический район, сельские населенные пункты, сельское население, рождаемость, смертность и естественный прирост населения, младенческая смертность, браки и разводы, административные районы, численность населения

Для цитирования: Валиев М.Р. 2026. Динамика демографических показателей сельского населения Миль-Муганского экономического района на территории Азербайджана. Региональные геосистемы, 50 (2): 452–462 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-452-462 EDN: ZOHLCV

Introduction

Demographic indicators in a country and its regions change over a short period of time under the influence of economic, socio-cultural and other demographic factors, and in many cases, there is a tense situation. The factors determining the demographic situation include the number of urban and rural populations, gender and age composition, level of education and employment, provision of housing, development prospects of settlements and regions in which they are located, provision of jobs, level and opportunities for earning income [Medkov, 2002]. In Europe and North America, the low birth and natural growth rates, low marriage rates are due to the high level of urbanization, high education and employment of the population, especially women, high costs of child maintenance and education, and people's preference for living a private life [Butov, 2003].

However, unemployment, falling incomes, falling living standards, and difficulties in providing housing in the first years of independence in the post-Soviet space led to increased external migration in a short time, a violation of the gender-age composition of the population with a greater participation of the young population in these processes, and fewer marriages. In a short time, a decrease in births, an increase in mortality, including infant mortality, resulted in a reduced number of children in families, and a decrease in the population growth rate to a minimum.

Recently, the increase in the level of education and employment of women in the country, the spread of the pandemic throughout the world and the population, higher expenses on the

upbringing, education, and other socio-cultural development of children, and the low level of social security lead to a decrease in marriages, a higher marriage age, a decrease in the number of children in established families or their complete absence [Eminov, 2023]. As a result, the number of children born and natural population growth has sharply decreased. This affects demographic development in the regions, and the population growth rate is significantly decreasing. In the coming years, the gender-age composition of the population may be dramatically disrupted, and difficulties may arise in providing agricultural sectors with labor. At the same time, if we take into account external migrations, we can observe an increase in the tension of the demographic situation in the coming years. The above-mentioned demographic development problems are also clearly visible in the Mil-Mugan economic region of Azerbaijan.

Therefore, it is an important task to continuously study demographic processes and identify possible difficulties and problems and find solutions. The influence of national customs and traditions, religious and ideological factors, which determine demographic development in many ways in villages, is constantly manifested. Therefore, marriages among the rural population are possible at a relatively younger age compared to the urban population, and divorces and migrations are at a low level [Antonova, 2014]. At the same time, there are many children in families, the employment rate of women is low, and housewives predominate. Therefore, natural population growth in villages has been at a high level for a long time. The migration of some people to cities also solved the problem of population growth and labor supply here [Eminov, 2005].

However, in the last decade, difficulties in employment, providing socio-cultural services, and generating income in villages have intensified migrations among the already weakly growing population, the gender-age composition of the population has been disrupted, and natural growth has dropped to a minimum level. These processes are also characteristic of the Mil-Mugan economic region located in the lower reaches of the Kura and Araz rivers [Hasanov, Karimli, 2014].

For many years, the rural population in Azerbaijan has been the main source of natural population growth. However, in the early years of independence, due to the influence of the above-mentioned factors, the differences between the population indicators in urban and rural areas have disappeared, and there are almost no differences. On the other hand, after the periodic demographic changes that occurred during the years of independence, the birth and natural growth rates have completely decreased and dropped to a minimum level [Geography …, Vol. III, 2015].

After decreases in 1995–2005, there was a partial increase in 2005–2015, but in the last 10 years, there have been continuous declines [Demographic indicators of Azerbaijan …, 2025; Population of Azerbaijan …, 2025]. Population growth at this level may no longer ensure demographic development in the next 10–15 years.

Despite the serious impact of the economic and socio-cultural conditions in the regions of the country on demographic development, the processes occurring in the administrative districts included in the Mil-Mugan economic region and their dynamics over time have been poorly studied in scientific research. This creates difficulties in determining the modern trends of demographic development in the region and substantiating the priority directions of demographic development in the near and medium term.

In this regard, the main purpose of the study is to analyze the intra-regional differences and dynamics of births, deaths, natural growth, infant mortality, marriages and divorces in the process of influencing the formation of modern economic, socio-cultural development, population employment and income in the administrative districts belonging to the Mil-Mugan economic region.

The object of the study is the rural population of the economic region and the development districts included in it, and the demographic development processes recorded among them. Although the economic region was established in 2021, statistical data from 2010 onwards on the four administrative districts included in the region and previously existing were used in the research process [On territorial structure …, 2000; Demographic development …, 2021].

Objects and methods of research

The object of the study is the administrative districts of Beylagan, Imishli, Saatly, and Sabirabad, which are part of the Mil-Mugan economic region, and the indicators that determine their demographic development. The area of the economic region is 5.67 thousand km^2, which covers 6.55 % of the country's territory [Demographic indicators of Azerbaijan …, 2025; Classification of administrative …, 2024]. At the beginning of 2025, the total population of the economic region was 527,5 thousand people. They constitute 5.08 % of the total population of the country [Population of Azerbaijan …, 2025]. The material basis of the study is official statistical data and census materials collected from the annual publications of the State Statistical Committee of Azerbaijan on demographic development in 2010–2025 ("Demographic indicators of Azerbaijan", "Population of Azerbaijan" and "Regions of Azerbaijan") [Population Census … 2010; …, 2022].

The research methodology includes several stages:

- collection and systematization of statistical data on the demographic development of administrative regions;
- based on statistical methods and comparative analysis, the dynamics of relative and absolute indicators of birth, death and natural increase in administrative regions were assessed;
- their comparative analysis with the corresponding indicators of the country and the economic region was carried out;
- the decrease in infant mortality, marriages and divorces and their differences between administrative regions were analyzed, and their negative impact on demographic development was assessed.
- the reasons for the decline in the dynamics of demographic indicators and their negative impact on the population growth rate were analyzed;
- A visual representation of the results was provided with the help of maps, diagrams and graphs to demonstrate regional differences clearly.

The practical significance of the study is that the results obtained allow the following:

- Identifying the factors that cause the decline of demographic indicators in the Mil-Mugan economic region and the problems they may create;
- Identifying internal differences in indicators reflecting the demographic situation in administrative districts;
- Indicating the importance of implementing measures to prevent the decline of indicators determining demographic development, to consider proposals in this area.

The scientific novelty of the study includes studying the dynamics of the demographic development of the rural population in the administrative districts included in the newly created Mil-Mugan economic region, comprehensively assessing the economic and socio-cultural factors affecting these processes, and identifying internal differences in demographic development.

Results and discussion

In 2024, the number of children born among the rural population of the country was 52,9 thousand people, or 51.7 % of the total population, and the natural increase was 27,2 thousand people, or 62.6 % (Table 1). The number of deaths was 25,8 thousand people, or 43.8 %. The significantly higher level of the specific gravity of natural increase is due to the lower mortality rates of the rural population compared to the urban population. The difficult living and working conditions in cities, economic and socio-psychological difficulties, led to an increase in the mortality rate of the population, especially among men [Berendeyeva, Zosimova, 2016].

Table 1
Таблица 1

Change in demographic indicators of the rural population, people
Изменение демографических показателей сельского населения, людей

Administrative districts	Years	Demographics indicators					
		Birth	Death	Natural growth	Infant death	Marriages	Divorces
Administrative district	2010	6613	1749	4864	45	3168	100
	2015	7831	1830	6001	46	2783	221
	2020	5753	2486	3267	43	1689	350
	2023	5298	2020	3278	69	2197	530
	2024	4600	1960	2640	66	2063	459
The Republic of Azerbaijan.	2010	83891	25211	58680	670	37580	2308
	2015	85061	25069	59992	431	32150	4106
	2020	65056	33598	31458	362	17034	5097
	2023	58170	26397	31776	722	25342	6848
	2024	52937	25770	27167	669	23446	6935

Source: Population of Azerbaijan 2023, SSC, 2024, pp. 84-102, 112-120. Population of Azerbaijan 2024, SSC, 2025 pp. 84-102, 112-120. Demographic indicators of Azerbaijan - 2024, SSC, 2025 pp. 126-229, 320-350, 418-522

In the Mil-Mugan economic region, the number of children born among the rural population in 2024 was 4,6 thousand people, and the natural increase was 1,6 thousand people (see Table 1). Their share among the total population was 75.8 % in terms of the number of children born, 82.6 % in terms of natural growth, and their share in the number of deaths was 68.2 %.

Based on the analysis of the obtained relative indicators, we can say that due to the high number and specific weight of the rural population in the economic region, the widespread rural lifestyle, and the low level of education and employment of women, the number of children in families is still high, and so is the natural population growth. As a result, the relative indicators in the economic region are high compared to the birth and natural growth indicators for the country's rural population.

However, the birth, death and natural increase rates per 1000 people for the total and rural population of the economic region do not differ sharply and are close to each other. In 2024, the birth rate among the rural population in the republic was 11.4, and the natural increase rate was 5.9 (Fig. 1). In the Mil-Mugan economic region, the birth rate was 11.7, and the natural increase rate was 6.7, respectively [Regions of Azerbaijan …, 2025]. As can be seen, there are now small differences between the birth and natural increase rates for the total and rural population in the regions of the country.

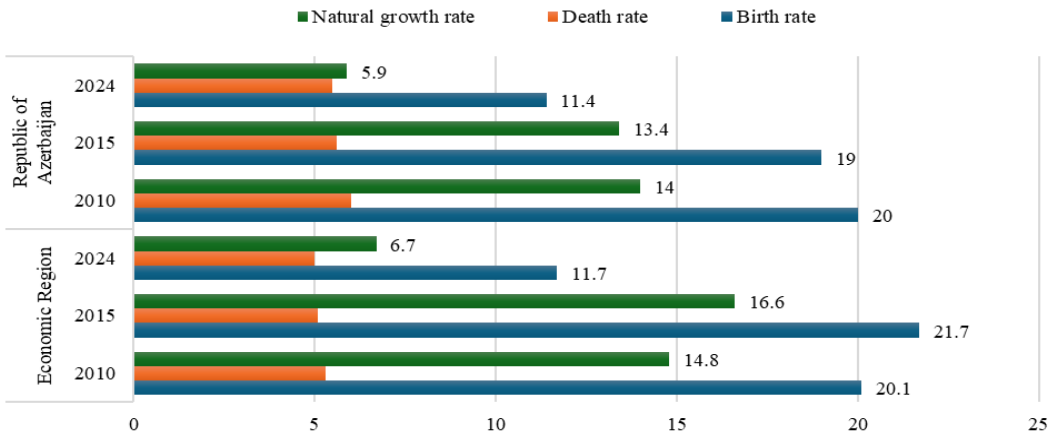


Fig. 1. Birth, death and natural population growth rates in rural administrative districts, per 1,000 people
Рис. 1. Показатели рождаемости, смертности и естественного прироста сельского населения в административных районах, на 1 000 человек

In 2024, the birth, death and natural growth rates in the administrative districts included in the Mil-Mugan economic region are also close to the average indicators for the economic region and are significantly lower than in previous years (Fig. 2). The number of deaths recorded among the general population in the country, both in absolute quantities and in the coefficients per 1,000 people, is higher than the natural growth rates. However, for now, both in the country and in the economic region, the absolute and relative quantities of natural growth among the rural population are higher than the mortality rates [Demographic development, 2021].

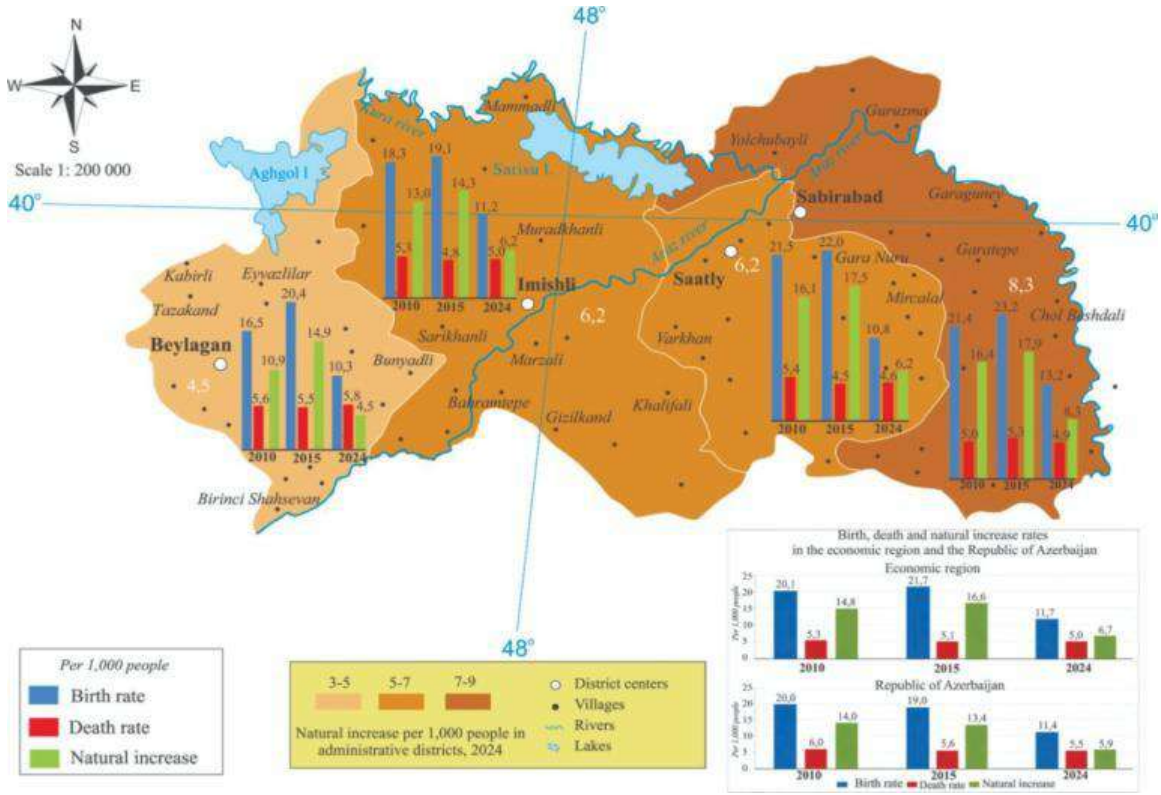


Fig. 2. Birth, death and natural population growth rates in rural administrative districts
Рис. 2. Показатели рождаемости, смертности и естественного прироста среди сельского населения административных районов.

Birth and natural growth rates per 1,000 people are higher than the average indicators of the economic region only in Sabirabad district (see Fig. 2). The birth rate in the district for 2024 was 13.2, the natural growth rate was 8.3, and the mortality rate is significantly lower. Due to the large rural population in the district, the spread of rural lifestyle, and the presence of two to three children in families, the number of children born and the natural growth rate are relatively high.

The lowest values of birth and natural growth rates among the rural population in the economic region have been recorded in Beylagan district. They are even lower than the indicators among the rural population in the country. In 2024, the birth rate in the district was 10.3, and the natural growth rate was 4.5, which is a very low indicator for ensuring the population. The number of children born in Beylagan and the low level of natural growth are due to the small rural population, high employment of the population, especially women, and the spread of urban lifestyle.

The number of children born in Saatly district also has low indicators and the natural growth rate (see Fig. 2). In 2024, the birth rate per 1,000 people was 10.8, and the natural growth rate was 6.2. Despite the high number and specific weight of the rural population among the population here, the demographic situation is declining.

Although the natural growth rate in Imishli district (6.2 per 1,000 people) is at the same level as in Saatly district, the birth rate is relatively high (11.2). This is due to the high mortality rate.

Since the first years of the 21st century, there have been certain increases in the number of children born and natural growth among the country's total population, including the rural population. Therefore, in 2010, the birth rate per 1,000 people was 18.5, the natural growth rate was 12.5, including the birth rate among the rural population was 20.0, the natural growth rate was 14.0, and the death rate was recorded at the same level [Pashayev et al., 2010; Geography …, Vol. II, 2015].

Since this period, the birth and natural growth rates have tended to decrease. As a result of the decline that began in 2010, the birth rate among the country's rural population decreased to 12.6 in 2023, and the natural growth rate to 6.9 [Demographic indicators …, 2025]. In 2024, the birth rate in Azerbaijan decreased to 57.0% of the 2010 level, and the natural growth rate to 42.1 %, or a 2.4-fold decrease (see Fig. 1).

The decline in demographic indicators is also observed among the rural population of the economic region. After 2010, the birth rate per 1,000 people in the rural population of the Mil-Mugan economic region was 20.1, and the natural growth rate was 14.8, which differs little from the average indicators for the republic. In 2010–2015, they increased somewhat. However, in general, in subsequent periods, the birth and natural growth rates have tended to decrease continuously. In 2024, the birth rate among the rural population of the economic region was at the level of 58.2% of the 2010 indicator, and the natural growth rate was 2.2 times lower (see Fig. 1).

Starting from this period, decreases in absolute indicators are also evident. In 2010–2024, the number of children born in the economic region decreased by 2,0 thousand people (30.4 %), and natural growth decreased by 2,2 thousand people (45.7 %). These decreases are already of a sustainable nature. Even compared to 2023, the number of children born in 2024 was 830 people less, and natural growth was 762 people less (see Table 1).

Although there are certain differences between administrative regions in terms of birth and natural growth indicators, the general dynamic trends are similar and tend to decrease. In 2010, the highest birth rate per 1,000 people was recorded in Saatly region (21.5 per 1,000 people), and the natural growth rate was recorded in Sabirabad region (16.4 per 1,000 people) (see Fig. 1). There was a slight increase in these indicators in 2010–2015, rising above 20.0 per 1,000 people in Sabirabad (23.2), Saatly (22.0), and Beylagan (20.4) districts. However, it has been continuously decreasing in subsequent periods (see Fig. 2).

In 2010–2024, the birth rate in Saatly district decreased by 2.0 times, and the natural increase rate by 2.6 times. In Sabirabad district, the birth rate decreased by 1.6 times, and the natural increase rate by 2.0 times. In Beylagan district, the birth rate decreased by 37.6 %, and the natural increase rate by 2.4 times. In Imishli district, the birth rate decreased by 38.8 %, and the natural increase rate by 2.1 times. The greater decrease in natural increase is also associated with an increase in the mortality rate.

The decrease in birth, mortality, and natural increase indicators is also clearly observed in absolute quantities. Absolute quantities are formed primarily in accordance with the population size. Therefore, high indicators belong to Sabirabad district. As in relative quantities, the number of children born here and the natural increase increased in 2010–2015. Since then, continuous decreases have been observed. In Sabirabad district, the number of children born in 2010–2024 decreased by 710 people (26.4 %), natural increase by 823 people (39.9 %) [Population of Azerbaijan …, 2025]. In Saatly district, these decreases were 670 people (40.6 %), natural increase by 2.2 times (671 people), in Imishli district, the number of children born was 409 people (28.4 %), natural increase by 447 people (1.8 times), in Beylagan district, the number of children born was 224 people (26.8 %), natural increase by 283 people (2.1 times) [Demographic indicators …, 2025].

The figures show that as the number of children born and the natural increase rate decrease, the declines also decrease somewhat, meaning that higher birth and natural increase rates are subject to greater declines.

One of the important indicators of the demographic situation is infant mortality. The level of infant mortality primarily depends on the socio-economic development of countries, the medical services provided to mothers and children, and their nutrition. In 2024, 1,420 infant deaths under the age of 1 were recorded in Azerbaijan, including 669 deaths (47.1 %) in rural areas (see Table 1), [Population of Azerbaijan …, 2025]. Despite the large number of medical institutions in cities, their high material and technical base and staffing, most infant deaths are recorded there. The infant mortality rate per 1,000 live births was 13.9 for the general population and 12.6 for the rural population [Regions of Azerbaijan, 2024].

In the Mil-Mugan economic region, there were 66 infant deaths among the rural population in 2024, with its coefficients being 14.3, respectively (Fig. 3). Although the share of the economic region in infant mortality is low, its relative values are above the average indicators of the country. Therefore, it is important to implement measures in this area and establish children's hospitals [Valiyev, 2025].

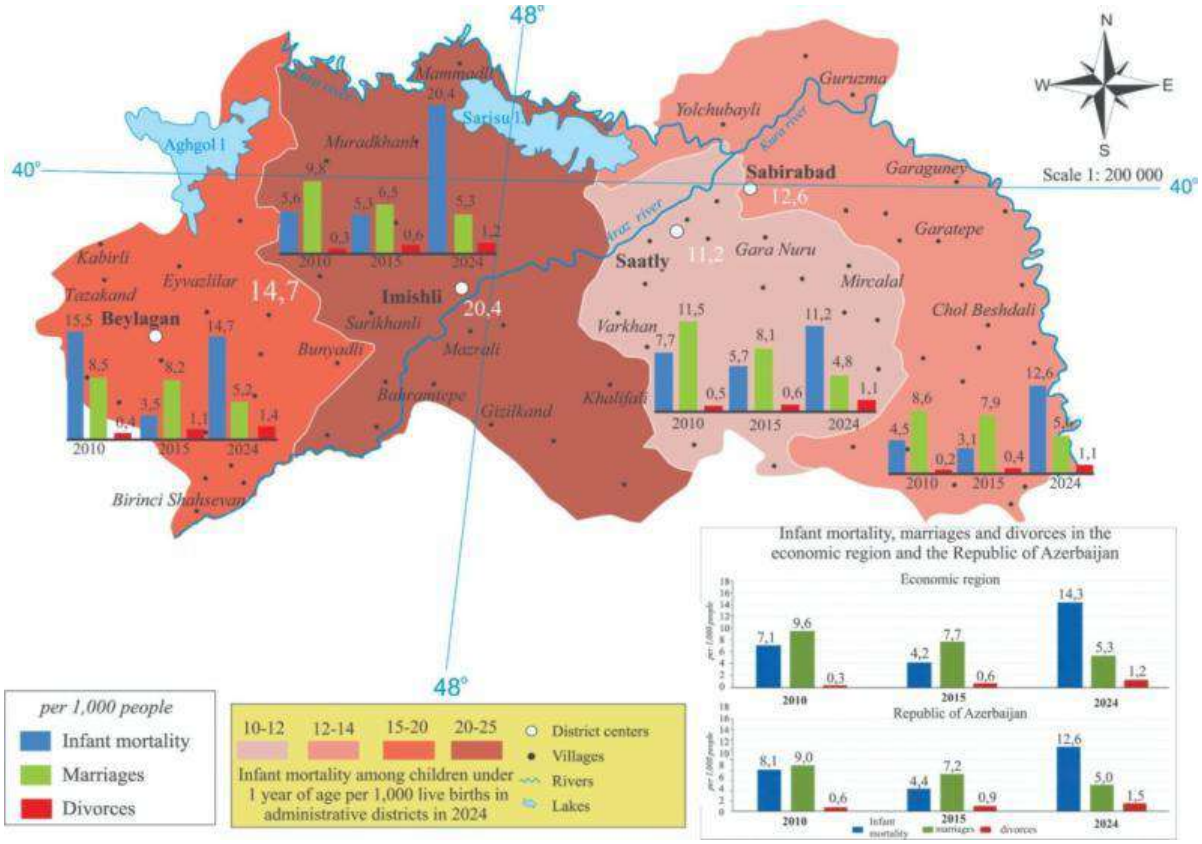


Fig 3. Infant mortality (per 1000 live births), marriage and divorce rates (per 1,000 people) among the rural population of administrative districts

Рис. 3. Младенческая смертность (на 1000 живорожденных), показатели браков и разводов (на 1000 человек) среди сельского населения административных районов

In the period after 2015, the infant mortality rate among the rural population in the country and in the Mil-Mugan economic region has continuously increased. The increase was 2.9 times among the rural population of the country and 3.4 times in the economic region (see Table 1 and see Fig. 3). The absolute number of children who died has also been continuously increasing in recent years.

In the administrative districts included in the Mil-Mugan economic region, among the rural population, more than 20 infant deaths were recorded in Sabirabad and Imishli districts in 2024, and nine infant deaths in Saatly and Beylagan districts. Their relative numbers are 14.7 in Beylagan and 20.4 in Imishli, and are above the average indicators of the economic region, the

numbers in 2024 are the highest in recent years (see Fig. 3). Therefore, taking measures to reduce infant mortality in the region should be one of the important tasks of the day.

Indicators that determine the demographic situation include marriages and divorces. They indirectly affect natural increase and population growth. Births in families are usually observed in the first years of marriage. Therefore, the greater the number of marriages, the greater the number of children born. On the contrary, divorces hurt the number of children born. [Boyarskiy et al., 1980].

Among the rural population of the Mil-Mugan economic region in 2024, there were 2063 marriages and 459 divorces, their coefficient per 1,000 people was 5.3 for marriages and 1.2 for divorces (see Table 1 and Fig. 3, Fig. 4). Considering the high number of marriages in villages, it can be said that its relative coefficient is higher than the average indicators for the country in the economic region, and lower for divorces.

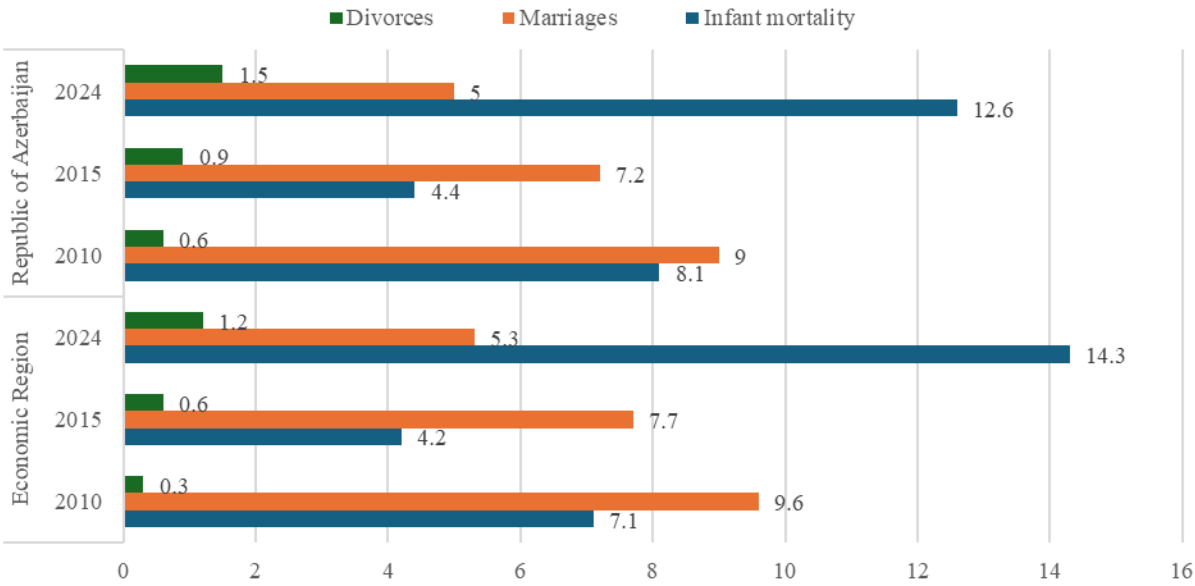


Fig 4. Infant mortality (per 1,000 live births), marriages and divorces (per 1,000 people) among the rural population in Azerbaijan and the economic region

Рис. 4. Младенческая смертность (на 1000 живорожденных), браки и разводы (на 1000 человек) среди сельского населения Азербайджана и экономического региона

At the same time, marriages are also decreasing and divorces are increasing among the rural population of the economic region. After 2010, the absolute number of marriages in the region decreased by 34.9 %, divorces increased by 4.59 times, the relative number of divorces also increased by 4.0 times, marriages in 2024 were at the level of 55.2 % of the 2010 indicator.

A serious decrease in marriages after 2010 is characteristic of all administrative regions. In Saatly district, this decrease was 2.4 times (see Fig. 3).

The divorce rate in 2024 was 1.4 in Beylagan district, and 1.1–1.2 in the remaining districts. After 2010, divorces in the region increased 3–4 times.

The absolute number of marriages and divorces varies according to the total population. Therefore, in 2024, 835 marriages and 164 divorces were registered in Sabirabad district, 430–480 marriages and 110–110 divorces in Imishli and Saatly. After 2010, divorces in the districts increased at a high rate [Population of Azerbaijan …, 2025].

At the beginning of 2025, the economic region had a population of 527,5 thousand people, of whom 393,3 thousand or 74.6 % were rural. In terms of the number of rural population in the administrative regions, Sabirabad district occupies the leading place and is 150,9 thousand people (38.4 %). Other districts with the largest number of rural populations are Imishli, with 91,8 thousand people, Saatly with 91,0 thousand people, and Beylagan with 59,6 thousand people (Fig. 5).

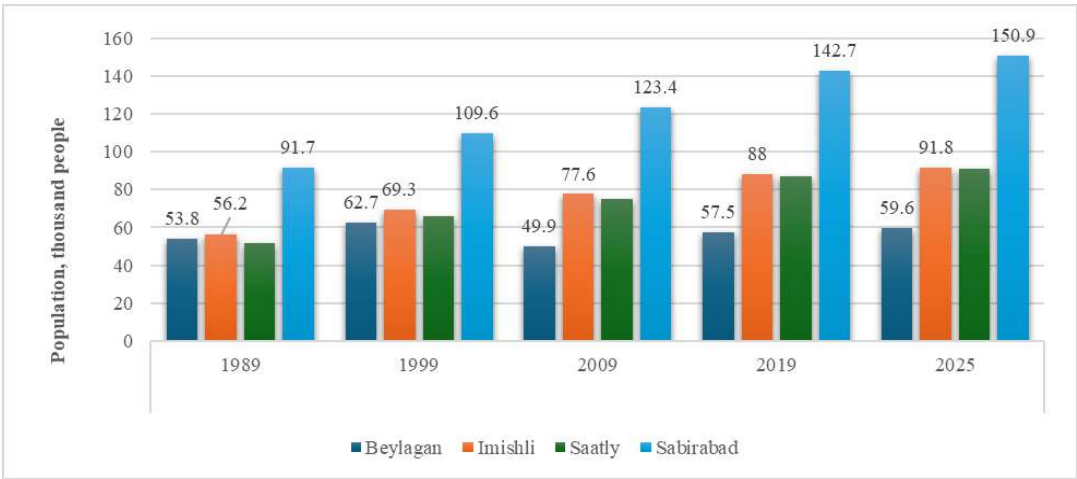


Fig. 5. Change in the number of rural population in administrative districts, thousand people
Рис. 5. Изменение численности сельского населения в административных районах, тыс. чел.

The decrease in birth and natural growth rates, the minimum number of marriages, high infant mortality and divorce rates in the economic region also have a negative impact on population growth. Thus, due to the high natural growth in 2005–2015, the number of rural population in the economic region increased by 15,0 % or 49,0 thousand people in 2009–2019. This means an average annual increase of 4,9 thousand people. In 2019–2025, the average annual increase rate decreased to 3,6 thousand people. In Sabirabad district, the average annual rural population was 1,93 thousand people in 2009–2019, 1,64 thousand people after 2019, and in Beylagan district, 760 people and 420 people, respectively [Population of Azerbaijan, 2025].

Conclusion

The conducted research allowed us to achieve the set goal – the regional intra-regional differences in births, deaths, natural growth, infant mortality, marriages and divorces in the Mil-Mugan economic region were determined, and their distribution across administrative districts was studied. The issues raised in the research process were consistently resolved, which allows for a comprehensive assessment of the dynamics of demographic development in administrative districts.

It was determined that the spread of mass diseases (pandemics) in recent times, the increase in the economic and social activity of women, the decrease in marriages, and the increase in divorces have hurt the dynamics of demographic indicators. The tendency of most indicators ensuring demographic development to decrease has intensified.

An analysis of demographic indicators for 2010–2024 shows that the birth and natural growth indicators ensuring development in this area have decreased significantly in recent times, especially after 2015. These decreases were more intense among the rural population, which is the main source of natural growth. There are no longer any differences in the relative quantities of the birth and natural growth coefficient between the urban and rural population. The level of existing indicators may not provide for population growth in the near future; their constant number will lead to demographic aging. The current level of infant mortality, marriages and divorces, which determine population growth, also has a negative impact on the processes. Because infant mortality and divorces have increased several times since 2010, and marriages have decreased.

Based on the study of the regional distribution of demographic indicators, it was determined that there are significant differences in the population, employment level, and migrations by administrative districts. Despite measures taken to ensure employment of the population and improve socio-cultural services, natural growth and marriages continue to decrease, divorces are decreasing, and infant mortality remains high.

Thus, the results of the studies confirm that providing the population with jobs, obtaining income, providing housing, and establishing socio-cultural services in accordance with modern requirements also have an impact on demographic development. As a result of their decline in recent times, the population growth rate is decreasing, and the discrepancy in the age structure is rising. The results obtained can be used in the development of territorial plans for demographic development and in ensuring sustainable development in administrative districts.

References

Antonova N.L. 2014. Demografiya [Demography]. Ekaterinburg, Pabl. Uralskogo universiteta, 154 p.
Berendeyeva A.B., Zosimova L.A. 2016. Osnovy demografii [Basics of Demography]. Ivanovo, Pabl. Ivanovskiy filial ChOU VO «Institut upravleniya» 319 p.
Boyarskiy A.Ya., Valentey D.I., Kvasha A.Ya. 1980. Osnovy demografii [Basics of Demography]. Moscow, Pabl. Statistika, 295 p.
Butov V.I. 2003. Demografiya [Demographics]. Moscow–Rostov-on-Don, Pabl. MarT, 592 p.
Classification of Administrative Territorial Divisions – 2024. 2024. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 119 p. (in Azerbaijani)
Demographic Development of Villages and Problems of Settlement of the Rural Population in the Republic of Azerbaijan. 2021. Ed. by Z.N. Eminov. Baku, Publ. Optimist LLC, 552 p. (in Azerbaijani)
Demographic Indicators of Azerbaijan – 2024. 2025. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 640 p. (in Azerbaijani)
Eminov Z.N. 2005. Population of Azerbaijan. Baku, Publ. Chirag, 560 p. (in Azerbaijani)
Eminov Z.N. 2023. Socio-Demographic Development and Employment Problems of the Republic of Azerbaijan. Baku, Publ. CN Poligraf LLC, 451 p. (in Azerbaijani)
Geography of the Republic of Azerbaijan. Vol. II. Economic, Social and Political Geography. 2015. Baku, 327 p. (in Azerbaijani)
Geography of the Republic of Azerbaijan. Vol. III. Regional Geography. 2015. Baku, 400 p. (in Azerbaijani)
Hasanov T.G., Karimli Y.S. 2014. Planning of Regions and Cities. Baku, 330 p. (in Azerbaijani)
Medkov V.M. 2002. Demografiya [Demographics]. Rostov-on-Don, Feniks, 448 p.
On Territorial Structure and Administrative Territorial Division: Law of the Republic of Azerbaijan. 2000. Baku, 13 p. (in Azerbaijani)
Pashayev N.A., Eyyubov N.H., Eminov Z.N. 2010. Economic, Social and Political Geography of the Republic of Azerbaijan. Baku, Publ. Chirag, 416 p. (in Azerbaijani)
Population Census of the Republic of Azerbaijan – 2019. Vol. I. Population Size, Gender-Age Composition. 2022. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 682 p. (in Azerbaijani)
Population Census of the Republic of Azerbaijan. 2009. Statistical Bulletin. Vol. I. Population Size, Gender-Age Composition. 2010. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 629 p. (in Azerbaijani)
Population of Azerbaijan – 2024. 2025. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 134 p. (in Azerbaijani)
Regions of Azerbaijan – 2023. Statistical Compilation. 2024. Baku, Publ. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 849 p. (in Azerbaijani)
Valiyev M.R. 2025. Rural Settlements of the Mil-Mughan Economic Region and the Classification of the Rural Population. Geography and Natural Resources, 2(24): 87–98 (in Azerbaijani)

Поступила в редакцию 03.03.2026;
поступила после рецензирования 14.05.2026;
принята к публикации 10.06.2026

Received March 03, 2026;
Revised May 14, 2026;
Accepted June 10, 2026

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Valiyev Musa Rafi, doctoral student, Institute of Geography named after Academician H. Aliyev, Baku, Azerbaijan

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Валиев Муса Рафи, докторант, Институт географии им. Академика Г. Алиева, Баку, Азербайджан