



Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет

ISSN 2712-7443 (online)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



2025. Том 49, №4

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2025. Том 49, № 4

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)

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

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

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

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 (Моргантайн, США)

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

Ченdev 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 30.12.2025.

СОДЕРЖАНИЕ

Структура и функционирование региональных геосистем

- 651 Белов М.А., Беккер М.Р., Синдирева А.В., Шигабаева Г.Н.**
Оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях степной и лесостепной зон Челябинской области
- 669 Механошина Е.В., Микова К.Д.**
Оценка многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища
- 684 Борисов А.В., Пинской В.Н., Кривошеев М.В.**
Динамика почвообразования и осадконакопления в балках Восточно-Донской гряды за последние 3000 лет
- 696 Новых Л.Л., Ченdev Ю.Г., Нарожняя А.Г.**
Эталонное качество почвенной структуры нативных черноземов на юге Среднерусской возвышенности
- 711 Лопатина Д.Н.**
Почвы Трёхголового гольца (Прибайкалье)
- 723 Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Платоненко Г.О.**
Исследование химического состояния малых водотоков юго-востока Калининградской области и факторы влияющие на него
- 735 Сизов О.С.**
Концепция криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири

Методология исследования геосистем

- 753 Дзюба Е.А., Мельникова С.Д.**
Токсикологическая оценка загрязнения почв подтоварными водами нефтяных месторождений
- 768 Imamverdiyev N.**
Wind Energy Sustainability Mapping in Azerbaijan through GIS-Based Spatial Analysis
- 782 Прожорина Т.И., Суханов П.А., Боева А.С.**
Оценка экологических рисков для здоровья населения Воронежской области в результате химического загрязнения питьевой воды
- 794 Савин И.Ю., Красильников П.В., Прудникова Е.Ю., Жулидова Д.А., Аветян С.А., Цейц М.А.**
Районы потенциальной аккумуляции голубого углерода в береговой зоне российской Арктики, выявляемые по спутниковым данным Landsat

Социально-экономические компоненты геосистем

- 814 Мартынов В.Л., Балабейкина О.А., Гавrilova К.С., Зайцева А.Е.**
Оценка туристской привлекательности монастырских комплексов (на примере Псковской области)
- 830 Максименко Е.В., Юрченко К.А.**
Повышение эффективности использования земель фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края
- 840 Сарафанов А.А., Сарафанова А.Г.**
Велосипедный туризм как подход к устойчивому развитию дестинации
- 851 Pashkov S.V., Zhukova N.V., Günay S., Sergeyeva A.M.**
Determinants of the development of gastrotourism in the North Kazakhstan region
- 864 Чугунова Н.В., Полякова Т.А.**
Демографический тренд сломан. Белгородская область. Исход населения

REGIONAL GEOSYSTEMS

2025. Volume 49, No. 4

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 30.12.2025.



CONTENTS

Structure and Functioning of Regional Geosystems

- 651 Belov M.A., Becker M.R., Sindireva A.V., Shigabayeva G.N.**
Assessment of Heavy Metal Content in Soils and Plants Using the Example of Steppe and Forest-Steppe Zones of the Chelyabinsk Region
- 669 Mekhanoshina E.V., Mikova K.D.**
Assessing the Long-Term Changes in the Seasonal Runoff of Rivers in the Votkinsk Reservoir Catchment Area
- 684 Borisov A.V., Pinskoy V.N., Krivosheev M.V.**
Dynamics of Soil Formation and Sedimentation in the Ravines of the East Don Ridge over the Past Three Thousand Years
- 696 Novykh L.L., Chendev Yu.G., Narozhnyaya A.G.**
Reference Quality of the Soil Structure of Native Chernozems in the South of the Central Russian Upland
- 711 Lopatina D.N.**
Soils of Mount Tryokhgalovy Golets (Baikal Region)
- 723 Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Platonenko G.O.**
Study of the Chemical State of Small Watercourses in the South-East of the Kaliningrad Region and Factors Influencing It
- 735 Sizov O.S.**
Concept of Cryohydroaeolian Landform Development in Postglacial Continental Settings in the North of Western Siberia

Methodology of Geosystems Research

- 753 Dziuba E.A., Melnikova S.D.**
Toxicological Assessment of Soil Contamination by Oilfield Produced Water
- 768 Imamverdiyev N.**
Wind Energy Sustainability Mapping in Azerbaijan through GIS-Based Spatial Analysis
- 782 Prozhorina T.I., Sukhanov P.A., Boeva A.S.**
Assessment of Environmental Risks to Public Health in the Voronezh Region as a Result of Chemical Contamination of Drinking Water
- 794 Savin I.Yu., Krasilnikov P.V., Prudnikova E.Yu., Zhulidova D.A., Avetyan S.A., Tseits M.A.**
Areas of Potential Blue Carbon Accumulation in Russian Arctic Identified Using Landsat Data

Socio-Economic Components of Geosystems

- 814 Martynov V.L., Balabeikina O.A., Gavrilova K.S., Zaytseva A.E.**
Assessment of the Tourist Attractiveness of Monastic Complexes (on the Example of the Pskov Region)
- 830 Maksimenko E.V., Yurchenko K.A.**
Enhancing the Efficiency of Using the Redistribution Fund Lands in the Abinsky District of the Krasnodar Territory
- 840 Sarafanov A.A., Sarafanova A.G.**
Cycling Tourism as an Approach to Sustainable Destination Development
- 851 Pashkov S.V., Zhukova N.V., Günay S., Sergeyeva A.M.**
Determinants of the Development of Gastrotourism in the North Kazakhstan Region
- 864 Chugunova N.V., Polyakova T.A.9**
The Demographic Trend is Broken. Belgorod Region. Population Exodus

Структура и функционирование региональных геосистем Structure and Functioning of Regional Geosystems

УДК 631.416.9+574.2
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-1
EDN CJEZOP

Оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях степной и лесостепной зон Челябинской области

Белов М.А., Беккер М.Р., Синдирева А.В., Шигабаева Г.Н.

Тюменский государственный университет,
Россия, 625003, г. Тюмень ул. Володарского, 6
m.blvv@yandex.ru, bekkrer125@mail.ru, sindireva72@mail.ru, g.n.shigabaeva@utmn.ru

Аннотация. Исследование почв на содержание свинца, меди, хрома, кадмия, цинка и марганца степной и лесостепной зон Челябинской области выявило умеренную антропогенную нагрузку и локальные риски загрязнения поллютантами. В большинстве проб почв превышения предельно допустимых концентраций кислоторастворимых и подвижных форм тяжелых металлов не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии критической угрозы накопления их токсических концентраций в агроэкосистемах. Напротив, во всех почвах выявлен дефицит подвижных форм цинка, меди и марганца, что указывает на нарушение баланса питательных веществ и необходимость в корректировке агрохимических мероприятий. В растениях агроценозов Увельского, Еткульского и Троицкого районов, установлены значительные превышения ПДК по хрому. В статье приведены коэффициенты биологического поглощения и накопления, согласно которым содержание элементов в растениях зависит не только от концентрации элементов в конкретном типе почв, но и от физиологических особенностей определенного вида растения.

Ключевые слова: чернозем, пшеница, подсолнечник, тяжелые металлы, хром, свинец, медь, марганец, цинк, Челябинская область

Для цитирования: Белов М.А., Беккер М.Р., Синдирева А.В., Шигабаева Г.Н. 2025. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях степной и лесостепной зон Челябинской области. Региональные геосистемы, 49(4): 651–668. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-1
EDN: CJEZOP

Assessment of Heavy Metal Content in Soils and Plants Using the Example of Steppe and Forest-Steppe Zones of the Chelyabinsk Region

Maxim A. Belov, Maria R. Becker, Anna V. Sindireva, Gulnara N. Shigabayeva

Tyumen State University,
6 Volodarsky St., Tyumen, 625003, Russia
m.blvv@yandex.ru, bekkrer125@mail.ru, sindireva72@mail.ru , g.n.shigabaeva@utmn.ru

Abstract. A study of soils for lead, copper, chromium, cadmium, zinc, and manganese in the steppe and forest-steppe zones of the Chelyabinsk Region revealed moderate anthropogenic stress and local risks of pollutant contamination. In most of the soil samples, acid-soluble and labile forms of heavy metals did not exceed the maximum permissible concentrations, which shows that there is no critical threat of accumulation of their toxic concentrations in agroecosystems. On the contrary, the labile forms of zinc, copper and manganese proved to be deficient in all the soils, indicating a violation of the nutrient balance and the need for corrective agrochemical measures. In the agrocenoses of Uvelsky, Etkulsky, and Troitsky districts, plants exhibit significant exceedance of the maximum permissible chromium

© Белов М.А., Беккер М.Р., Синдирева А.В., Шигабаева Г.Н., 2025



concentration. The article presents the coefficients of biological absorption and accumulation coefficients, according to which the content of elements in plants depends not only on the content of elements in a particular type of soil, but also on the physiological characteristics of a particular type of plant.

Keywords: chernozem, wheat, sunflower, heavy metals, chromium, lead, copper, manganese, zinc, Chelyabinsk region

For citation: Belov M.A., Becker M.R., Sindireva A.V., Shigabayeva G.N. 2025. Assessment of Heavy Metal Content in Soils and Plants Using the Example of Steppe and Forest-Steppe Zones of the Chelyabinsk Region. Regional Geosystems, 49(4): 651–668 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-1 EDN: CJEZOP

Введение

Почвенный покров Челябинской области характеризуется чрезвычайной пестротой. Он представлен сложными сочетаниями различных типов, подтипов, видов и разновидностей почв, преимущественно черноземов [Национальный атлас почв..., 2011]. Они составляют 64 % в структуре пашни, серые лесные – 9,8 %, солонцовые комплексы – 13,7 %, остальную площадь занимают другие типы почв [Зыбалов, Попкова, 2018]. Среди выращиваемых культур одними из наиболее распространенных являются зерновые и зернобобовые культуры. Согласно данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области, урожайность в 2023 г. зерновых и зернобобовых культур составила 15,9 ц/га, а валовый сбор культур 21 млн. ц. [Посевные площади ..., 2025].

При значительных объемах производства сельскохозяйственной продукции наблюдается существенный вынос питательных веществ, что в долгосрочной перспективе может негативно сказаться на агроэкоценозах. Одними из наиболее очевидных последствий этого процесса являются снижение плодородия почв, их деградация, дефицит микроэлементов и накопление соединений тяжелых металлов. Кроме того, необходимо учитывать влияние промышленных предприятий и автодорог, которые дополнительно усугубляют состояние почв [Яхиев и др., 2011; Семенов и др., 2015; Побилат, Волошин, 2017; Nishito, Kambe, 2018].

Южный Урал является крупнейшим промышленным центром России с исторически сложившейся индустриальной базой. В течение очень длительного времени в этом регионе производится добыча и переработка полезных ископаемых, что приводит к трансформации природных ландшафтов [Пахомов, Душин, 2008; Калашников, 2014; Наумов, Красных, 2019]. В процессе добычи полезных ископаемых рудное сырье извлекается из земных недр. Химические элементы, которые ранее находились в устойчивых термодинамических равновесных состояниях, оказываются на поверхности Земли, где подвергаются окислению. В результате образуются их подвижные формы, которые начинают активно мигрировать по ландшафтам, вызывая латеральную дифференциацию. Переработка рудного сырья на металлургических предприятиях приводит к рассеиванию тяжелых металлов в виде аэрозольных выбросов, которые могут распространяться на значительные расстояния в различных химических соединениях [Водяницкий, 2009; Kim et al., 2015; Байкалова и др., 2017; Moypier et al., 2017; Васин, 2021]. Происходит накопление тяжелых металлов в почве, которые переходят по пищевым цепям «почва – растение – человек», «почва – растение – сельскохозяйственные животные – человек», загрязняют и снижают качество сельскохозяйственной продукции, оказывают отрицательное влияние на поступление в растения элементов питания [Leduc et al., 1994; Ермохин и др., 2002; Лукин, 2011; Mao et al., 2019; Иванищев, 2022].

Целью данной работы является оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях на территории северной степи и южной лесостепи Челябинской области.

Объекты и методы исследования

Пробы отобраны в пределах Челябинской области в период созревания растениеводческой продукции, а именно в августе и сентябре 2023–2024 гг.

На территории Чесменского (Ч-Ch), Троицкого (Т), Пластовского (П-Р), Увельского (У-U), Еманжелинского (ЕМ-Em) и Еткульского (Е) районов с 48 площадок отобрано 96 проб почв и растений, среди которых злаковые (пшеница), гречишные (гречиха) и масличные (подсолнечник). Почвы представлены черноземами обыкновенными и черноземами выщелоченными [Казанцев, Матвеева, 2016]. Точки отбора проб изображены на рис. 1.

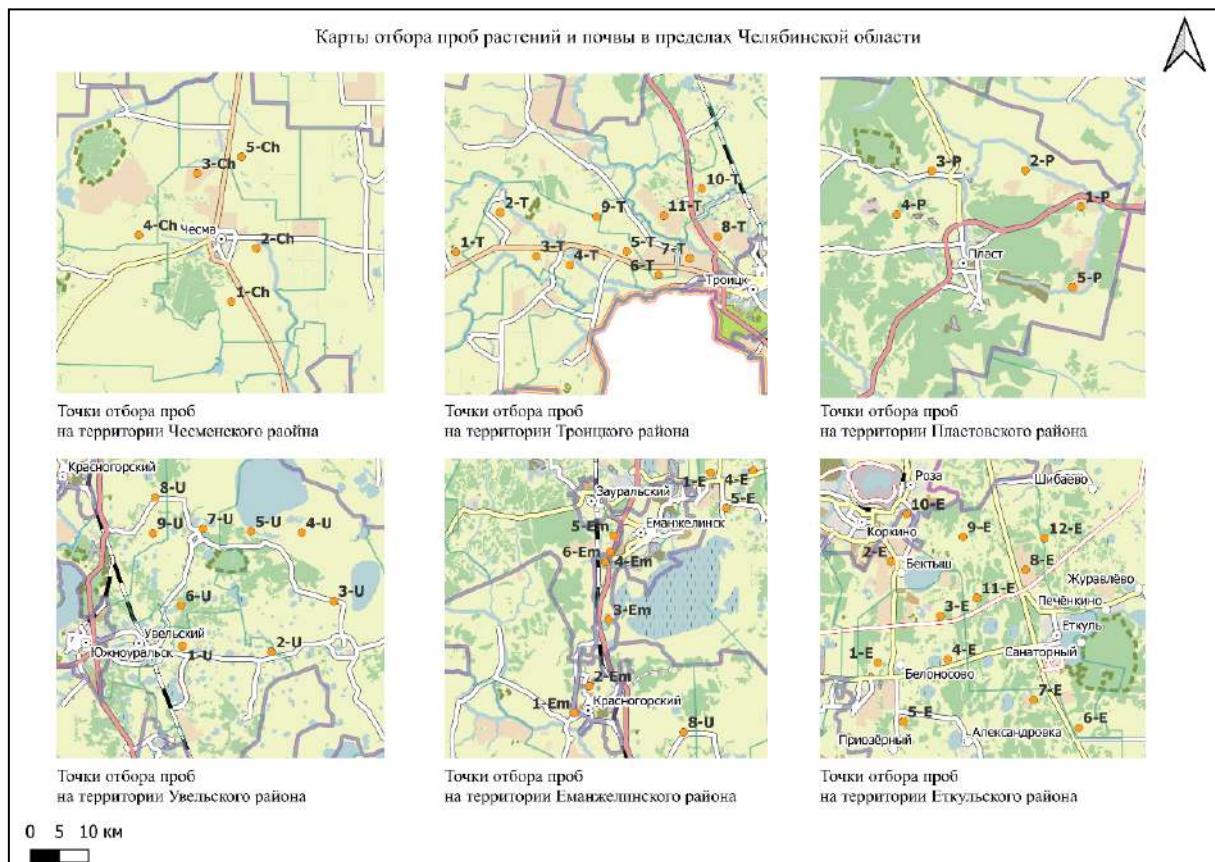


Рис. 1. Карта отбора проб растений в пределах Челябинской области
Fig. 1. Map of plant sampling within the Chelyabinsk region

Отбор проб растений проведен согласно ГОСТ Р 58588-2019 «Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа» [2019]. Объединенные пробы растений отобраны на тех же участках что и почвы. Почвы отбирались с пахотного горизонта сельскохозяйственных угодий с глубины 0–20 см в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охраны природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» [1983]. Пробоподготовка почв и растений проведена согласно методике ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 «Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой» [1998].

Результаты были получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» и Лаборатории экологических исследований Тюменского государственного университета.

Полученные данные обработаны с помощью стандартных статистических методов с использованием программного пакета *Microsoft Excel*. Также рассчитаны коэффициенты накопления и биопоглощения. Коэффициент накопления элементов в растениях рассчи-

тывается как отношение концентрации элемента в растении к содержанию подвижных форм тяжелых металлов в почве, что позволяет оценить способность растения извлекать и накапливать определенные вещества из окружающей среды. Коэффициент биологического накопления, в свою очередь, определяется как отношение содержания элементов в растениях к содержанию кислоторастворимых форм тяжелых металлов, что помогает понять, насколько эффективно организм поглощает и удерживает тот или иной элемент [Минкина и др., 2011; Морозова, Лицуков, 2019].

Результаты и их обсуждение

Исследуемые районы Челябинской области различаются по уровню антропогенной нагрузки. Лидирующее место занимает Троицкий район. Основным источником поллютантов является «Троицкая ГРЭС», где используется экибастузский уголь, а также промышленные предприятия, такие как «Троицкий электромеханический завод», «Троицкий металлургический завод», «Троицкий тракторный завод» и др.

Следующее место занимает Пластовский район. Здесь техногенная нагрузка обусловлена золотодобычей (Пластовский рудник), добычей и обогащением каолина (ООО «Пласт-Рифей»), а также производством щебня и асфальта (ООО «Пластовское ДРСУ»).

Третье место занимает Увельский район. Основная нагрузка связана с добычей строительных материалов (карьеры щебня и песка), что вызывает пылевое загрязнение. Агропромышленный комплекс, включая перерабатывающие предприятия, добавляет умеренное воздействие.

На четвертом месте находится Еманжелинский район. После прекращения угледобычи основная нагрузка связана с историческим загрязнением: деградированные земли и отвалы пород. Также на территории района находятся такие промышленные предприятия, как ОАО «Агрофирма «Ариант», АО «Уральский агрегатно-механический завод», ООО «Завод противопожарного оборудования № 3» и ООО «Еткульский асфальтобетонный завод».

Пятое место занимает Еткульский район. Добыча известняка (пыль, шум) и агротехногенное воздействие (эрзия почв, стоки удобрений) формируют нагрузку ниже среднего. На его территории находится крупнейшее в России предприятие по добыче и переработке белого мрамора (АО «Коелгамрамор»), а также малые камнеобрабатывающие предприятия, такие как ООО ТК «ГП», ООО «Стандарт» и ООО «Челябранит».

На последнем месте по уровню техногенной нагрузки находится Чесменский район. Для данной территории характерно доминирование агропромышленного сектора со средней интенсивностью (зерновые, животноводство) и отсутствие крупной промышленности вблизи населенных пунктов. Среди промышленных предприятий выделяются те, которые занимаются добычей медных руд (ООО «Восточный базис», входящее в состав Группы «Русская медная компания») и огнеупорной глины (ООО «Бускуль», часть Группы ПАО «ММК»).

Почвы степной зоны

Пробы отобраны в пределах двух муниципальных районов – Троицкий и Чесменский. На территории первого района отобрано 11 проб, почва представлена черноземом обыкновенным и выщелоченным. На территории второго района отобрано 5 проб чернозема обыкновенного. В пробах были проанализированы подвижные и кислоторастворимые формы Pb, Zn, Cu, Cr, Mn. Данные по содержанию подвижных форм представлены в табл. 1, по содержанию кислоторастворимых форм в табл. 2.

Таблица 1
 Table 1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах степной зоны Челябинской области
 The content of labile forms of heavy metals in the soils of the steppe zone of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | рН | Содержание, мг/кг | | | | |
|--------------------|-------------|------|-------------------|-----------|-------------|-------------|----------|
| | | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Чесменский район | 1 | 6,46 | 4,7±1,4 | 0,51±0,15 | 0,235±0,072 | 0,281±0,084 | 57±17 |
| | 2 | 6,73 | 4,3±1,3 | 0,54±0,16 | 0,312±0,093 | 0,185±0,057 | 66±20 |
| | 3 | 6,72 | 4,8±1,4 | 0,37±0,11 | 0,178±0,054 | 0,38±0,11 | 55±16 |
| | 4 | 6,72 | 5,0±1,5 | 0,37±0,11 | 0,150±0,045 | 0,57±0,17 | 62±19 |
| | 5 | 6,92 | 5,0±1,5 | 0,30±0,11 | 0,140±0,042 | 0,47±0,14 | 65±20 |
| Троицкий район | 1 | 6,93 | 5,2±1,6 | 1,03±0,31 | 0,217±0,066 | 1,14±0,34 | 42±13 |
| | 2 | 8,05 | 4,2±1,3 | 0,66±0,20 | 0,159±0,048 | 1,43±0,43 | 31,9±9,6 |
| | 3 | 7,58 | 3,3±1,0 | 0,68±0,20 | 0,121±0,036 | 1,09±0,33 | 36±11 |
| | 4 | 6,81 | 3,24±0,97 | 0,69±0,21 | 0,102±0,031 | 1,29±0,39 | 41±12 |
| | 5 | 8,27 | 2,75±0,83 | 0,60±0,18 | 0,064±0,018 | 1,52±0,46 | 36±11 |
| | 6 | 8,16 | 0,082±0,025 | 9,7±2,9 | 0,001 | 1,04±0,31 | 13,2±4,0 |
| | 7 | 8,05 | 0,001 | 7,4±2,2 | 0,001 | 0,86±0,26 | 25,9±7,8 |
| | 8 | 6,67 | 0,001 | 5,6±1,7 | 0,001 | 1,04±0,31 | 32,6±9,8 |
| | 9 | 6,91 | 0,001 | 3,3±1,0 | 0,001 | 1,13±0,34 | 35±10 |
| | 10 | 8,11 | 0,001 | 11,1±3,3 | 0,001 | 1,27±0,38 | 23,5±7,1 |
| | 11 | 7,90 | 0,001 | 3,17±0,95 | 0,001 | 1,27±0,38 | 42±13 |
| ПДК*, мг/кг | | — | 6 | 23 | 3 | 6 | 140 |

Примечание: *ПДК согласно СанПиН 1.2.3685-21 [2021] «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 2
 Table 2

Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах степной зоны Челябинской области
 The content of acid-soluble forms of heavy metals in the soils of the steppe zone of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | Содержание, мг/кг | | | | |
|--------------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------|---------------|
| | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Чесменский район | 1 | 15,9±4,8 | 40,04±12 | 15,9±4,8 | 15,3±4,6 | 391±117 |
| | 2 | 13,4±4,0 | 31,5±9,5 | 13,4±4,0 | 14,1±4,2 | 591±177 |
| | 3 | 12,9±3,9 | 36±11 | 12,9±3,9 | 15,6±4,7 | 1136±341 |
| | 4 | 13,6±4,1 | 36±11 | 13,6±4,1 | 12,2±3,6 | 621±186 |
| | 5 | 13,9±4,2 | 41±12 | 13,9±4,2 | 13,7±4,1 | 730±219 |
| Троицкий район | 1 | 16,4±4,9 | 25,9±7,8 | 16,4±4,9 | 15,2±4,6 | 523±157 |
| | 2 | 18,6±5,6 | 28,1±8,4 | 18,6±5,6 | 13,3±4,0 | 553±166 |
| | 3 | 13,1±3,9 | 26,9±8,1 | 13,1±3,9 | 18,4±5,5 | 474±142 |
| | 4 | 15,1±4,5 | 31,0±9,3 | 15,1±4,5 | 16,5±4,9 | 492±148 |
| | 5 | 18,2±5,5 | 38±11 | 18,2±5,5 | 14,5±4,3 | 511±153 |
| | 6 | 10,9±3,3 | 42±13 | 14,7±4,4 | 33±10 | 170±51 |
| | 7 | 10,9±3,3 | 44±13 | 16,6±5,0 | 34±10 | 247±74 |
| | 8 | 6,6±2,0 | 27,9±8,4 | 13,0±3,9 | 27,5±8,2 | 221±66 |
| | 9 | 7,9±2,4 | 39±12 | 18,5±5,5 | 30,0±9,0 | 243±73 |
| | 10 | 8,2±2,5 | 17,7±5,3 | 9,1±2,7 | 16,1±4,8 | 170±51 |
| | 11 | 7,4±2,2 | 24,7±7,4 | 11,4±3,4 | 21,2±6,4 | 222±67 |
| ПДК*, мг/кг | | 130 | 220 | 132 | 100 | 1500 |

Примечание: * ПДК согласно СанПиН 1.2.3685-21 [2021]. Примечание: жирным шрифтом выделено наибольшее содержание.

Превышение ПДК подвижных форм исследуемых тяжелых металлов в пробах не наблюдается. Подвижная форма является самой доступной для поглощения растениями, поэтому на данный момент можно говорить об отсутствии критического уровня загрязнения и угрозы для нормального функционирования биологических процессов [Рогачева и др., 2016].

Кислоторастворимые формы характеризуют техногенную составляющую в загрязнении почв. Превышение ПДК кислоторастворимых форм тяжелых металлов на исследуемой территории не наблюдается.

Согласно агрохимическим критериям «Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» и гигиеническим нормативам СанПиН 1.2.3685-21 [2021] зафиксировано следующее: содержание подвижных форм меди в пределах нормы только в 3 пробах (18,75 % от общего числа); содержание подвижных форм цинка в норме в 2 образцах (12,5 %), выше нормы в 4 (25 %); содержание подвижного марганца в норме только в 1 пробе, во всех остальных содержание выше нормы.

Кислоторастворимые формы марганца, цинка и меди, согласно агрохимическим критериям, соответствуют агро- и биогеохимической норме. Исключение составили кислоторастворимые формы марганца в пробах с 6 по 11 Троицкого района – в них содержание элемента находится ниже нормы (200–300 мг/кг).

Почвы лесостепной зоны

Почвы лесостепной зоны представлены почвами Еманжелинского, Еткульского, Увельского и Пластовского муниципальных районов. В Еманжелинском районе отобрано 6 проб, в Еткульском – 12, в Увельском – 9 и в Пластовском – 5. Все почвы по типу – черноземы выщелоченные (средне и тяжелосуглинистые). В пробах также проанализированы подвижные и кислоторастворимые формы тяжелых металлов. Данные по содержанию подвижных форм представлены в табл. 3, по содержанию кислоторастворимых форм в табл. 4.

В результате проведенного исследования выявлено загрязнение почв Пластовского района подвижными формами свинца в пробах 2, 3 и 5, где концентрации приближаются к ПДК в 6 мг/кг. В пробах 1 и 4 отмечено превышение ПДК, при этом среднее содержание свинца составляет 6,50 и 7,01 мг/кг соответственно. Подвижные формы свинца обладают высокой миграционной способностью, что способствует их переходу в почвенный раствор и последующему распространению в растительные объекты, а также в подземные и грунтовые воды.

Согласно агрохимическим градациям и гигиеническим нормативам СанПиН 1.2.3685-21 [2021], в 21 % проб содержание подвижных форм меди находится в пределах нормы (0,21–0,50 мг/кг), тогда как в остальных уровень микроэлемента ниже нормы. Подвижные формы цинка находятся в норме (2,1–5,0 мг/кг) в 29 % образцов, в остальных его содержание ниже нормы. Подвижные формы марганца соответствуют норме (10,1–20,0 мг/кг) только в одной пробе Еткульского района, в оставшихся содержание превышает норму. Подвижные формы свинца в целом соответствуют норме, за исключением двух образцов Пластовского района, где уровень микроэлемента превышает 6,0 мг/кг. Пробы № 3 ($5,9 \pm 1,8$ мг/кг) и № 5 ($5,9 \pm 1,8$ мг/кг) Пластовского района близки к предельно допустимым значениям.

Кислоторастворимые формы меди в лесостепной зоне также не превышают ПДК. В соответствии с агрохимическими градациями содержание кислоторастворимых форм марганца (< 200–300 мг/кг), меди (5–7 мг/кг) и цинка (10–15 мг/кг) находятся ниже нормы в пробах Увельского (6, 8, 9), Еманжелинского (3, 6) и Еткульского района (с 6 по 12).

Таблица 3
Table 3Содержание подвижных форм тяжелых металлов
в почвах лесостепной зоны Челябинской области
The content of labile forms of heavy metals in the soils
of the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | рН | Содержание, мг/кг | | | | |
|---------------------|-------------|------|-------------------|-------------|---------------|-------------|----------|
| | | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Пластовский район | 1 | 7,72 | 6,5±2,0 | 0,320±0,096 | 0,036±0,012 | 0,76±0,23 | 46±14 |
| | 2 | 6,60 | 5,5±1,7 | 0,42±0,13 | 0,045±0,012 | 0,90±0,27 | 33±10 |
| | 3 | 7,02 | 5,9±1,8 | 0,77±0,23 | 0,0261±0,0078 | 0,86±0,26 | 31,1±9,3 |
| | 4 | 8,20 | 7,0±2,1 | 0,293±0,087 | 0,102±0,031 | 1,34±0,40 | 33,0±9,9 |
| | 5 | 7,25 | 5,9±1,8 | 0,280±0,084 | 0,0170±0,0051 | 1,14±0,34 | 35±10 |
| Увельский район | 1 | 7,01 | 5,4±1,6 | 1,03±0,31 | 0,159±0,048 | 0,76±0,23 | 53±16 |
| | 2 | 7,18 | 5,0±1,5 | 0,58±0,17 | 0,112±0,034 | 0,66±0,20 | 53±16 |
| | 3 | 6,53 | 5,2±1,6 | 1,12±0,34 | 0,121±0,036 | 0,76±0,23 | 63±19 |
| | 4 | 6,78 | 5,2±1,6 | 0,52±0,16 | 0,102±0,031 | 0,66±0,20 | 66±20 |
| | 5 | 7,03 | 4,9±1,5 | 0,71±0,21 | 0,140±0,042 | 0,85±0,26 | 43±13 |
| | 6 | 6,73 | 0,001 | 3,5±1,0 | 0,001 | 1,13±0,34 | 24,0±7,2 |
| | 7 | 6,61 | 0,001 | 3,05±0,92 | 0,001 | 1,09±0,33 | 31,7±9,5 |
| | 8 | 6,54 | 0,001 | 2,34±0,70 | 0,001 | 1,18±0,35 | 30,1±9,0 |
| | 9 | 6,81 | 0,001 | 1,55±0,47 | 0,001 | 1,50±0,45 | 23,6±7,1 |
| Еманжелинский район | 1 | 8,36 | 4,4±1,3 | 0,43±0,13 | 0,330±0,099 | 0,185±0,054 | 36±11 |
| | 2 | 6,95 | 4,4±1,3 | 0,44±0,13 | 0,254±0,075 | 0,001 | 32,5±9,7 |
| | 3 | 7,08 | 4,5±1,3 | 0,74±0,22 | 0,311±0,093 | 0,089±0,027 | 44±13 |
| | 4 | 7,05 | 4,6±1,4 | 0,50±0,15 | 0,235±0,072 | 0,233±0,069 | 43±13 |
| | 5 | 8,18 | 4,4±1,3 | 0,95±0,29 | 0,234±0,069 | 1,28±0,38 | 57±17 |
| | 6 | 6,80 | 0,001 | 2,12±0,64 | 0,001 | 1,23±0,37 | 28,9±8,7 |
| Еткульский район | 1 | 6,63 | 3,7±1,1 | 0,39±0,12 | 0,34±0,10 | 0,001 | 27,4±8,2 |
| | 2 | 6,43 | 4,1±1,2 | 0,79±0,24 | 0,35±0,11 | 0,001 | 54±16 |
| | 3 | 6,98 | 4,2±1,3 | 0,89±0,27 | 0,36±0,11 | 0,089±0,027 | 51±15 |
| | 4 | 7,85 | 4,7±1,4 | 0,83±0,25 | 0,34±0,10 | 0,001 | 51±15 |
| | 5 | 7,21 | 4,4±1,3 | 1,11±0,33 | 0,310±0,093 | 0,001 | 51±15 |
| | 6 | 7,81 | 0,001 | 2,41±0,72 | 0,001 | 1,64±0,50 | 27,0±8,1 |
| | 7 | 7,32 | 0,001 | 4,1±1,2 | 0,001 | 1,68±0,50 | 34±10 |
| | 8 | 7,95 | 0,001 | 6,3±1,9 | 0,001 | 1,96±0,59 | 68±21 |
| | 9 | 6,84 | 0,001 | 1,12±0,34 | 0,001 | 1,77±0,53 | 28,7±8,6 |
| | 10 | 7,71 | 0,001 | 2,74±0,82 | 0,001 | 1,68±0,50 | 34±10 |
| | 11 | 6,75 | 0,001 | 6,3±1,9 | 0,001 | 1,68±0,50 | 25,6±7,7 |
| | 12 | 6,53 | 0,001 | 2,14±0,64 | 0,001 | 2,14±0,64 | 19,7±5,9 |
| ПДК, мг/кг | | – | 6 | 23 | 3 | 6 | 140 |

Примечание: жирным шрифтом выделено наибольшее содержание и превышения.

Таблица 4
Table 4Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах лесостепной зоны
Челябинской областиThe content of acid-soluble forms of heavy metals in the soils of the forest-steppe zone
of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | Содержание, мг/кг | | | | |
|---------------------|-------------|-------------------|----------|----------|----------|---------|
| | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Пластовский район | 1 | 13,3±4,0 | 35±10 | 13,3±4,0 | 15,4±4,6 | 624±187 |
| | 2 | 13,6±4,1 | 32,3±9,7 | 13,6±4,1 | 13,6±4,1 | 444±133 |
| | 3 | 12,5±3,8 | 25,4±7,6 | 12,5±3,8 | 12,6±3,8 | 445±133 |
| | 4 | 17,0±5,1 | 37±11 | 17,0±5,1 | 13,2±4,0 | 491±147 |
| | 5 | 15,0±4,5 | 31,2±9,4 | 15,0±4,5 | 14,3±4,3 | 587±176 |
| Увельский район | 1 | 15,0±4,5 | 20,2±6,1 | 15,0±4,5 | 19,1±5,7 | 709±213 |
| | 2 | 13,2±4,0 | 21,5±6,5 | 13,2±4,0 | 14,5±4,3 | 626±188 |
| | 3 | 12,4±3,7 | 28,0±8,4 | 12,4±3,7 | 13,8±4,1 | 616±185 |
| | 4 | 14,5±4,4 | 36±11 | 14,5±4,4 | 16,4±4,9 | 449±135 |
| | 5 | 11,8±3,5 | 21,7±6,5 | 11,8±3,5 | 12,7±3,8 | 669±201 |
| | 6 | 5,5±1,6 | 17,9±5,4 | 10,5±3,1 | 25,4±7,6 | 142±43 |
| | 7 | 10,1±3,0 | 22,5±6,8 | 11,7±3,5 | 21,8±6,5 | 250±75 |
| | 8 | 15,3±4,6 | 11,4±3,4 | 6,6±2,0 | 18,1±5,4 | 139±42 |
| | 9 | 3,9±1,2 | 13,3±4,0 | 6,7±2,0 | 17,1±5,1 | 134±40 |
| Еманжелинский район | 1 | 13,8±4,1 | 32,3±9,7 | 13,8±4,1 | 15,4±4,6 | 730±219 |
| | 2 | 12,6±3,8 | 33±10 | 12,6±3,8 | 12,3±3,7 | 315±94 |
| | 3 | 15,0±4,5 | 40±12 | 15,0±4,5 | 9,7±2,9 | 270±81 |
| | 4 | 13,1±3,9 | 34±10 | 13,1±3,9 | 11,2±3,4 | 318±96 |
| | 5 | 17,3±5,2 | 33±10 | 17,3±5,2 | 12,3±3,7 | 465±140 |
| | 6 | 4,9±1,5 | 14,8±4,4 | 7,8±2,4 | 19,7±5,9 | 166±50 |
| Еткульский район | 1 | 9,3±2,8 | 28,4±8,5 | 9,3±2,8 | 13,7±4,1 | 356±107 |
| | 2 | 11,2±3,4 | 21,9±6,6 | 11,2±3,4 | 16,6±5,0 | 395±118 |
| | 3 | 9,7±2,9 | 31,5±9,5 | 9,7±2,9 | 10,8±3,3 | 426±128 |
| | 4 | 11,6±3,5 | 37±11 | 11,6±3,5 | 10,7±3,2 | 573±172 |
| | 5 | 7,9±2,4 | 28,8±8,6 | 19,1±5,7 | 30,0±9,0 | 199±60 |
| | 6 | 10,1±3,0 | 23,6±7,1 | 14,0±4,2 | 22,8±6,8 | 214±64 |
| | 7 | 4,9±1,5 | 19,9±6,0 | 13,4±4,0 | 18,7±5,6 | 223±67 |
| | 8 | 10,9±3,3 | 42±12 | 32,5±9,8 | 21,2±6,4 | 272±82 |
| | 9 | 7,4±2,2 | 20,8±6,3 | 11,9±3,6 | 24,9±7,5 | 381±114 |
| | 10 | 10,9±3,3 | 20,7±6,2 | 9,6±2,9 | 26,9±8,1 | 204±61 |
| | 11 | 7,7±2,3 | 24,1±7,2 | 8,8±2,6 | 15,3±4,6 | 167±50 |
| | 12 | 2,22±0,67 | 21,9±6,6 | 11,9±3,6 | 22,8±6,8 | 221±66 |
| ПДК, мг/кг | | 32 | 100 | 55 | 100 | 1500 |

Отсутствие превышений ПДК не свидетельствует о том, что почвы находятся в оптимальном агроэкологическом состоянии. В большинстве проб выявлен дефицит необходимых элементов, что указывает на необходимость корректирующих мероприятий для восстановления баланса питательных веществ в почве.

Определено среднее содержание подвижных форм элементов в разных типах почв. Данные представлены в табл. 5.

Таблица 5
 Table 5

Среднее содержание подвижных форм элементов в черноземах обыкновенных
 и черноземах выщелоченных Челябинской области

Average content of labile forms of elements in ordinary and leached chernozems
 of the Chelyabinsk region

| Тип почвы | Содержание, мг/кг | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Чернозем обыкновенный | <u>2,76</u> 12,66 | <u>2,49</u> 34,92 | <u>0,11</u> 14,32 | <u>0,83</u> 19,68 | <u>44,31</u> 483,83 |
| Чернозем выщелоченный | <u>3,04</u> 11,24 | <u>1,86</u> 26,99 | <u>0,12</u> 13,31 | <u>0,94</u> 17,16 | <u>39,19</u> 380,72 |

Примечание: в числителе подвижные формы, в знаменателе – кислоторастворимые

Согласно полученным данным содержание подвижных форм элементов на обоих типах почв приблизительно равно. Это указывает на то, что процессы выщелачивания не оказывают значительного влияния на доступность микроэлементов в этих почвах. Оба типа черноземов имеют схожие свойства в отношении накопления и удержания подвижных форм элементов

С кислоторастворимыми формами наблюдается противоположная ситуация. Наибольшее содержание элементов находится в почвах чернозема обыкновенного. Это может быть связано с большим количеством коллоидов и органического вещества, которые усиливают сорбционные свойства почвы, фиксируя элементы и предотвращая их вымывание.

Растения степной и лесостепной зоны

Содержание тяжелых металлов в почвах напрямую влияет на их аккумуляцию в растительных организмах. Содержание элементов в пробах растений представлено в табл. 6.

Таблица 6
 Table 6

Содержание тяжелых металлов в растениях степной зоны Челябинской области
 Heavy metal content in the plants growing in the steppe zone of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | Вид растений | Содержание, мг/кг | | | | |
|--------------------|-------------|--------------|-------------------|----------|-----------|------------------|-----------------|
| | | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Чесменский район | 1 | Пшеница | 0,0001 | 12,9±2,6 | 1,39±0,28 | 0,0001 | 19,2±5,8 |
| | 2 | Подсолнечник | 0,0001 | 25,7±5,1 | 11,9±2,4 | 0,0001 | 9,7±2,9 |
| | 3 | Подсолнечник | 0,0001 | 29,4±5,9 | 10,9±2,2 | 0,0001 | 9,8±3,0 |
| | 4 | Пшеница | 0,0001 | 16,6±3,3 | 2,99±0,60 | 0,86±0,17 | 47±14 |
| | 5 | Пшеница | 0,0001 | 19,3±3,9 | 0,68±0,14 | 0,001 | 13±3,8 |
| Троицкий район | 1 | Подсолнечник | 0,0001 | 12,2±2,4 | 4,56±0,91 | 6,6±1,3 | 13,9±4,2 |
| | 2 | Пшеница | 0,0001 | 23,4±4,7 | 2,09±0,42 | 2,21±0,44 | 16,7±5,0 |
| | 3 | Пшеница | 0,0001 | 17,0±3,4 | 2,33±0,47 | 2,57±0,51 | 38±11 |
| | 4 | Пшеница | 0,0001 | 20,7±4,1 | 1,39±0,28 | 1,23±0,25 | 18,5±5,5 |
| | 5 | Пшеница | 0,0001 | 10,6±2,1 | 2,25±0,45 | 0,74±0,15 | 23,4±7,0 |
| | 6 | Подсолнечник | 0,0001 | 17,2±3,4 | 9,9±2,0 | 6,6±1,3 | 7,8±2,3 |
| | 7 | Пшеница | 0,0001 | 18,3±3,7 | 4,12±0,82 | 31,5±6,3 | 40±12 |
| | 8 | Пшеница | 0,0001 | 15,0±3,0 | 3,13±0,63 | 23,6±4,7 | 29,9±9,0 |
| | 9 | Пшеница | 0,0001 | 16,6±3,3 | 1,82±0,36 | 13,2±2,6 | 21,0±6,3 |
| | 10 | Подсолнечник | 0,0001 | 16,2±3,2 | 12,7±2,5 | 6,9±1,4 | 8,9±2,7 |
| | 11 | Подсолнечник | 0,0001 | 18,4±3,7 | 10,7±2,1 | 6,5±1,3 | 8,1±2,4 |
| ПДК, мг/кг | | | 0,5 | 150 | 15 | 1 | 300–500 |

Примечание: жирным шрифтом выделено наибольшее содержание и превышения ПДК для свинца, цинка и меди согласно СанПиН 42-123-4089-86 [1986]. ПДК для хрома из МДУ некоторых химических элементов и гессипола в кормах для сельскохозяйственных животных.

Так как содержание марганца не нормируется, нами принята токсичная концентрация – 300–500 мг/кг [Cabata-Pendias, 2010].

Анализируя результаты, можно сделать вывод, что в большинстве образцов, взятых в Троицком районе, уровень содержания элементов выше, чем в пробах Чесменского района. Это может быть связано с более благоприятным микроклиматом, способствующим росту растений в агроценозах за счет более равномерного распределения осадков. Кроме того, в Троицком районе большее количество промышленных предприятий, таких как «Троицкая ГРЭС», «Троицкий электромеханический завод», «Троицкий металлургический завод», «Троицкий тракторный завод», что может говорить о дополнительном антропогенном влиянии на уровень металлов посредством аэрогенных примесей. На территории Чесменского района также находятся промышленные предприятия, например, ООО «Восточный базис» и ООО «Бускуль», но находятся они вдали от населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий.

Нужно учитывать, что почвы представлены тяжелыми и средними суглинками, которые за счет содержания глинистых минералов и органического вещества могут адсорбировать металлы, делая их менее доступными для корневых систем растений.

Содержание элементов в растениях лесостепной зоны Челябинской области представлено в табл. 7.

Таблица 7
Table 7

Содержание тяжелых металлов в растениях, произрастающих на территории лесостепной зоны Челябинской области
Heavy metal content in the plants growing in the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Номер пробы | Вид растений | Содержание, мг/кг | | | | |
|---------------------|-------------|--------------|-------------------|----------|-----------|------------------|-----------------|
| | | | Pb | Zn | Cu | Cr | Mn |
| Пластовский район | 1 | Пшеница | 0,0001 | 22,8±4,6 | 1,93±0,39 | 0,0001 | 10,9±3,3 |
| | 2 | Пшеница | 0,0001 | 20,7±4,1 | 1,66±0,33 | 0,0001 | 8,7±2,6 |
| | 3 | Подсолнух | 0,0001 | 27,3±5,5 | 9,5±1,9 | 0,0001 | 11,8±3,5 |
| | 4 | Пшеница | 0,0001 | 24,5±4,9 | 0,99±0,20 | 0,0001 | 9,5±2,9 |
| | 5 | Подсолнух | 0,0001 | 19,2±4,0 | 6,4±1,3 | 0,0001 | 6,2±1,8 |
| Увельский район | 1 | Пшеница | 0,0001 | 25,2±5,0 | 2,72±0,54 | 2,94±0,59 | 12,7±3,8 |
| | 2 | Пшеница | 0,0001 | 18,5±3,7 | 2,21±0,44 | 1,96±0,39 | 25,4±7,6 |
| | 3 | Пшеница | 0,0001 | 17,2±3,4 | 2,56±0,51 | 6,9±1,4 | 31,0±9,3 |
| | 4 | Пшеница | 0,0001 | 14,8±3,0 | 2,40±0,48 | 3,31±0,66 | 27,2±8,2 |
| | 5 | Гречиха | 0,0001 | 8,1±1,6 | 3,19±0,64 | 0,0001 | 15,3±4,6 |
| | 6 | Пшеница | 0,0001 | 16,9±3,4 | 1,99±0,40 | 13,2±2,6 | 22,0±6,6 |
| | 7 | Подсолнух | 0,0001 | 16,4±3,3 | 8,6±1,7 | 7,9±1,6 | 7,4±2,2 |
| | 8 | Пшеница | 0,0001 | 17,3±3,5 | 3,64±0,73 | 25,9±5,2 | 45±14 |
| | 9 | Подсолнух | 0,0001 | 17,0±3,4 | 11,3±2,3 | 11,2±2,2 | 14,0±4,2 |
| Еманжелинский район | 1 | Пшеница | 0,0001 | 23,9±4,8 | 1,70±0,34 | 0,74±0,15 | 49±15 |
| | 2 | Пшеница | 0,0001 | 19,6±3,9 | 1,07±0,21 | 0,0001 | 15,5±4,6 |
| | 3 | Пшеница | 2,27±0,57 | 20,4±4,1 | 1,58±0,32 | 0,0001 | 12,9±3,9 |
| | 4 | Гречиха | 1,11±0,28 | 14,7±2,9 | 4,44±0,89 | 0,0001 | 23,8±7,1 |
| | 5 | Пшеница | 0,0001 | 13,8±2,8 | 1,07±0,21 | 0,0001 | 12,0±3,6 |
| | 6 | Подсолнух | 0,0001 | 15,4±3,1 | 8,7±1,7 | 9,3±1,9 | 10,7±3,2 |

Окончание таблицы
End of the table

| | | | | | | | |
|------------------|----|-----------|--------|----------|-----------|-----------------|-----------------|
| Еткульский район | 1 | Гречиха | 0,0001 | 12,2±2,4 | 3,74±0,75 | 0,0001 | 33±10 |
| | 2 | Подсолнух | 0,0001 | 14,9±3,0 | 4,52±0,90 | 0,0001 | 40±12 |
| | 3 | Пшеница | 0,0001 | 14,6±2,9 | 2,05±0,41 | 0,0001 | 23,8±7,1 |
| | 4 | Пшеница | 0,0001 | 21,5±4,3 | 1,35±0,27 | 0,0001 | 10,5±3,1 |
| | 5 | Подсолнух | 0,0001 | 20,2±4,0 | 5,8±1,2 | 0,0001 | 5,8±1,7 |
| | 6 | Пшеница | 0,0001 | 20,5±4,1 | 4,09±0,82 | 27,4±5,5 | 38±11 |
| | 7 | Пшеница | 0,0001 | 17,7±3,5 | 3,01±0,60 | 17,2±3,4 | 30,5±9,1 |
| | 8 | Подсолнух | 0,0001 | 19,5±3,9 | 7,6±1,5 | 12,9±2,6 | 10,5±3,2 |
| | 9 | Пшеница | 0,0001 | 17,8±3,6 | 4,72±0,94 | 29,6±5,9 | 66±20 |
| | 10 | Пшеница | 0,0001 | 0,0001 | 2,78±0,56 | 19,7±3,9 | 60±18 |
| | 11 | Подсолнух | 0,0001 | 21,1±4,3 | 8,9±1,8 | 9,6±1,9 | 10,2±3,0 |
| | 12 | Подсолнух | 0,0001 | 18,7±3,7 | 10,0±2,0 | 13,2±2,6 | 17,6±5,3 |
| ПДК, мг/кг | | | 0,5 | 50 | 10 | 0,5 | 300–500 |

Примечание: жирным шрифтом выделено наибольшее содержание и превышения ПДК для свинца, цинка и меди согласно СанПиН 42-123-4089-86 [1986]. ПДК для хрома из МДУ некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных.

В исследуемых пробах растений свинец практически отсутствует, однако, в пробах Еманжелинского района, в которых он был выявлен наблюдается превышение ПДК в 4,5 и 2 раза, для проб 3 и 4 соответственно.

Содержание хрома превышает значение ПДК практически в каждой пробе, в которой его удалось определить, что составляет 54 % от общего числа. Превышение ПДК в образцах Троицкого, Увельского, Еманжелинского и Еткульского районов колеблется от 2 до 20 раз. По полученным данным можно заметить, что сельскохозяйственные растения, выращиваемые в Увельском, Еткульском и Троицком районах больше подвержены загрязнению хромом. В результате выявления высоких концентраций в исследуемых образцах можно предположить, что растения данных районов обладают свойствами биоаккумуляторов. Это означает, что они способны накапливать данный элемент в своих тканях в концентрациях, превышающих его содержание в окружающей среде. Такие растения могут использоваться в фиторемедиации для очистки загрязненных почв, однако их употребление в пищу или использование в сельском хозяйстве требует особого внимания из-за риска накопления токсичных металлов в пищевой цепи.

В пробах наблюдается превышение ПДК марганца в среднем в 1,2–1,6 раз. В растениях через корни проникают ионы марганца из следующих растворимых форм: $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $MnSO_4 \cdot (NH_4)_2 \cdot 6H_2O$, $MnCl_2$. Около 35 ферментов активируются марганцем, в большинстве они являются катализаторами реакций окисления–восстановления, декарбоксилирования, гидролиза [Прохоров, Матвеев, 1996].

Для анализа данных приведены средние значения содержания элементов в пробах почв и растений. Данные представлены в табл. 8.

Анализ данных показывает, что основными индикаторами антропогенного воздействия являются свинец и хром, биодоступность которых в растительных организмах служит маркером загрязнения окружающей среды. Наибольшее негативное влияние было зафиксировано в Еманжелинском районе, где концентрация свинца в биомассе гречихи достигает максимальных значений, а хром активно аккумулируется в подсолнечнике даже при сравнительно низких уровнях его содержания в почве.

Таблица 8
Table 8

Среднее содержание кислоторастворимых форм металлов в почвах
и среднее содержание элементов в растениях Челябинской области
Average content of acid-soluble forms of metals in soils and average content
of elements in the plants of the Chelyabinsk region

| Район исследования | Элемент | Содержание в почве, мг/кг | Содержание в растении, мг/кг | | |
|---------------------|---------|---------------------------|------------------------------|--------------|---------|
| | | | Пшеница | Подсолнечник | Гречиха |
| Чесменский район | Pb | 13,9 | 0,0001 | 0,0002 | — |
| | Zn | 36,9 | 16,3 | 27,5 | — |
| | Cu | 13,9 | 1,7 | 11,4 | — |
| | Cr | 14,18 | 0,3 | 0,001 | — |
| | Mn | 693,8 | 26,4 | 9,7 | — |
| Троицкий район | Pb | 12,1 | 0,0001 | 0,001 | — |
| | Zn | 31,4 | 17,4 | 16 | — |
| | Cu | 14,9 | 2,4 | 9,5 | — |
| | Cr | 21,8 | 10,7 | 6,6 | — |
| | Mn | 347,8 | 26,8 | 9,7 | — |
| Пластовский район | Pb | 14,3 | 0,001 | 0,0001 | — |
| | Zn | 32,2 | 21,8 | 23,25 | — |
| | Cu | 14,3 | 1,41 | 7,9 | — |
| | Cr | 13,8 | 0,001 | 0,0001 | — |
| | Mn | 518,2 | 8,83 | 9 | — |
| Увельский район | Pb | 11,3 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| | Zn | 21,4 | 18,3 | 16,7 | 8,1 |
| | Cu | 11,4 | 2,6 | 9,5 | 3,2 |
| | Cr | 17,6 | 9,1 | 9,5 | 0,0001 |
| | Mn | 414,9 | 27,2 | 10,77 | 15,3 |
| Еманжелинский район | Pb | 12,8 | 0,45 | 0,0001 | 1,1 |
| | Zn | 31,2 | 18,6 | 15,4 | 14,7 |
| | Cu | 13,3 | 1,3 | 8,7 | 4,4 |
| | Cr | 13,4 | 0,2 | 9,3 | 0,0001 |
| | Mn | 377,3 | 20 | 10,7 | 23,8 |
| Еткульский район | Pb | 8,6 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| | Zn | 26,7 | 15,3 | 19,8 | 13,5 |
| | Cu | 13,6 | 3 | 8,1 | 4,1 |
| | Cr | 19,5 | 15,6 | 8,9 | 0,0001 |
| | Mn | 302,6 | 38,1 | 11 | 36,5 |

Еткульский район характеризуется наиболее высокой концентрацией хрома в зерне пшеницы, что при умеренных показателях его содержания в почвенном слое указывает на техногенное происхождение данного загрязнения. В Троицком районе наблюдается наиболее высокий уровень содержания хрома в почвенном горизонте, однако его аккумуляция в растениях выражена в наименьшей степени.

Чесменский район требует дополнительного исследования в связи с повышенным содержанием марганца в почвенном субстрате, который может иметь как естественное, так и техногенное происхождение. Наименьшая степень антропогенной нагрузки была выявлена в Увельском и Пластовском районах, где уровни содержания анализируемых элементов находятся в пределах нормы.

Определены средние содержания элементов в растениях на различных типах почв (рис. 2).

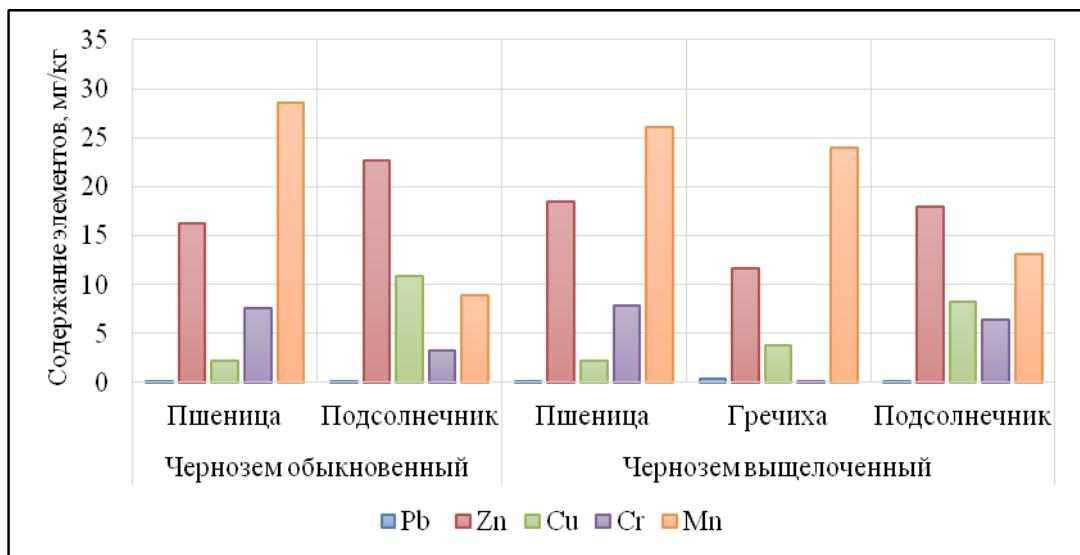


Рис. 2. Среднее содержание элементов в пробах растений, выращенных на черноземах обычновенных и выщелоченных Челябинской области

Fig. 2. Average content of elements in samples of the plants grown on ordinary and leached chernozems of the Chelyabinsk region

В результате исследования установлено, что в растениях, произрастающих на черноземах обычновенных, уровень содержания меди, марганца и цинка выше, чем на черноземах выщелоченных. Это может быть обусловлено высоким уровнем органических веществ в черноземах обычновенных, которые способствуют удержанию и биодоступности этих элементов. Также отмечается тенденция накопления элементов пшеницей на обоих типах почв, ее можно отобразить в виде цепочки: марганец > цинк > хром > медь. Для подсолнечника цепочка выглядит следующим образом: цинк > медь/марганец > хром. Исходя из полученных данных на элементный состав влияет не только тип почвы, но и физиологические особенности (биохимические механизмы) определенного вида сельскохозяйственной культуры. Растения проявляют селективность в усвоении элементов, предпочитая одни элементы другим в зависимости от их биологических потребностей.

Рассчитан коэффициент накопления подвижных форм элементов растениями, выращенными на разных типах почв (табл. 9).

Таблица 9
Table 9

Коэффициент накопления элементов растениями, выращенными на черноземах обычновенных и выщелоченных Челябинской области

The coefficient of accumulation of elements by the plants grown on ordinary and leached chernozems of the Chelyabinsk region

| Тип почвы | Растение | КН | | | | |
|-----------------------|--------------|------|-----|-----|-----|-------|
| | | Zn | Cr | Mn | Pb | Cu |
| Чернозем обычновенный | Пшеница | 26,5 | 8,1 | 0,7 | 0,3 | 16,5 |
| | Подсолнечник | 33,7 | 2,9 | 0,3 | 0,3 | 49,7 |
| Чернозем выщелоченный | Пшеница | 27,2 | 6,2 | 0,8 | 0,4 | 15,9 |
| | Подсолнечник | 16,1 | 4,5 | 0,4 | 0,6 | 193,1 |
| | Гречиха | 24,0 | 0,3 | 0,7 | 0,1 | 17,5 |

По полученным данным видны особенности накопления у разных видов растений. Наибольший уровень накопления марганца и хрома содержится в пробах пшеницы, а меди в пробах подсолнечника. По сравнению с другими видами уровень накопления меди и хрома в растениях гречихи значительно ниже, но уровень накопления марганца является максимумом – 0,7 на черноземах выщелоченных.

Коэффициент накопления цинка варьирует в диапазоне от 16,1 до 33,7. Наибольшее значение (33,7) зафиксировано в пробах подсолнечника, произрастающего на черноземах обыкновенных. Среди растений, выращиваемых на черноземах выщелоченных, максимальный коэффициент накопления цинка наблюдается у пшеницы. Это свидетельствует о том, что подсолнечник и пшеница обладают наиболее выраженной способностью к аккумуляции цинка в зависимости от типа почвы.

Также рассчитан коэффициент биологического накопления для растений, произрастающих на разных типах почвы (рис. 3).

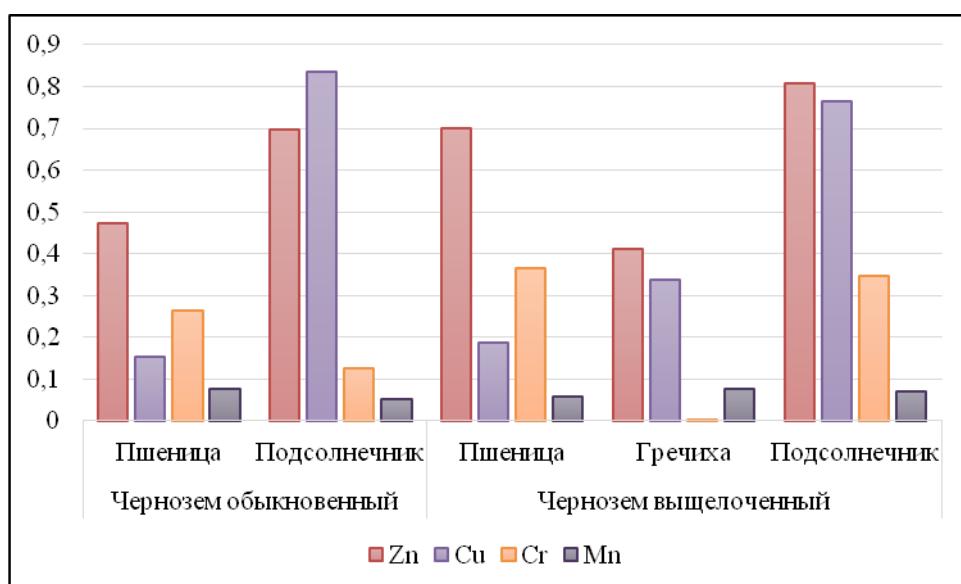


Рис. 3. Коэффициент биологического накопления элементов растениями, выращенными на черноземах обычновенных и выщелоченных Челябинской области
Fig. 3. The coefficient of bioabsorption of elements by the plants grown on ordinary and leached chernozems of the Chelyabinsk region

В соответствии с полученными данными установлено, что на обоих типах почв коэффициент биологического накопления хрома наиболее высок в растениях пшеницы, тогда как цинка и меди – в подсолнечнике. Также отмечаются низкие значения накопления марганца для пшеницы и подсолнечника. У гречихи зафиксированы средние значения по цинку и меди, а также низкие коэффициенты для хрома и марганца.

Эти данные подтверждают селективность растений в процессе накопления элементов, что обусловлено их физиологическими особенностями и адаптацией к условиям среды.

Заключение

Проведенное исследование почв степной и лесостепной зон Челябинской области по определению содержания тяжелых металлов выявило комплексную геоэкологическую ситуацию, характеризующуюся как умеренной антропогенной нагрузкой, так и локальными рисками загрязнения поллютантами.

Превышение ПДК подвижных форм (наиболее доступных для растений) в большинстве проб не зафиксировано, что указывает на отсутствие критической угрозы

для агроценозов. Однако в Пластовском районе обнаружены превышения ПДК подвижного свинца (в среднем до 7,01 мг/кг), обладающего высокой миграционной способностью, что требует контроля за его распространением в грунтовые воды и растительные объекты. Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (маркер техногенного влияния) в целом соответствует норме. В большинстве проб выявлен дефицит подвижных форм цинка, меди и марганца, что свидетельствует о нарушении баланса питательных веществ. Это требует внедрения корректирующих агрохимических мероприятий (например, внесение микроудобрений) для восстановления плодородия почв с позиции обеспеченности микроэлементами.

Подвижность тяжелых металлов в исследуемых почвах ограничена их физико-химическими свойствами, а именно высоким содержанием глинистых минералов, связывающих металлы. Это снижает биодоступность элементов, но усиливает их аккумуляцию в почвенных горизонтах. Цинк и медь имеют сильную связь с органическим веществом, образуя устойчивые комплексы с гуминовыми кислотами, что ограничивает их миграцию.

Значительные превышения ПДК хрома (до 10 раз) зафиксированы в растительных пробах Увельского, Еткульского и Троицкого районов. Растения-биоаккумуляторы хрома представляют потенциал для фиторемедиации, но их использование в сельском хозяйстве требует осторожности из-за риска попадания токсикантов в пищевую цепь. Локальное накопление свинца и марганца в растениях (превышение ПДК в среднем до 4,5 раз) связано как с естественными геохимическими особенностями, так и с аэрогенным переносом загрязнителей от промышленных объектов.

Рекомендации: необходим регулярный мониторинг почв и растительности, особенно в районах с высокой антропогенной нагрузкой (Троицкий, Пластовский), для предотвращения формирования геохимических аномалий. Для районов с дефицитом микроэлементов рекомендована разработка программ по оптимизации агрохимического состояния почв.

Список источников

- ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Электронный ресурс. URL: https://rosdsts.ru/file/gost/13/080/gost_17.4.3.01-83.pdf (дата обращения 27.11.2025).
- ГОСТ Р 58588-2019. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа. Электронный ресурс. URL: https://rosdsts.ru/file/gost/65/020/gost_r_58588-2019.pdf (дата обращения 27.11.2025).
- Национальный атлас почв Российской Федерации. 2011. М., Астрель: АСТ, 632 с.
- ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Электронный ресурс. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/19e/4293777593.pdf> (дата обращения 27.11.2025).
- Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Челябинской области» (предварительные итоги за 2024 год). 2025. ТERRITORIALНЫЙ ОРГАН Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области. Электронный ресурс. URL: <https://74.rosstat.gov.ru/adriculture> (дата обращения: 13.01.2025).
- СанПиН 42-123-4089-86. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Электронный ресурс. URL: <https://52.rospotrebnadzor.ru/content/перечень-нормативных-правовых-актов-содержащих-обязательные-требования-оценка-соблюдения> (дата обращения: 16.06.2025).
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Электронный ресурс. URL: <https://55.rospotrebnadzor.ru/Files/СанПин%203685.pdf> (дата обращения: 16.06.2025).

Список литературы

- Байкалова Т.В., Байкалов П.С., Коротченко И.С. 2017. Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярска. Вестник КрасГАУ, 5(128): 123–130.
- Васин Д.В. 2021. Современные подходы к нормированию содержания тяжёлых металлов в почве. Архивариус, 7(3(57)): 8–10.
- Водяницкий Ю.Н. 2009. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М., Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 182 с.
- Ермохин Ю.И., Синдирева А.В., Трубин Н.К. 2002. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное. Омск, ОмГАУ, 117 с.
- Зыбалов В.С., Попкова М.А. 2018. Влияние тяжелых металлов на агрохимические показатели почв Южного Урала. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия, 10(2): 33–40. <https://doi.org/10.14529/chem180204>.
- Иванищев В.В. 2022. Цинк в природе и его значение для растений. Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2: 35–49. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49>
- Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. 2016. Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза. Самарский научный вестник, 1(14): 34–37.
- Калашников Ю.А. 2014. Адаптация промышленности региона к тенденциям развития мирового хозяйства (на примере Челябинской области). Вестник Челябинского государственного университета, 5(334): 115–120.
- Лукин С.В. 2011. Мониторинг содержания хрома в сельскохозяйственных культурах и почвах. Достижения науки и техники АПК, 6: 54–55.
- Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Чаплыгин В.А., Бакоев С.Ю., Антоненко Е.М., Белогорская С.С. 2011. Накопление тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях загрязнения. Научный журнал Российской НИИ Проблем Мелиорации, 4(4): 1–17.
- Морозова Т.С., Лицуков С.Д. 2019. Оценка накопления кадмия озимой пшеницей. Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2(22): 173–181.
- Наумов И.В., Красных С.С. 2019. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации. Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 8: 108–124. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-8-108-124>.
- Пахомов В.П., Душин А.В. 2008. Оценка минерально-сырьевой безопасности Уральского Федерального округа. Экономика региона, 3(15): 129–143.
- Побилат А.Е., Волошин Е.И. 2017. Особенности содержания свинца в почвах и растениях средней Сибири. Микроэлементы в медицине, 18(4): 36–40. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40>
- Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. 1996. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза. Вестник Самарского государственного университета, 5: 125–147.
- Рогачева С.М., Каменец А.Ф., Шилова Н.А. 2016. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 18(5(3)): 484–488.
- Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. 2015. Содержание тяжёлых металлов в почве г.Челябинска. Медицина труда и экология человека, 3: 177–184.
- Яхияев М.А., Рамазанов А.Ш., Аджиева А.И. 2011. Валовые и подвижные формы цинка в почвах южной экспозиции предгорного Дагестана. Вестник Дагестанского государственного университета, 6: 162–165.
- Cabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plant. 4th. Boca Raton. FL, CRC Press, 548 p.
- Kim R.Y., Yoon J.K., Kim T.S., Yang J.E., Owens G., Kim K.R. 2015. Bioavailability of Heavy Metals in Soils: Definitions and Practical Implementation – a Critical Review. Environmental geochemistry and health, 37: 1041–1061. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9695-y>
- Leduc A., Prairie Y., Bergeron Y. 1994. Fractal Dimension Estimates of a Fragmented Landscape: Source of Variability. Landscape Ecological, 9: 279–286. <https://doi.org/10.1007/BF00129239>.
- Mao C., Song Y., Chen L., Ji J., Li J., Yuan X., Yang Zh., Ayoko G., Frost R., Theiss F. 2019. Human Health Risks of Heavy Metals in Paddy Rice Based on Transfer Characteristics of Heavy Metals from Soil to Rice. Catena, 175: 339–348. . <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.12.029>

- Moynier F., Vance D., Fujii T., Savage P. 2017. The Isotope Geochemistry of Zinc and Copper. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 82(1): 543–600. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.82.13>
- Nishito Y., Kambe T. 2018. Absorption Mechanisms of Iron, Copper, and Zinc: an Overview. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 64(1): 1–7. <https://doi.org/10.3177/jnsv.64.1>

References

- Baikalova T.V., Baikalov P.S., Korotchenko I.S. 2017. The Content of Heavy Metals in the Soil Cover, Birch Leaves Under the Influence of the Industry of Krasnoyarsk. *Bulletin of KrasGAU*, 5(128): 123–130 (in Russian).
- Vasin D.V. 2021. Sovremennye podhody k normirovaniyu soderzhaniya tyazhyolykh metallov v pochve [Modern Approaches to Rationing the Content of Heavy Metals in the Soil]. *Arhivarius*, 7(3(57)): 8–10.
- Vodyanickiy Yu.N. 2009. Tyazhelye i sverhtyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennyh pochvah [Heavy and Superheavy Metals and Metalloids in Polluted Soils]. Moscow, Pabl. Pochvennyy institut imeni V.V. Dokuchayeva, 182 p.
- Ermokhin Yu.I., Sindireva A.V., Trubin N.K. 2002. Agroekologicheskaya ocenka dejstviya kadmiya, nikelya, cinka v sisteme pochva-rastenie-zhivotnoe [Agroecological Assessment of the Effects of Cadmium, Nickel, Zinc in the Soil-Plant-Animal System]. Omsk, Pabl. OmGAU, 117 p.
- Zybalov V.S., Popkova M.A. 2018. Influence of Heavy Metals on Agrochemical Indicators of the South Ural Soils. *Bulletin of the South Ural State University. Series Chemistry*, 10(2): 33–40 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/chem1802042>.
- Ivanishchev V.V. 2022. Zinc in Nature and Its Significance for Plants. *Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*, 2: 35–49 (in Russian). <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49>
- Kazantsev I.V., Matveeva T.B. 2016. Contents of Heavy Metals in the Soil Cover in the Conditions of Technogenesis. *Samara Journal of Science*, 1(14): 34–37 (in Russian).
- Kalashnikova Yu.A. 2014. Region Industry Adaptation to the Development Trends of the World Economy (Chelyabinsk Region). *Bulletin of Chelyabinsk State University*, 5(334): 115–120 (in Russian).
- Lukin S.V. 2011. Monitoring of the Chromium Content in Crops and Lands. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 6: 54–55 (in Russian).
- Minkina T.M., Burachevskaya M.V., Chaplygin V.A., Bakoev S.U., Antonenko E.M., Belogorskaia S.S. 2011. Heavy Metals Accumulation in Soil – Plant System in Polluted Environment. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, 4(4): 1–17 (in Russian).
- Morozova T.S., Litsukov S.D. 2019. Assessment Cadmium Accumulation of the Winter Wheat. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*, 2(22): 173–181 (in Russian).
- Naumov I.V., Krasnykh S.S. 2019. The Research of Interregional Relationships in the Development of the Mineral Resource Complex of the Russian Federation. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 8: 108–124 (in Russian). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-8-108-124>.
- Pahomov V.P., Dushin A.V. 2008. Ocenna mineral'no-syr'evoy bezopasnosti Ural'skogo Fede-ral'nogo okruga [Assessment of the Mineral Resource Safety of the Ural Federal District]. *Ekonomika regiona*, 3(15): 129–143.
- Pobilat A.E., Voloshin E.I. 2017. Peculiarities of Lead Content in Soils and Plants of Central Siberia. *Trace Elements in Medicine*, 18(4): 36–40 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40>
- Prokhorova N.V., Matveev N.M. 1996. Heavy Metals in Soils and Plants During Technogenic Conditions. *Vestnik of Samara State University*, 3: 125–147 (in Russian).
- Rogacheva S.M., Kamenetz A.F., Shilova N.A. 2016. The Effect of Soluble Manganese Compounds at Higher Plants and Assessment of Plants's Phytoextraction Ability. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 18(5(3)): 484–488 (in Russian).
- Semenov A.I., Koksharov A.V., Pogodin Yu.I. 2015. The Content of Heavy Metals in Chelyabinsk Soils. *Occupational medicine and human ecology*, 3: 177–184 (in Russian).
- Yakhiyaev M.A., Ramazanov A.Sh., Adzhieva A.I. 2011. Valovye i podvizhnye formy cinka v pochvah yuzhnoj ekspozicii predgornogo Dagestana [Gross and Labile Forms of Zinc in the Soils of the Southern Exposure of Foothill Dagestan]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universitet*, 6: 162–165.
- Cabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plant. 4th. Bosa Raton. FL, Crs Press, 548 p.



- Kim R.Y., Yoon J.K., Kim T.S., Yang J.E., Owens G., Kim K.R. 2015. Bioavailability of Heavy Metals in Soils: Definitions and Practical Implementation – a Critical Review. *Environmental geochemistry and health*, 37: 1041–1061. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9695-y>
- Leduc A., Prairie Y., Bergeron Y. 1994. Fractal Dimension Estimates of a Fragmented Landscape: Source of Variability. *Landscape Ecological*, 9: 279–286. <https://doi.org/10.1007/BF00129239>.
- Mao C., Song Y., Chen L., Ji J., Li J., Yuan X., Yang Zh., Ayoko G., Frost R., Theiss F. 2019. Human Health Risks of Heavy Metals in Paddy Rice Based on Transfer Characteristics of Heavy Metals from Soil to Rice. *Catena*, 175: 339–348. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.12.029>
- Moynier F., Vance D., Fujii T., Savage P. 2017. The Isotope Geochemistry of Zinc and Copper. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 82(1): 543–600. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.82.13>
- Nishito Y., Kambe T. 2018. Absorption Mechanisms of Iron, Copper, and Zinc: an Overview. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 64(1): 1–7. <https://doi.org/10.3177/jnsv.64.1>

Поступила в редакцию 28.03.2025;
поступила после рецензирования 09.05.2025;
принята к публикации 19.06.2025

Received March 28, 2025;
Revised May 09, 2025;
Accepted June 19, 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

Белов Максим Александрович, аспирант кафедры геоэкологии и природопользования, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Беккер Мария Романовна, магистр кафедры органической и экологической химии, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Синдирева Анна Владимировна, доктор биологических наук, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Шигабаева Гульнара Нургаллаевна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой органической и экологической химии, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maxim A. Belov, Postgraduate student of the Department of Geoecology and Nature Management, Tyumen State University, Tyumen, Russia

Maria R. Becker, Master's student of the Department of Organic and Environmental Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russia

Anna V. Sindireva, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Geoecology and Nature Management, Tyumen State University, Tyumen, Russia

Gulnara N. Shigabayeva, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Organic and Environmental Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russia

УДК 556.16

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2

EDN HBZWZB

Оценка многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища

Механошина Е.В., Микова К.Д.

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

katya_mehanoshina@mail.ru, mikovak@yandex.ru

Аннотация. Выполнено исследование многолетнего изменения сезонного стока для 28-ми действующих гидрологических постов, расположенных на реках водосбора Воткинского водохранилища. Для оценки влияния климатических изменений на речной сток были использованы разностно-интегральные кривые средней температуры воздуха, суммы атмосферных осадков и речного стока по характерным для территории сезонам. Момент начала выраженных изменений и цикла роста среднесезонной температуры воздуха приходится в среднем на период 1986–1988 г. Анализ сезонных значений атмосферных осадков показал, что ряды подвержены сильным колебаниям циклов снижения и роста, что практически невозможно выявить момент начала выраженных изменений не только для всего водосбора, но и по однородным районам гидрологического районирования территории. Смена циклов водности в рядах стока в весенний период приходится на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г. Сопоставление выявленных процентных соотношений сезонного стока до и после начала выраженных изменений дало возможность установить уменьшение стока в весенний сезон в среднем на 6,6 % и значительное увеличение летне-осеннего (на 18 %) и зимнего (на 24 %) стока.

Ключевые слова: сезонный сток, многолетние изменения, среднесезонная температура воздуха, атмосферные осадки, климатические изменения

Для цитирования: Механошина Е.В., Микова К.Д. 2025. Оценка многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища. Региональные геосистемы, 49(4): 669–683.
DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2 EDN: HBZWZB

Assessing the Long-Term Changes in the Seasonal Runoff of Rivers in the Votkinsk Reservoir Catchment Area

Ekaterina V. Mekhanoshina, Ksenia D. Mikova

Perm State National Research University

15 Bukirev St., Perm, 614068, Russia

katya_mehanoshina@mail.ru, mikovak@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of a study into the long-term changes in seasonal runoff for 28 operating hydrological stations located on the rivers of the Votkinsk Reservoir catchment area. The impact of climate change on river runoff was assessed using difference-integral curves of average air temperature, total precipitation, and aggregate river runoff for typical seasons of the study area. The beginning of pronounced changes and the start of the growth cycle of the average seasonal air temperature falls on the period 1986–1988. An analysis of seasonal values of atmospheric precipitation revealed cycles of decrease and increase in the series, making it impossible to identify the moment of the onset of pronounced changes not only for the entire catchment area, but also for homogeneous areas. The spring water level change in the runoff series took place 1988–1989, while 1977 saw the summer and autumn, as well as the winter changes.

© Механошина Е.В., Микова К.Д., 2025

Comparison of the percentage ratios of seasonal flow before and after the identified changes has made it possible to establish a decrease in the spring flow by an average of 6.6 % and a significant increase in the summer and autumn flow (by 18 %) and in the winter runoff (by 24 %).

Keywords: seasonal runoff, long-term changes, average seasonal air temperature, precipitation, climate change

For citation: Mekhanoshina E.V., Mikova K.D. 2025. Assessing the Long-Term Changes in the Seasonal Runoff of Rivers in the Votkinsk Reservoir Catchment Area. Regional Geosystems, 49(4): 669–683 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2 EDN: HBZWZB

Введение

Вопросы многолетнего изменения сезонного стока, вызванного изменением климатических условий, являются одними из самых актуальных в настоящее время. Существенное изменение стока рек по сезонам может привести к дефициту водных ресурсов, либо к возникновению опасных гидрологических явлений, связанных с увеличением стока и формированием высоких половодий и паводков. Сезонное изменение речного стока обусловлено изменением климатических условий при практически неизменных физико-географических условиях водосборов.

Первые исследования, посвященные изучению многолетних изменений речного стока в Европейской России, относятся к концу XIX века, в своих работах Е.А. Гейнц [1898] впервые исследовал водность рек. Впоследствии, в начале XX века Е.В. Оппоков на основе работ Е.А. Гейнца, пришел к выявлению взаимосвязи колебаний речного стока с климатическими особенностями и их циклическим характером [Оппоков, 1906; 1911; 1933].

На текущий момент выполнено значительное количество исследований, посвященных оценке многолетних изменений речного стока крупных рек России, таких как рр. Лена, Волга, Урал, Вилий, Дом и др., а также оценке климатических и антропогенных факторов, оказывающих различное влияние на колебания стока [Дмитриева, 2011; Добровольский, 2011; Геогриади и др., 2013; Геогриади, Каштутина, 2015; 2016; 2019; Магрицкий, 2015; Джамалов и др., 2017; Магрицкий, Кенжебаева, 2017; Юмина, Терешина. 2017; Фролова и др., 2018; Геогриади и др., 2019; Исмайлов, Мурашенкова, 2019; Сивохин, Павлейчик, 2024].

Исследование многолетних колебаний стока рек водосбора Воткинского водохранилища посвящено немного публикаций. Так, в работе В.Г. Калинина и др. [2020] анализируется влияние климатических изменений на распределение речного стока на некоторых реках водосбора Воткинского водохранилища для двух различных периодов наблюдений 1956–1995 и 1996–2017 гг. Другое исследование В.Г. Калинина и др. [2023], посвящено исследованию многолетней изменчивости годового стока семи рек Верхней и Средней Камы, где выявлено, что с 1978 г. наблюдается увеличение годового стока рек.

Поэтому целью настоящего исследования является изучение многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища.

Объекты и методы исследования

Территория водосбора Воткинского водохранилища расположена в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины. В климатических изменениях на Русской равнине в правобережной части территории преобладает широтная зональность, а на территории левобережной части – вертикальная поясность [Ресурсы поверхностных вод, 1973].

На реках водосбора отмечается ярко выраженное весеннее половодье, летне-осенняя межень с дождевыми паводками и длительная устойчивая зимняя межень. Объем

стока в разные фазы водного режима сильно подвержен колебаниям, что связано с неравномерным распределением атмосферных осадков по территории [Калинин, 2014].

Ранее авторами для исследуемой территории проведен анализ пространственных закономерностей внутригодового распределения стока и выполнено уточнение границ существующих схем гидрологического районирования. Объединение гидрографов в группы по соответствуанию сроков начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков, а также значений доли их месячного стока в годовом, что явилось критерием районирования территории водосбора по однородности внутригодового распределения стока. В результате получена новая схема гидрологического районирования изучаемой территории, учитывающая однородность внутригодового распределения стока в современных условиях (рис. 1) [Калинин, Механошина, 2024].

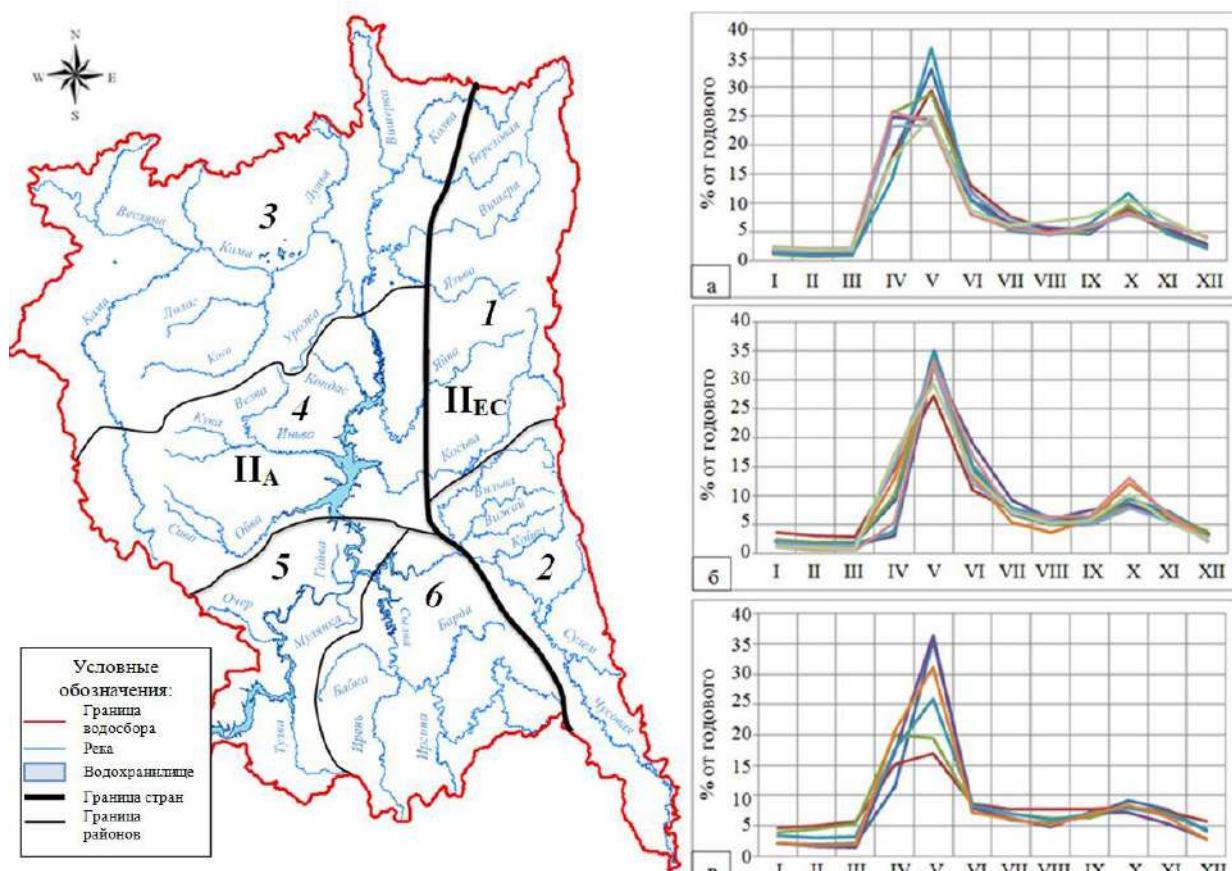


Рис. 1. Схема гидрологического районирования на основе ВГРС:

а – ВГРС северного равнинного района; б – ВГРС центрального равнинного района;
в – ВГРС юго-западного района [Калинин, Механошина, 2024]

Fig. 1. Scheme of hydrological zoning based on intra-annual distribution of river flow:

а –intra-annual distribution of flow in the northern lowland region; б –intra-annual distribution of flow in the central lowland region; в –intra-annual distribution of flow in the southwestern region

Для оценки многолетних колебаний сезонного стока собрана база данных среднемесячных расходов воды по 28 гидрологическим постам (г/п) за период с момента начала наблюдений и по 2022 гг., которые расположены в разных однородных таксономических единицах гидрологического районирования территории. Анализ исходных материалов (табл. 1) выявил значительные различия в периодах наблюдений, так на 8 из 28 г/п имеются многолетние ряды расходов с 30-х гг. XX в. до 2022 года.



Таблица 1
Table 1

Количество гидрологических постов с разным периодом наблюдений
Number of hydrological stations with different observation periods

| Количество лет наблюдений | 40–50 | 51–60 | 61–70 | 71–80 | > 80 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Количество гидрологических постов | 5 | 3 | 6 | 6 | 8 |

Наиболее продолжительные периоды наблюдений выявлены для таких гидрологических постов как: Кама-Гайны (1931–2022 гг.), Вишера-Рябинино (1929–2022 гг.), Вельва-Ошиб (1935–2022 гг.), Иньва-Кудымкар (1936–2022 гг.), Усьва-Усьва (1932–2021 гг.), Сылва-Подкаменное (1936–2021 гг.). Также в рядах наблюдений отдельных постов выявлены пропуски в гидрологических рядах, поэтому для этих постов, были выбраны реки-аналоги и с помощью уравнения линейной регрессии между расчетной рекой и рекой-аналогом было выполнено восстановление данных согласно своду правил [СП 529.1325800.2023].

Характерные черты географического расположения водосбора, являются определяющими в распределении основных климатических характеристик территории, которые в свою очередь вносят изменения в границы сезонов речного стока. Согласно исследованиям ученых Пермского университета для водосбора Воткинского водохранилища они приняты следующими: весна IV–VI, лето-осень VII–X, зима XI–III [Ресурсы поверхностных вод, 1973; Калинин, 2014]. Сток по сезонам рассчитывался как среднеарифметическое значение по выделенным месяцам.

Дополнительно для оценки многолетней динамики изменения сезонного стока выполнен совместный анализ рядов среднемесячных значений температуры воздуха и месячных сумм осадков по 15 ближайшим к г/п метеорологическим станциям (м/с) расположенным в пределах исследуемой территории. Наиболее продолжительные периоды наблюдений имелись для таких м/с как: Гайны (1936–2022 гг.), Чердынь (1899–2022 гг.), Кудымкар (1948–2022 гг.), Ножовка (1948–2022 гг.), Пермь (1883–2022 гг.), Бисер (1889–2022 гг.), Лысьва (1937–2022 гг.).

Для оценки значимости трендов изменения сезонного стока, осадков и температуры воздуха выполнена проверка нулевой гипотезы о его отсутствии. Если уровень значимости $p < 0,05$, то нулевая гипотеза отвергается, которая означает, что существует статистически значимый тренд. В случае, если $p > 0,05$, нулевая гипотеза принимается, что указывает на отсутствие статистически значимого тренда [Калинин и др., 2023].

После восстановления данных, по всем выбранным г/п и м/с с момента начала наблюдений по 2022 гг. выполнен анализ многолетней изменчивости метеорологических характеристик и сезонного стока с помощью построения разностно-интегральных кривых (РИК). РИК отражает накапливающуюся разницу между текущими значениями исследуемой характеристики и их нормой. В большинстве случаев, для упрощения анализа временных колебаний характеристик различных по своей природе, эти отклонения приводятся к безразмерному виду посредством деления на коэффициент вариации.

Результаты и их обсуждение

Анализ трендов стока, температуры воздуха и осадков.

Вся база климатических и гидрологических данных была протестирована на случайность и однородность, в соответствие нормальному закону распределения. Для значительной части г/п и м/с особенно в зимний сезон эта гипотеза была опровергнута, что свидетельствует о наличии значимых изменений, произошедших в сезонных рядах наблюдений.

На втором этапе все гидрологические и метеорологические ряды прошли оценку на значимость трендов (табл. 2, 3), а также были построены хронологические графики изменения рассматриваемых характеристик и сглаженные по 7-леткам кривые стока (рис. 2).

Анализ табл. 2 и графиков многолетнего изменения стока рек на исследуемой территории показал, что по сезонам наблюдаются разнонаправленные тенденции (рис. 2). В весенний и летний сезоны на большинстве постов наблюдаются положительные тенденции в изменении стока рек. В весенний сезон только в пятом и шестом гидрологических районах наблюдаются статистически значимые отрицательные тенденции стока (табл. 2). В летний сезон отрицательные (незначимые за исключением одного поста) тенденции стока наблюдаются в основном в бассейне р. Чусовой (второй гидрологический район).

Таблица 2
Table 2

Оценка значимости трендов сезонного стока
Assessing the significance of seasonal runoff trends

| № района | Река-пост | Весна | Лето-осень | Зима |
|----------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | Вишера – Рябинино | 0,31 | 0,18 | 0,51 |
| | Язьва – Нижняя Язьва | -0,17 | -0,20 | 0,55 |
| | Колва – Петрецово | 0,03 | 0,22 | 0,70 |
| | Яйва – База | 0,11 | 0,17 | 0,41 |
| | Яйва – Усть-Игум | 0,18 | -0,02 | 0,18 |
| | Косьва – Останино (Перемское) | 0,03 | 0,08 | 0,41 |
| 2 | Чусовая – Косой Брод | -0,17 | -0,28 | 0,16 |
| | Чусовая – Староуткинск | -0,14 | -0,21 | 0,27 |
| | Чусовая – Кын | 0,09 | 0,01 | 0,12 |
| | Чусовая – Ляmino | 0,13 | -0,02 | 0,31 |
| | Серебряная – Серебрянка | 0,07 | -0,06 | 0,41 |
| | Усьва – Усьва | -0,04 | -0,15 | 0,58 |
| 3 | Кама – Гайны | 0,03 | 0,02 | 0,34 |
| | Кама – Бондюг | -0,10 | -0,03 | 0,44 |
| | Коса – Коса | 0,07 | 0,02 | 0,37 |
| | Лолог – Сергеевский | 0,26 | 0,10 | 0,37 |
| 4 | Иньва – Кудымкар | 0,19 | 0,17 | 0,54 |
| | Иньва – Слудка | 0,08 | 0,16 | 0,51 |
| | Кува – Кува | 0,05 | 0,03 | 0,43 |
| | Велва – Ошиб | -0,09 | 0,08 | 0,40 |
| | Кондас – Ощепково | -0,05 | 0,08 | 0,29 |
| | Обва – Карагай | 0,12 | 0,14 | 0,61 |
| 5 | Гайва – Плотинка | 0,06 | 0,01 | 0,18 |
| | Мулянка – Субботино | 0,06 | 0,26 | 0,47 |
| | Очер – Казымово | -0,26 | 0,22 | 0,24 |
| 6 | Сылва – Шамары | -0,29 | 0,02 | 0,01 |
| | Сылва – Подкаменное | -0,12 | 0,07 | 0,14 |
| | Вогулка – Шамары | 0,33 | 0,02 | 0,09 |

Примечание: жирным курсивом показаны статистически значимые величины (при $p < 0,050$).

Таблица 3
 Table 3

Оценка значимости трендов среднесезонной температуры воздуха и осадков
 Assessing the significance of trends in average seasonal air temperature and precipitation

| № района | Метеостанция | Среднесезонная температура воздуха | | | Сумма осадков | | |
|----------|--------------|------------------------------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| | | Весна | Лето-осень | Зима | Весна | Лето-осень | Зима |
| 1 | Губаха | 0,09 | 0,50 | 0,34 | 0,12 | -0,08 | 0,35 |
| 2 | Кын | 0,33 | 0,46 | 0,38 | 0,20 | -0,24 | -0,02 |
| 3 | Гайны | 0,32 | 0,37 | 0,42 | 0,19 | 0,23 | 0,19 |
| | Коса | 0,30 | 0,40 | -0,23 | 0,11 | -0,16 | 0,32 |
| | Чердынь | 0,39 | 0,42 | 0,46 | 0,23 | 0,15 | 0,38 |
| | Ныроб | 0,36 | 0,43 | 0,44 | 0,31 | 0,19 | 0,52 |
| 4 | Березники | 0,09 | 0,51 | 0,36 | -0,07 | -0,08 | 0,31 |
| | Верещагино | 0,34 | 0,43 | 0,50 | -0,01 | -0,03 | 0,21 |
| | Кудымкар | 0,27 | 0,36 | 0,48 | 0,20 | 0,14 | 0,49 |
| 5 | Добрянка | 0,30 | 0,33 | 0,31 | 0,01 | 0,33 | 0,34 |
| | Пермь | 0,33 | 0,43 | 0,48 | 0,22 | 0,05 | 0,39 |
| | Оханская | 0,36 | 0,43 | 0,53 | 0,09 | 0,08 | 0,39 |
| 6 | Лысьва | 0,30 | 0,41 | 0,39 | 0,30 | -0,01 | 0,42 |
| | Кунгур | 0,24 | 0,33 | 0,37 | 0,32 | 0,03 | 0,48 |
| | Шамары | 0,28 | 0,44 | 0,39 | 0,29 | 0,09 | 0,18 |

Примечание: жирным курсивом показаны статистически значимые величины (при $p < 0,050$).

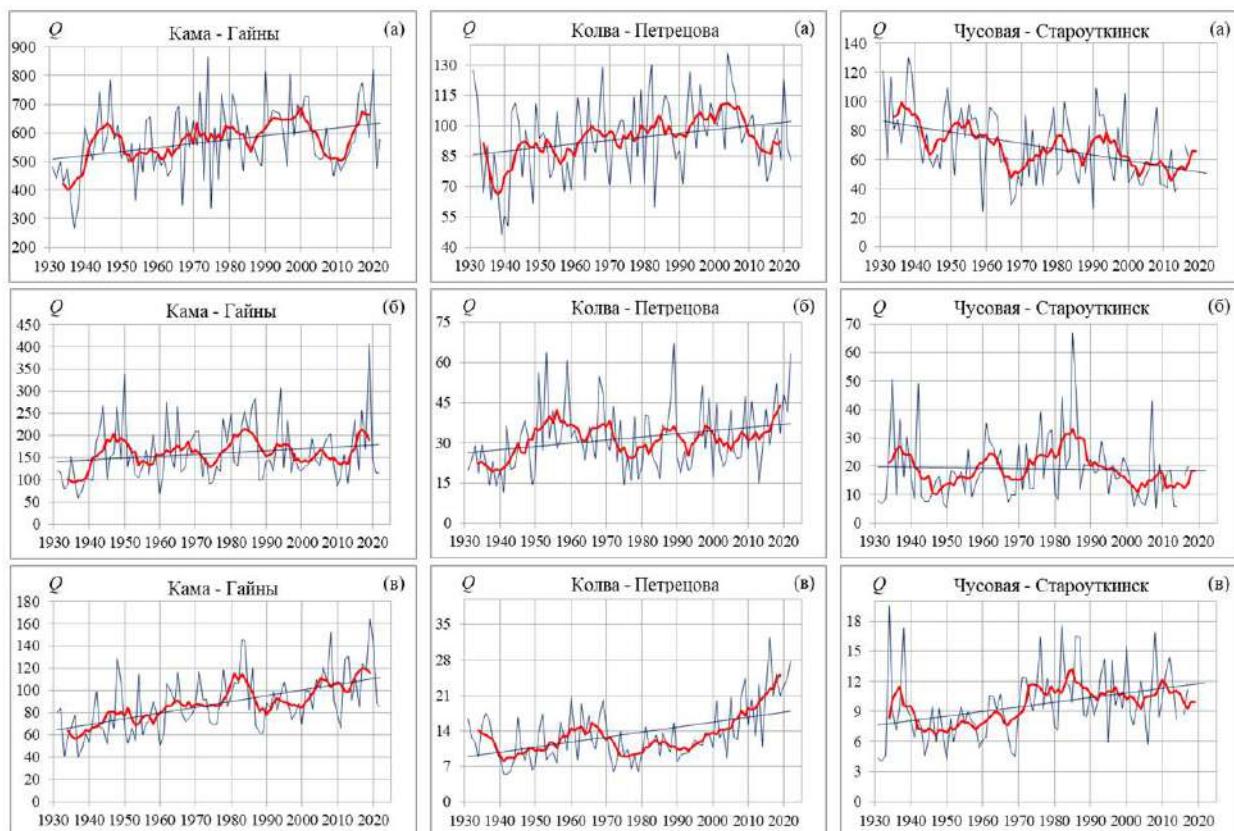


Рис. 2. Многолетнее изменение сезонного стока рек (синяя линия – ежегодные величины стока; красная линия – сглаженные по 7-леткам величины стока) (а) весна; (б) лето-осень; (в) зима

Fig. 2. Long-term changes in seasonal river flow (blue line – annual flow values; red line – flow values smoothed over 7 years) (a) spring; (b) summer and autumn; (c) winter

В зимний сезон на всех исследуемых постах отмечены положительные тенденции увеличения стока рек (см. табл. 2). При этом на большинстве гидрологических постов такие изменения оказались статистически значимыми. Исключение составили пятый и шестой гидрологические районы, где на большинстве постов положительные тенденции изменения зимнего стока оказались статистически не значимыми.

Построенные сглаженные по 7-леткам кривые стока показывают циклы увеличения и уменьшения стока, а также позволяют избавиться от флюктуаций водности конкретных лет, которые прослеживаются на хронологических графиках (рис. 2). Анализ кривых показал, что в рядах выделяются от 3-х и более полных циклов изменения водности, точки перегибов которых совпадают с резкими всплесками повышенных и пониженных значений стока, при этом размываются границы циклов, и их становится труднее выявить.

Климат является одним из основных стокоформирующих факторов, влияющих на водность рек. Изменение климатических условий по сезонам приводит к внутригодовому перераспределению стока между ними. Для оценки изменений климатических условий выполнен расчет значимости трендов средних значений температуры воздуха и осадков за весну, лето-осень и зиму (см. табл. 3). Результаты показали, что температура воздуха стала выше во всех районах за все рассматриваемые периоды. Данное изменение температуры воздуха оказалось статистически значимым. Реальные уровни значимости (p -значения) для большинства м/с находятся в пределах от 0,27 до 0,53, исключением являются м/с Гайны, Верещагино, Кын и Шамары (p -значения составляют от -0,02 до 0,21). Сумма осадков увеличилась только в зимние месяцы, на большинстве м/с выявленные тренды оказались статистически значимыми. Весной осадки преимущественно увеличиваются, но только в шестом районе данные изменения оказались статистически значимыми. В летне-осенний период проявляются разнонаправленные статистически не значимые тенденции.

Очевидно, что повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков в зимний сезон приводит к существенному увеличению зимнего стока на исследуемой территории, реальные уровни значимости (p -значения) моделей для большинства г/п находятся в пределах от 0,27 до 0,70. Исключением являются единичные г/п расположенные в Южном горном (2) и Центральном равнинном (5) районах, такие как г/п Чусовая-Ляmino, Чусовая-Косой Брод и Очер-Казымово, а также все г/п расположенные в Южном восточном районе (6). Это можно объяснить тем, что сток на выявленных г/п во 2 и 5 районах сильно зарегулирован прудами, а в 6 районе водосборы рек сильно закарстованы. Наличие этих двух факторов влечет за собой сильное изменение водности и гидрологического режима, перераспределение стока внутри года и сглаживание влияния климатических последствий на распределение стока. Полученные результаты свидетельствуют о наличии значимых изменений, произошедших в рядах наблюдений в зимний сезон.

Определение года начала выраженных сезонных изменений.

Для определения года начала выраженных изменений сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища были построены графики разностно-интегральных кривых, которые в последующем были сгруппированы по новым однородным таксонам гидрологического районирования и определены характерные точки перегибов кривой (табл. 4). Аналогичные расчеты выполнены для сезонных значений температуры воздуха и осадков.

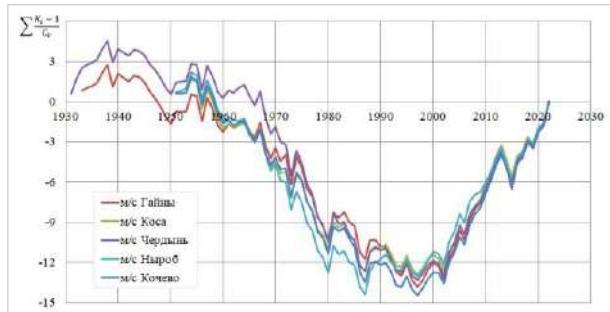
Таблица 4
Table 4Годы смены циклов водности в однородных районах
Years of water level change in homogeneous areas

| № района | Название района | Средняя температура воздуха | | | Сумма осадков | | | Сезонный сток | | |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|--------|
| | | Весна | Лето- осень | Зима | Весна | Лето- осень | Зима | Весна | Лето- осень | Зима |
| | | V–VI | VII–X | XI– III | V–VI | VII–X | XI–III | V–VI | VII–X | XI–III |
| 1 | Северный горный | 1986 | 1988 | 1988 | 1989– 1996 | 1992– 2002 | 1987– 1996 | 1989 | 1977 | 1997 |
| 2 | Южный горный | 1986 | 1987 | 1988 | 1989– 1996 | 1992– 2002 | 1987– 1996 | 1989 | 1977 | 1989 |
| 3 | Северный равнинный | 1986 | 1987 | 1987 | 1977– 2007 | 1992– 1993 | 1996– 2006 | 1989 | 1977 | 1977 |
| 4 | Централь- ный равнинный | 1986 | 1997 | 1987 | 1997– 2000 | 1992– 1997 | 1987– 1996 | 1988 | 1977 | 1977 |
| 5 | Южный восточный | 1986 | 1997 | 1987 | 1986– 2000 | 1992– 2003 | 1977– 1989 | 1989 | 1977 | 1977 |
| 6 | Южный западный | 1986 | 1997 | 1987 | 1986– 2004 | 1989– 2002 | 1989– 1996 | 1989 | 1982 | 1989 |

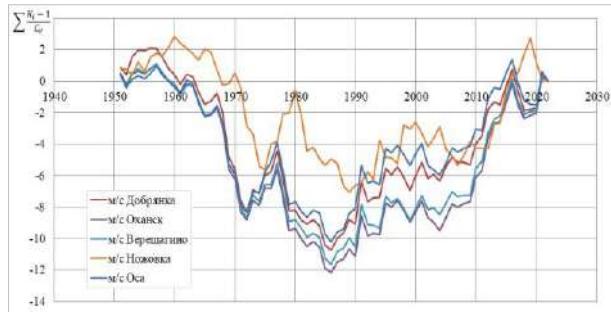
Анализ разностно-интегральных кривых температуры воздуха за весенний и зимний сезоны, показал, что начиная с конца XIX в. – начала XX в. на территории водосбора Воткинского водохранилища наблюдается синхронное и продолжительное увеличение среднесезонной температуры (рис. 3). Момент начала выраженных изменений температуры воздуха приходится в среднем для всех м/с территории на период 1986–1988 г. (см. табл. 4), при этом статистические характеристики выделенных ветвей подъема и спада (среднее значение, коэффициенты вариации и асимметрии) значительно отличаются. В летне-осенний сезон в южной (5, 6 районы) и центральной равнинной части (4 район) исследуемой территории наблюдается продолжительное снижение средней температуры воздуха вплоть до окончания 90-х гг. ХХ в. При этом момент начала выраженных климатических изменений приходится на 1997 г., для остальной территории аналогично, как и для весеннего и зимнего сезонов – на 1987–1988 гг. (см. табл. 4).

В то же время на разностно-интегральных кривых сезонного стока момент начала выраженных изменений в гидрологических рядах выделяется более четко и соответствует смене маловодной фазы водности на многоводную (рис. 4). В весенний сезон точка минимума приходится в среднем для всех г/п на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г. Исключением является Южный западный район (6) исследуемой территории в летне-осенний и зимний сезоны (см. табл. 4), где наблюдается затяжной характер маловодной фазы, и точка минимума приходится на 1982 и 1989 гг. соответственно. В данном гидрологическом районе снижение температуры воздуха также продолжалось дольше, чем в других районах.

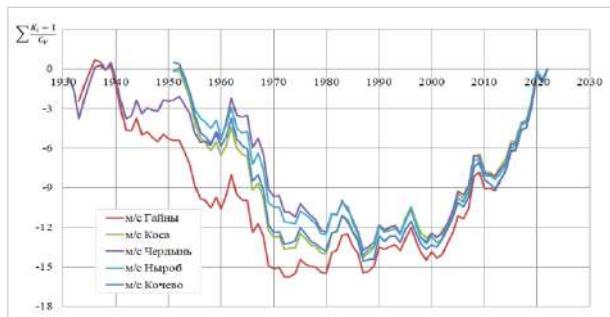
Центральный равнинный район
Весна IV–VI



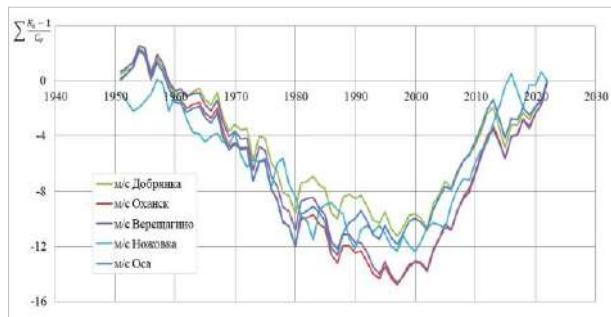
Юго-западный район
Весна IV–VI



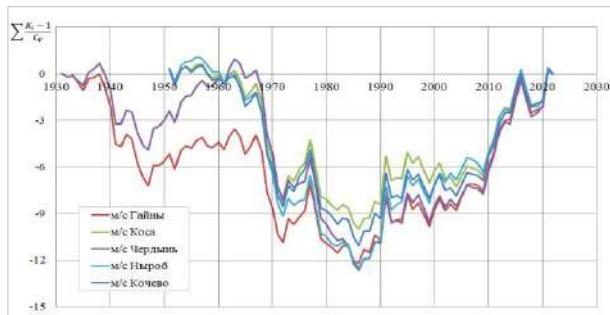
Лето-осень VII–X



Лето-осень VII–X



Зима XI–III



Зима XI–III

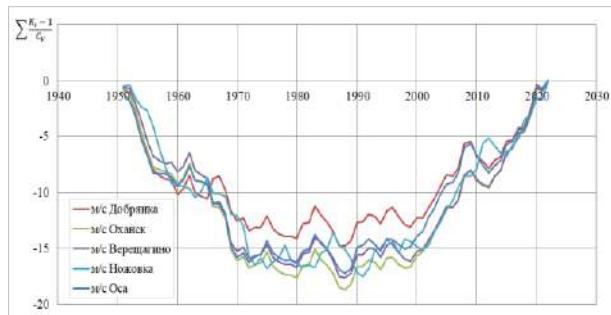


Рис. 3. РИК средней температуры воздуха за разные сезоны для 4 и 5 районов
 Fig. 3. Difference-cumulative curves of average air temperature for different seasons for the 4th and the 5th regions

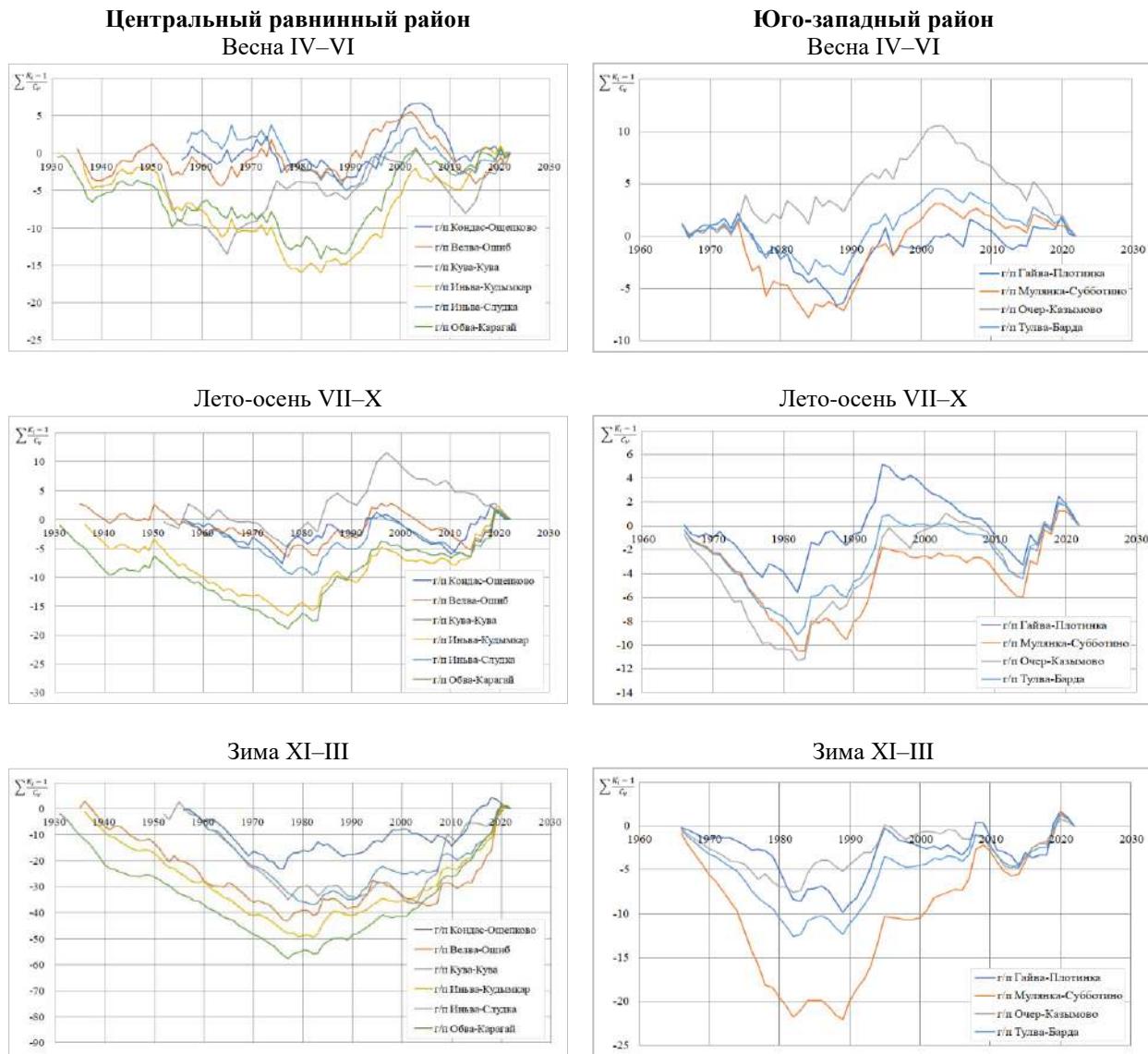


Рис. 4. Разностно-интегральные кривые сезонного стока для 4 и 5 районов
 Fig. 4. Difference-cumulative curves of seasonal flow for the 4th and the 5th regions

Затяжной характер маловодной фазы наблюдается и в горных таёжных (1 и 2 районы) в зимний сезон, и точка минимума приходится на 1989 и 1997 гг. соответственно, что обусловлено влиянием вертикальной зональности на водность рек.

Оценка изменений сезонного стока рек.

После выявления точки перегиба на РИК и оценки нарушения стационарности рядов многолетних наблюдений, выполнена оценка перераспределения сезонного стока в % от годового для двух периодов: с 1956 г. до точки минимума и с точки минимума до 2022 г. Это дает возможность выявить перераспределение стока внутри сезонов и определить период, имеющий наибольшее увеличение стока (табл. 5).

В целом для рек водосбора Воткинского водохранилища до начала выраженных изменений за период наблюдений с 1956 по 2022 гг. характерно следующее распределение сезонного стока в %: для горных районов (1 и 2) на весенний период в среднем приходится 71,4 %, летне-осенний – 20,1 %, зимний – 8,5 %. Для равнинных районов (3, 4,

5, 6) весной в среднем составляет 74,4 %, летно-осень – 16,3 %, зима – 9,4 %. После смены цикла водности произошло перераспределение стока внутри сезонов, которое стало соответствовать следующему соотношению в %: для горных районов (1 и 2) на весенний период в среднем приходится 66,8 %, летне-осенний период – 22,0 %, зимний – 11,2 %. Для равнинных районов (3, 4, 5, 6) весенний сток в среднем составляет 69,0 %, летне-осенний – 19,6 %, зимний – 11,3 %.

Таблица 5
Table 5

Процентное соотношение сезонного стока до и после начала выраженных изменений
Percentage of seasonal runoff before and after the onset of pronounced changes

| № | Название района | Распределение речного стока по сезонам (в %) для периодов в таблице №3: | | | | | | Разница между периодами, % | | |
|---|-----------------------|---|------------|--------|-------|------------|--------|----------------------------|------------|--------|
| | | Весна | Лето-осень | Зима | Весна | Лето-осень | Зима | Весна | Лето-осень | Зима |
| | | V–VI | VII–X | XI–III | V–VI | VII–X | XI–III | V–VI | VII–X | XI–III |
| 1 | Северный горный | 69,2 | 21,5 | 9,4 | 66,3 | 21,9 | 11,8 | -3,5 | +1,2 | +25,5 |
| 2 | Южный горный | 73,5 | 18,7 | 7,7 | 67,3 | 22,0 | 10,6 | -7,5 | +18,9 | +23,4 |
| 3 | Северный равнинный | 74,3 | 17,6 | 8,1 | 71,8 | 18,5 | 9,8 | -3,3 | +5,1 | +21,3 |
| 4 | Центральный равнинный | 81,1 | 13,0 | 5,9 | 73,7 | 17,4 | 8,8 | -9,1 | +34,1 | +51,4 |
| 5 | Южный восточный | 74,6 | 16,5 | 8,9 | 69,6 | 19,8 | 10,5 | -6,7 | +20,8 | +19,5 |
| 6 | Южный западный | 67,5 | 18,0 | 14,6 | 61,0 | 22,8 | 16,2 | -9,6 | +28,0 | +11,9 |

Сопоставление величин сезонного стока до и после начала выраженных климатических изменений дало возможность установить его снижение весной в среднем по всей территории на 6,6 % (см. табл. 5). В летне-осенний период наблюдается увеличение водности в среднем по всей территории на 18,0 %. Незначительное повышение стока в этот период характерно для северной части водосбора – Северного равнинного и Северного горного районов (от 1,2 % до 5,1 %). Для всех остальных районов установлено значительное повышения водности на 20,8–34,1 % с максимальными значениями в Центральном равнинном районе.

Самое существенное увеличение стока на всей изучаемой территории характерно для зимнего периода – в среднем на 24 %. Наибольших значений оно составило на реках Центрального равнинного района (4) – 51,4 %. Анализ данных за периоды до и после начала выраженных климатических изменений показал повышение средних зимних температур воздуха. Это привело к сокращению продолжительности зимнего сезона, и более частым оттепелям, которые вызывали таяние снега зимой и, как следствие, увеличивали количество воды, стекающей с поверхности водосборов в водные объекты. Таким образом, повышение зимних температур напрямую повлияло на увеличение объема зимнего стока в исследуемом регионе.

Заключение

С конца XIX в. – начала XX в. на территории водосбора Воткинского водохранилища наблюдалось синхронное и продолжительное увеличение среднесезонной температуры воздуха. Момент начала выраженных изменений и цикла роста приходится в среднем на период 1986–1988 гг.

Анализ многолетней ритмики сезонных значений атмосферных осадков показал, что их колебания настолько разнообразны и изменчивы по территории Воткинского водохранилища, что практически невозможно выявить момент начала выраженных изменений не только для всего водосбора, но и по однородным районам.

Оценка долговременных циклов и фаз водности сезонного стока показала, что момент начала выраженных изменений в гидрологических рядах в среднем в весенний период приходится на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г.

Проверка гипотезы влияния климата на речной сток показала, что построенные модели для 15 м/с и 28 г/п по сезонам оказались статистически значимыми для средней температуры воздуха и стока только для зимнего периода.

Сопоставление выявленных процентных соотношений сезонного стока до и после начала выраженных изменений дало возможность установить его уменьшение в весенний период и значительное увеличение летне-осеннего и зимнего стока.

Список источников

- Гейнц Е.А. 1898. Об осадках, количестве снега и об испарении на речных бассейнах Европейской России. Труды экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., Типография императорской академии наук, 54 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Средний Урал и Приуралье. Кама. Л., Гидрометеоиздат, 11(1), 420 с.
- СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., Минстрой России, 103 с.

Список литературы

- Георгиади А.Г., Каштутина Е.А. 2015. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 71–83.
- Георгиади А.Г., Каштутина Е.А. 2016. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 5: 70–81. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-5-70-81>.
- Георгиади А.Г., Каштутина Е.А. 2019. Длительные периоды пониженного/повышенного стока на крупных реках России. В кн.: CITES-2019. Материалы Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде, Москва, 27 мая – 06 июня 2019. Томск, Томский центр научно-технической информации: 284–287.
- Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Бородин О.О. 2019. Особенности многолетних изменений водности рек в бассейне Волги в XIX–XXI веках. В кн.: Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Нижний Новгород, 08–14 сентября 2019. Нижний Новгород, Студия Ф1: 102–105.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Каштутина Е.А., Барабанова Е.А. 2013. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях речного стока реки Волги. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 4: 4–19.
- Джамалов Р.Г., Сафонова Т.И., Телегина Е.А. 2017. Многолетняя квазипериодичность подземного и поверхностного стока рек России. Недропользование XXI век, 5(68): 98–105.
- Дмитриева В.А. 2011. Внутригодовая и многолетняя динамика сезонного речного стока бассейна верхнего Дона. Аридные экосистемы, 17(2(47)): 23–32.

- Добровольский С.Г. 2011. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира. Водные ресурсы, 38(6): 643–660.
- Исмайлов Г.Х., Муращенко Н.В. 2019. Исследование временных закономерностей речного стока бассейна Верхнего Дона. Природоустройство, 1: 35–40.
- Калинин В.Г. 2014. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 184 с.
- Калинин В.Г., Механошина Е.В., Богданова К.А. 2020. Об изменениях внутригодового распределения стока на реках водосбора Воткинского водохранилища. В кн.: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Международная научная конференция памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020. Санкт-Петербург, Издательство ВВМ: 665–668.
- Калинин В.Г., Механошина Е.В. 2024. Пространственные закономерности внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища. Географический вестник, 3(70): 49–58. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-49-58>.
- Калинин В.Г., Чичагов В.В., Гырдымов Д.А. 2023. Многолетние колебания годового стока рек водосбора Верхней и Средней Камы. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 33(4): 456–466. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466>.
- Магрицкий Д.В. 2015. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты на нижней Лене и Вилюе. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 85–95.
- Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. 2017. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал. Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник), 3: 39–61.
- Оппоков Е.В. 1906. Многолетние колебания стока на больших речных бассейнах в связи с колебаниями метеорологических элементов. СПб., МПВ, 192 с.
- Оппоков Е.В. 1911. О водоносности рек в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока. Записки Русского географического общества, 47: 234–286.
- Оппоков Е.В. 1933. Колебания водоносности рек в историческое время. Исследования рек СССР, 4: 109–128.
- Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. 2024. Современные изменения максимального стока рек бассейна реки Урал. Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2: 72–80. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80>.
- Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Повалишникова Е.С. 2018. Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек Российской Арктики. Вопросы географии, 145: 233–251.
- Юмина Н.М., Терешина М.А. 2017. Многолетние изменения стока рек бассейна Вилюя. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 62–70.

References

- Georgiadi A.G., Kashutina Ye.A. 2015. The Features of Long-Term Annual and Seasonal Runoff Changes for Lena Basin Rivers. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2: 71–83 (in Russian).
- Georgiadi A.G., Kashutina E.A. 2016. Long-Term Runoff Changes of the Largest Siberian Rivers. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 5: 70–81 (in Russian). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-5-70-81>.
- Georgiadi A.G., Kashutina E.A. 2019. Long Decreased/Increased Water Flow Periods in Large Rivers of Russia. In: CITES-2019. Proceedings of the International Youth School and Conference on Computational and Information Technologies for Environmental Sciences, Moscow, 27 May –6 June 2019. Tomsk, Pabl. Tomskiy tsentr nauchno-tehnicheskoy informatsii: 284–287 (in Russian).
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Borodin O.O. 2019. Osobennosti mnogoletnikh izmeneniy vodnosti rek v basseyne Volgi v XIX–XXI vekakh [Features of Long-Term Changes in River Water Content in the Volga Basin in the 19th–21st Centuries]. In: Nauchnyye problemy ozdorovleniya



rossiyskikh rek i puti ikh resheniya [Scientific Problems of Improving the Health of Russian Rivers and Ways to Solve Them]. Materials of the all-Russian scientific conference with international participation, Nizhny Novgorod, 08–14 September 2019. Nizhny Novgorod, Pabl. Studiya F1: 102–105.

- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Zaitseva I.S., Kashutina Y.A., Barabanova Y.A. 2013. Climatic and Anthropogenic Factors in Long-Term Alterations of the Volga River Runoff. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 4: 4–19 (in Russian).
- Dzamalov R.G., Safranova T.I., Telegina E.A. 2017. Long-Term Quasi-Periodicity of the Underground and Surface Runoff of the Rivers of Russia. Nedropolzovaniye XXI vek, 5(68): 98–105 (in Russian).
- Dmitrieva V.A. 2011. Intraannual and Multiyear Dynamics of Seasonal River Runoff. ARID Ecosystems, 17(2(47)): 23–32 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S2079096111020028>
- Dobrovolskiy S.G. 2011. Mezhgodovye i mnogoletnie izmeneniya stoka rek mira [Interannual and Long-Term Changes in River Runoff of the World]. Vodnye resursy, 17(2(47)): 23–32.
- Ismaylov G.Kh., Muraschenkova N.V. 2019. Investigations of Temporal Flow Patterns of the Upper Don River Basin. Prirodoobustrojstvo, 1: 35–40 (in Russian).
- Kalinin V.G. 2014. Vodnyy rezhim Kamskikh vodokhranilishch i rek ikh vodosbora v zimniy sezon. [Water Regime of the Kama Reservoirs and Their Tributary Rivers in the Winter Season]. Perm, Publ. Permskiy Gosudarstvennyi Natsionalnyi Issledovatel'skiy universitet, 184 p.
- Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V., Bogdanova K.A. 2020. Ganges in the Intra Annual Distribution of the Rivers Runoff of the Votkinskoe Reservoir's Catchment. In: The Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from Knowledge to Worldview. International Scientific Conference in Memory of the Outstanding Russian Scientist Yuri Borisovich Vinogradov, Saint Petersburg, 23–31 October 2020. Saint Petersburg, Pabl. VVM: 665–668 (in Russian).
- Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V. 2024. Territorial Features of the Intra-Annual Distribution of River Flow on the Votkinsk Reservoir Catchment. Geographical Bulletin, 3(70): 49–58 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-49-58>.
- Kalinin V.G., Chichagov V.V., Gyrdymov D.A. 2023. Annual Runoff Long-Term Fluctuations in the Rivers of the Kama Reservoir Catchment. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 33(4): 456–466 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466>.
- Magritsky D.V. 2015. Factors and Trends of the Long-Term Fluctuations of Water, Sediment and Heat Runoff in the Lower Reaches of the Lena River and the Vilyui River. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 6: 85–95 (in Russian).
- Magritsky D.V., Kenzhebayeva A.Zh. 2017. Regularities, Characteristics and Causes of the Rivers in the Ural River Catchment Annual and Seasonal Water Flow Variability. Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin), 3: 39–61 (in Russian).
- Oppokov E.V. 1906. Mnogoletnie kolebaniya stoka na bol'sikh rechnykh basseynakh v svyazi s kolebaniyami meteorologicheskikh elementov [Long-Term Fluctuations in Runoff in Large River Basins Due to Fluctuations in Meteorological Elements]. St. Petersburg, Publ. Ministerstvo putey soobshcheniya, 192 p.
- Oppokov E.V. 1911. O vodonosnosti rek v svyazi s atmosfernymi osadkami i drugimi faktorami stoka [On the Water Content of Rivers in Connection with Atmospheric Precipitation and Other Runoff Factors]. Zapiski Russkogo geograficheskogo obshhestva, 47: 234–286.
- Oppokov E.V. 1933. Kolebaniya vodonosnosti rek v istoricheskoe vremya. [Fluctuations in the Water Content of Rivers in Historical Times]. Issledovaniya rek SSSR, 4: 109–128.
- Sivokhip Zh.T., Pavlechik V.M. 2024. Current Changes in the Maximum Runoff of the Rivers of the Ural River Basin. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 72–80 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80>.
- Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Povalishnikova E.S. 2018. Runoff and Ice Phenomena Dynamics on the Rivers of Russian Arctic Due to Anthropogenic and Climate Changes. Problems of Geography, 145: 233–251 (in Russian).
- Yumina N.M., Tereshina M.A. 2020. Estimating Long-Term Changes of River Runoff in the Viluy River Basin. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 6: 62–70 (in Russian).



Поступила в редакцию 29.04.2025;
поступила после рецензирования 04.07.2025;
принята к публикации 18.07.2025

Received April 29, 2025;
Revised July 04, 2025;
Accepted July 18, 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

Механошина Екатерина Владимировна старший преподаватель кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Микова Ксения Дмитриевна, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina V. Mekhanoshina, Senior Lecturer at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University, Perm, Russia

Ksenia D. Mikova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University, Perm, Russia



УДК 913.1/913.8

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-3

EDN JDUPYK

Динамика почвообразования и осадконакопления в балках Восточно-Донской гряды за последние 3000 лет

¹Борисов А.В., ¹Пинской В.Н., ²Кривошеев М.В.

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН

Россия, 142290, г. Пущино, ул. Институтская, 2а

²ФГАОУВО Волгоградский государственный университет

Россия, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 100

a.v.borisovv@gmail.com, pinskoy@inbox.ru, Krivosheev.azi@volsu.ru

Аннотация. Почвы балочных систем в степной зоне представляют собой книгодобную запись истории развития ландшафтов. При этом надежно датированных почвенных серий из балок степной зоны до настоящего времени недостаточно. Целью данного исследования является изучение истории развития балочных систем Дона-Медведицкой гряды. На основе морфологических, химических свойств и радиоуглеродного датирования почв в катене реконструированы основные этапы почвообразования и осадконакопления в балках. Показано, что периоды длительного устойчивого почвообразования имели место в IX–VIII вв. до н.э., II в. до н.э.–II в. н.э. и в XII–XIII вв. н.э., после чего наступали периоды резкой активизации аллювиальных процессов и осадконакопления.

Ключевые слова: степная зона, балки, почвы, аллювий, радиоуглеродное датирование, климат

Благодарности: Работа выполнена за счет средств Российского научного фонда, грант 25-28-00572 «Финал сарматской эпохи в Волго-уральских степях: социально-исторические процессы и палеоэкологические условия».

Для цитирования: Борисов А.В., Пинской В.Н., Кривошеев М.В. 2025. Динамика почвообразования и осадконакопления в балках Восточно-Донской гряды за последние 3000 лет. Региональные геосистемы, 49 (4): 684–695. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-3 EDN: JDUPYK

Dynamics of Soil Formation and Sedimentation in the Ravines of the East Don Ridge over the Past Three Thousand Years

¹Alexander V. Borisov, ¹Viktor N. Pinsky, ²Mikhail V. Krivosheev

¹Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science
of the Russian Academy of Sciences, separate division of the FRC PSCBR RAS
2a Institutskaya St., Pushchino, 142290, Russia

²Volgograd State University
100 Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russia
a.v.borisovv@gmail.com, pinskoy@inbox.ru, Krivosheev.azi@volsu.ru

Abstract. Soils of the ravine systems in the steppe zone provide a "book-like" proxy record of landscape development history. Being widespread, these objects allow us to study regional features of natural conditions in the past, though reliably dated soil series from the steppe zone ravines are extremely rare to find. The aim of this study is to reconstruct the development of ravine systems in the Don-Medveditskaya

ridge (the southern part of the East European Plain). The key object was the Serditaya ravine in the Kletsk district of the Volgograd region. A series of five buried soils was found in the bottom of the ravine. We studied the morphological and chemical properties of paleosols and conducted radiocarbon dating of the humus, which made it possible to reconstruct the main stages of soil formation and sedimentation in the ravines. Periods of long-term stable soil formation occurred 730 ± 30 , 1950 ± 80 and 2650 ± 50 years ago, followed by periods of sharp activation of alluvial processes and sedimentation. The data obtained provide an insight into landscape development history and contribute to the understanding of the processes of the region's occupation in ancient times. The findings allow a suggestion that the increase in the amount of winter precipitation in the period after the 2nd century AD was the possible reason for the reduction in the number of monuments of Late Sarmatian culture.

Keywords: steppe zone, ravines, soils, alluvium, radiocarbon dating, climate

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 25-28-00572 “The final stage of the Sarmatian era in the Volga-Ural steppes: socio-historical processes and paleoecological conditions”

For citation: Borisov A.V., Pinskoy V.N., Krivosheev M.V. 2025. Dynamics of Soil Formation and Sedimentation in the Ravines of the East Don Ridge over the Past Three Thousand Years. Regional Geosystems, 49 (4): 684–695 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-3 EDN: JDUPYK

Введение

Почвы аккумулятивных элементов рельефа представляют собой важный источник палеогеографической и палеоэкологической информации [Roberts et al., 2022]. При этом, как правило, внимание исследователей привлекают достаточно крупные глубоко врезанные речные долины, развитие которых охватывает максимально широкий период [Беляев и др., 2003; Судницын, 2009; Чернов, 2013; Chendev et al., 2017; Сидорчук и др., 2021; Wen et al., 2021; Идрисов, Шишилина, 2022; Kingle et al., 2022; Sycheva et al., 2022; и др.]. В меньшей степени в поле зрения исследователей попадают малые аккумулятивные формы – балки и суходолы. В то же время, благодаря устойчивому, практически субламинарному осадконакоплению в таких объектах обеспечиваются условия для формирования книгоподобной записи истории развития ландшафта, а их повсеместное распространение дает возможность сопоставлять региональные модели развития географической среды с глобальными известными реконструкциями динамики природных условий.

Почвенные образования в днищах известны как педолиты [Герасимов, 1976], педолитоседименты [Глазовская, 2009], педолитоциклицы [Сычева, 2008]. В случае формирования наносов за счет материала гумусовых горизонтов для их определения предложен термин педоседименты [Кошовский и др., 2019]. В соответствии с классификацией почв 2004 г. [Шишов и др., 2004] почвы балок в большей степени соответствуют синлитогенному стволу почвообразования и имеют признаки, характерные для отдела стратоземов. Профиль в области тальвега чаще всего представлен темногумусовым горизонтом AU современной почвы преходящим в стратифицированный горизонт RU. Последний представлен серией темногумусовых подгоризонтов, близких по своим свойствам к почвам отдела органо-аккумулятивных почв постлитогенного ствола почвообразования с содержанием органического углерода на уровне современных почв или выше [Лисецкий и др., 2024]. При этом в профиле бывают хорошо заметны слои балочного аллювия [Маккавеев. 1984, Шешнёв и др., 2025] в разной степени проработанные почвообразованием.

Помимо сугубо географического знания, изучение процессов эрозии-аккумуляции в балках дает возможность выхода на археологические реконструкции, так как изменения климатических условий в древности могли вызвать весьма значительные трансформации экономической модели древних обществ и даже способствовать уходу с исторической

сцены отдельных культур [Лисецкий и др., 2019; Мимоход и др., 2022; Кулькова, 2023; Лобанов, Жохов, 2023]. В первую очередь это относится к древним социумам степной зоны, где в силу ограниченности возможностей по диверсификации экономических моделей степень экологической детерминации исторического процесса наиболее заметна [Борисов, Мимоход, 2017; Кривошеев, Борисов, 2023]. В этой связи целью данного исследования была реконструкция динамики развития почв в малых балках степной зоны и раскрытие связи динамики природных условий и исторических процессов в регионе.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является балка Сердитая, которая расположена на территории Клетского района Волгоградской области. Балка впадает в р. Дон в районе ст. Перекопка, имеет протяженность до 13 км, площадь водосбора около 25 км². Исследуемый регион приурочен к Среднерусской возвышенности и является юго-восточной оконечностью этой геоморфологической области, включающей правобережье Дона и Хопра. Геоморфологическим районом, в пределах которого расположена балка, является Восточно-Донская денудационно-тектоническая гряда, приуроченная, в свою очередь, к южному окончанию Доно-Медведицкого вала. Коренными породами являются отложения верхнего и нижнего ярусов меловой системы, представляющие собой известняки, серые глины, мергели. Почвообразующие породы представлены средними и тяжелыми карбонатными гипсоносными засоленными суглинками. Овражно-балочная сеть района довольно густая, местами достигающая густоты горизонтального расчленения 2 км/км². Рельеф особенно расчленен в месте расположения объектов исследования (рис. 1). Многолетние исследования эрозионно-аккумулятивных процессов в регионе представлены в работе Г.Н. Лепина и А.С. Рулева [2018].



Рис.1. Расположение объектов исследования и вид на балку Сердитая
Fig. 1. Location of research objects and view of the Serditaya ravine

Климат района сухой континентальный. Среднегодовая температура воздуха на территории изменяется в пределах от 5,2 до 5,5 °С. Среднемесячные температуры июля +21,0–22,0 °С, января – –11–11,8 °С. Гидротермический коэффициент – 0,6–0,7. Сумма осадков в диапазоне 350–400 мм в год. Глубина залегания грунтовых превышает 10 м. Район исследования входит в область распространения каштановых почв и представляет собой участок, типичный для зоны сухих степей юго-востока Русской равнины. В сельскохозяйственном отношении участок исследования представляет собой выгон со злаково-разнотравными растительными ассоциациями с проективным покрытием, близким к 100 %.

На удалении около 2 км от верховий Балки Сердитая была заложена траншея, вскрывающая изменение почвенных свойств на участках в области подошвы склона в месте перехода в днище балки (рис. 2). Траншея заложена таким образом, чтобы вскрыть изменение почвенных свойств при переходе склона в аккумулятивную область. Длина разреза составляла 6 м, максимальная глубина более 230 см. Проведено генетико-морфологическое описание профилей почв, отобраны образцы на химические анализы и радиоуглеродное датирование. В образцах определяли гранулометрический состав пипеточным методом по Качинскому [ГОСТ 12536-2014], pH водной суспензии [ГОСТ 26423-85, 26483-85] и углерод органического вещества по Тюрину [ГОСТ 26213-91]. Лабораторные анализы выполнены в ЦКП ИФХиБПП РАН.

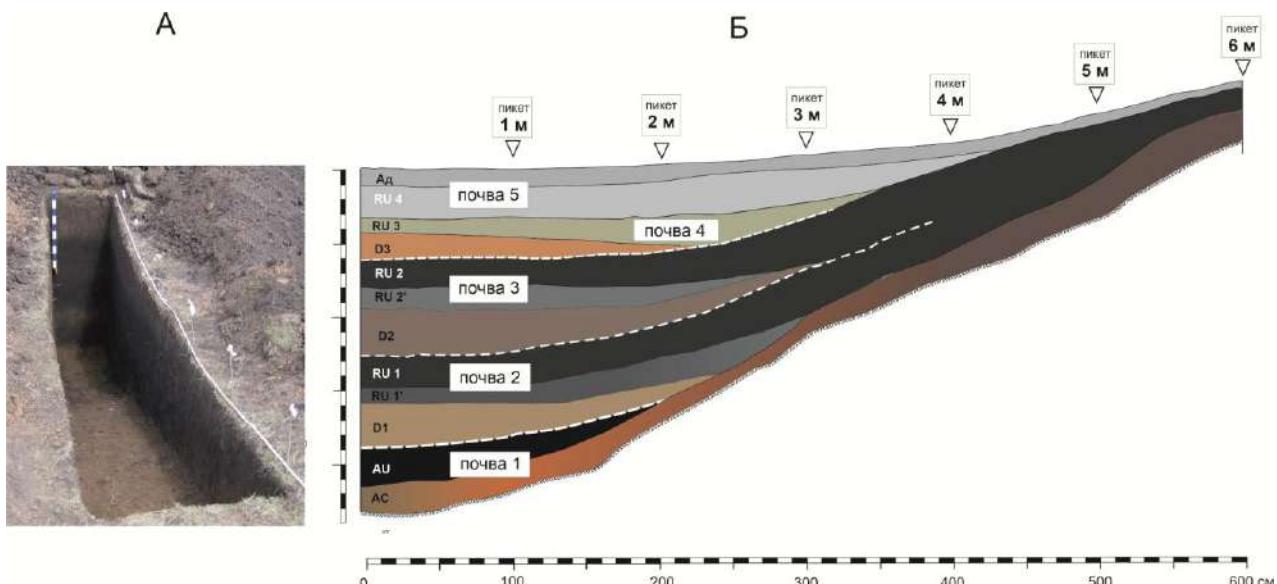


Рис. 2. Почвенный разрез в балке Сердитая (А), строение профиля почв в разрезе (Б)
Fig. 2. Soil section in the Serditaya ravine (A), soil horizons in the section (B)

Результаты и их обсуждение

Почвы балки представлены стратоземом темногумусовым водно-аккумулятивным. В профиле выделяется темногумусовый горизонт современной почвы на слое балочного аллювия, под которым залегает стратифицированный горизонт RU, представленный серией погребенных почв, сформированных при участии склонового делювия и перестилаемых материалом балочного аллювия в разной степени проработанного почвообразованием.

Палеопочва 1.

В нижней части заполнения эрозионного вреза сформировалась палеопочва 1 (190–230 см), представленная горизонтом AU мощностью до 30 см и переходным горизонтом AC. Гумусовый горизонт прослеживается от фронтальной стенки до пикета 2 м. Выше по

склону горизонт полностью эродирован. Цвет гумусового горизонта темно-бурый в сухом состоянии и черный, но с буроватыми тонами в окраске во влажном состоянии. Средний-тяжелый суглинок. Структура неопределенная глыбистая. На гранях структурных отдельностей буровато-коричневый налет.

Переходный горизонт АС желто-бурый тяжелый суглинок глыбистой структуры представляет собой частично затронутый почвообразованием верхний слой базального балочного аллювия. В верхней части горизонта хорошо заметны многочисленные норы почвенной мезофауны.

Палеопочва 2.

Выше залегает палеопочва 2 с хорошо выраженной верхней границей, которую удалось проследить до пикета 5 м. Граница хорошо прослеживается по более темному цвету гумусового горизонта RU1, который хорошо заметен почти на всем протяжении боковой стенки разреза.

Материалом, на котором сформировалась почва 2, как и в случае с нижележащей почвой 1, является балочный аллювий с участием склонового делювия, на что указывает характер залегания почвы 2 и гранулометрический состав горизонта D. Нижняя граница горизонта D ровная, характер перехода при первом рассмотрении кажется постепенным, но при более внимательном анализе становится очевидным, что исходно переход был резким, но впоследствии граница была сильно нарушена почвенной мезофауной, в результате чего в горизонте D оказалась значительная доля темных морфонов нижележащего гумусового горизонта.

Период формирования почвы 2 был достаточно продолжительным, интенсивность супензионного привноса мелкозема в балку со склонов была невысокой, в результате чего наметилась тенденция к разделению гумусового горизонта на RU и RU'. Весьма характерно, что верхняя граница горизонта RU' повторяет угол наклона склона в целом, в то время как нижняя граница на участке 0–1,5 м горизонтальная. Очевидно, формирование горизонта RU', протекало довольно интенсивно, после чего наступил период некоторой стабилизации эрозионно-аккумулятивных процессов и преемственный рост почвенного слоя за счет поверхностного смыва умеренной интенсивности.

Палеопочва 3.

По фронтальной стенке разреза залегает палеопочва 3 на глубине 60–130 см. Горизонт RU2 мощностью около 20 см, черный, при высыхании темно-серый. Структура мелкокомковатая, непрочная. Гранулометрический состав горизонта легкосуглинистый. Нижняя граница ровная, переход в горизонт RU' постепенный. Залегающий ниже горизонт RU' во многом аналогичен описанному выше. Темно-серый легкий суглинок. Структура комковатая, местами ореховатая, непрочная. На гранях структурных отдельностей характерный стальной блеск. На участке 1,5–2,0 м различия между этими двумя гумусовыми горизонтами визуально не прослеживаются. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету.

Горизонт D представляет собой частично трансформированный почвообразованием материал балочного аллювия. Более светлый, палево-серый, плотный. Структура глыбистая. У фронтальной стенки мощность горизонта достигает 30 см, ближе к склону мощность уменьшается за счет большей прокраски гумусом. Весьма показателен характер нижней границы. Как и в случае с почвой 2, граница оказалась сильно нарушена ходами червей, в результате чего переход выглядит постепенным, но при внимательном анализе можно обнаружить сохранившиеся участки с резким переходом.

Палеопочва 4.

Палеопочва 4 залегает на глубине 30–60 см. В формировании палеопочвы 4 принимал участие балочный аллювий, представленный горизонтом D3. Горизонт

сформирован при единовременном поступлении больших объемов грунта почвообразующей породы в условиях интенсивного эрозионного размыва в верховьях балки. Материал горизонта желто-бурый, легко-средне суглинистый, глыбистый, плотный. В верхней части незначительно проработан почвообразованием. Нижняя граница ровная, переход ясный. Гранулометрический состав тот же, что и во всей нижележащей толще. На этом субстрате при поступлении склонового делювия сформировался гумусовый горизонт RU3, мощность которого возрастает в районе пикета 2 м, где происходило наиболее интенсивное прокрашивание толщи аллювия гумусом.

Почва 5.

Современная почва в балке. В профиле выделяется горизонт AU – 0–12 см, серый средний суглинок непрочной слоистой структуры. Местами структура комковатая. Дернина до 5-7 см. Нижняя граница горизонта ровная, переход заметный по цвету, структуре и количеству корней.

Горизонт AU2 – цвет горизонта в массе палево-серый, мощность достигает в отдельных местах 25–30 см. Прослеживается от фронтальной стенки до пикетов 2 и 3 м. Выше по склону не фиксируется. Структура комковатая, с тенденцией к горизонтальной ориентировке структурных блоков высших порядков. В отдельных местах заметна слоистость. Более тяжелый гранулометрический состав и слоистость указывают на иное происхождение поступающего материала. Предположительно, эта почва сформировалась после начала распашки вышележащего склона.

Результаты радиоуглеродного датирования почв.

Для радиоуглеродного датирования отбирались образцы почв из верхнего 5-сантиметрового слоя. Во всех случаях, при отборе почв на датирование стремились взять слой, максимально приближенный к верхней границе почв. При этом мы исходили из предположения, что дата по этому слою будет наиболее приближена к времени завершения этапа почвообразования, после чего следовал очередной этап осадконакопления. Результаты радиоуглеродного датирования по углероду гумуса погребенных почв представлены на рис. 3.

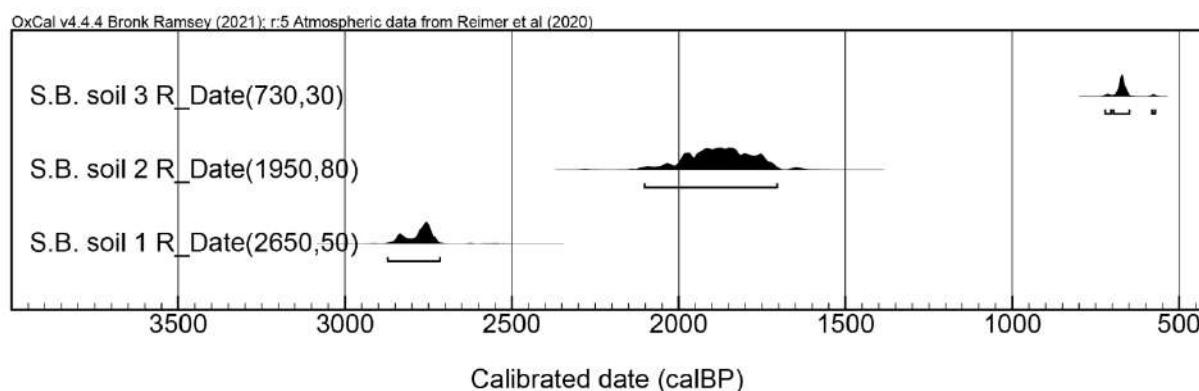


Рис. 3. Калиброванные радиоуглеродные датировки почв балки Сердитая
Fig. 3. Calibrated radiocarbon dating of soils of the Serditaya ravine

Согласно полученным датам, наиболее древняя почва 1 сформировалась в начале I тыс. до н.э. Для этой почвы получена радиоуглеродная дата по гуминовым кислотам: 2650 ± 50 л.н. (Ki-19467). При этом значение сигмы невелико (2872–2715 л.н. (95,4 %)) (см. рис. 3). Можно говорить о высокой скорости формирования почвы в условиях интенсивного прорабатывания материала почвообразованием.

Развитие этой почвы было прервано в результате активизации аллювиальных процессов, после чего наступил период стабилизации и почвообразования, результатом

которого стало формирование почвы 2 (рис. 4). Согласно полученным данным, ее развитие закончилось в первые века н.э. Для этой почвы получена радиоуглеродная дата по гуминовым кислотам: 1950 ± 80 (Ki-19466). Высокие значения σ на уровне 154 cal BC – 245 cal AD (95,4 %) могут свидетельствовать о незначительном поступлении склонового делювия в предшествующий период в условиях умеренной или низкой атмосферной увлажненности. В этом случае датировка может соответствовать финалу скифо-сарматского аридного этапа, который хорошо доказан для почв лесостепной зоны [Chendev et al., 2021], степной зоны Восточной Европы [Nesteruk et al., 2021] и юго-восточного Предкавказья [Идрисов и др., 2019].

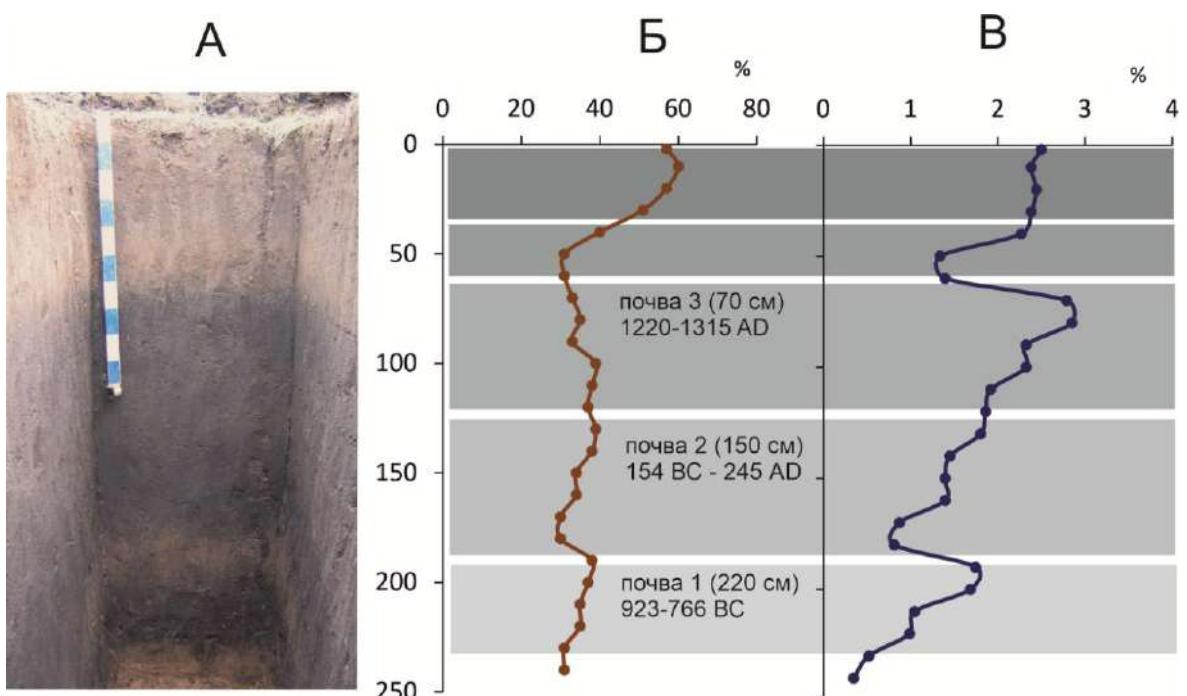


Рис. 4. Этапы формирования почв в балке Сердитая
Fig. 4. Stages of soil formation in the Serditaya ravine

В конце сарматской эпохи последовал очередной период усиления аллювиальной активности, однако аллювий успевал в значительной мере прорабатываться почвообразованием. На возрастание скорости аллювиальных процессов в этот период указывает более светлый цвет почвенного материала в слое 90–120 см. После этого наступил очередной период «медленного» почвообразования, который продолжался до развитого средневековья и привел к формированию почвы 3. Для этой почвы получена радиоуглеродная дата по гуминовым кислотам: 730 ± 30 л.н. (Ki-19465). Калибранный радиоуглеродный возраст – 1220–1315 cal AD.

Благодаря тому, что верхняя граница этой почвы хорошо сохранилась, нам удалось отобрать почву на датировку максимально близко к слою перекрывающего ее аллювия. Поэтому дата имеет очень узкое значение σ , и позволяет уверенно говорить о том, что перекрывание почвы 3 слоем аллювия произошло в монгольский период в XIII – начале XIV в. н.э. Этап гумидизации климата в раннемонгольское время хорошо выявляется по палеопочвенным данным [Якимов и др., 2007].

После XIII–XIV вв. уже не было периодов стабильного почвообразования. В середине XX в. в развитии почв балок явно проявляется вклад поверхностного смыва с прилегающих к балкам полей.

Заключение

Исследование показало, что история развития почв в балках Восточно-Донской гряды за последние 3000 лет представлена несколькими периодами почвообразования и осадконакопления. Период наиболее интенсивной аллювиальной активности имел место в конце II – начале I тыс. до н.э. В это время произошел врез и отложение базального аллювия. Последовавший за этим период снижения аллювиальной активности и почвообразования в балках был непродолжительным, климатические условия отличались низкой увлажнённостью. Очередной короткий период резкого возрастания аллювиальной активности пришелся на VIII–VII вв. до н.э. Наступивший после этого период стабилизации природных условий продолжался около тысячи лет и завершился с окончанием периода сарматской аридизации первых веков н.э. Предположительно в III–IV вв. н.э. процессы седиментации усилились и поступающий материал не успевал в полной мере прорабатываться почвообразованием. Снижение скорости седиментации пришлось на X–XII вв. н.э. В дальнейшем, уже в монгольское время в XIII–XIV вв. н.э. обозначился устойчивый тренд на активизацию осадконакопления, который продолжается по настоящее время.

Список источников

- ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. 2014. М., Стандартинформ, 19 с.
- ГОСТ 26483-85. Почвы. определение pH солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. 1985. М., Издательство стандартов, 6 с.
- ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. 2011. М., Стандартинформ, 5 с.
- ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. 1992. М., Издательство стандартов, 7 с.

Список литературы

- Беляев Ю.Р., Панин А.В., Беляев В.Р. 2003. История развития балок центра Русской равнины. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 5: 55–63.
- Борисов А.В., Мимоход Р.А. 2017. Аридизация: формы проявления и влияние на население степной зоны в бронзовом веке. Российская археология, 2: 63–75.
- Герасимов И.П. 1976. Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. М., Наука, 298 с.
- Глазовская М.А. 2009. Педолигогенез и континентальные циклы углерода. М., Либроком, 330 с
- Идрисов И.А., Пинской В.Н., Борисов А.В. 2019. Почвообразование и осадконакопление в балках степной зоны и в поймах малых рек восточного Предкавказья. В кн.: Археология поймы: рельеф, палеосреда, история заселения. Тезисы научного семинара, Москва, 23 апреля 2019. М., ООО "Издательский дом КДУ", Университетская книга: 55–57.
- Идрисов И.А., Шишилина Н.И. 2022. Использование голоценовых отложений юго-востока ростовской области для установления древней антропогенной деятельности в степных регионах. Аридные экосистемы, 28(3(92)): 107–116.
- Кошовский Т.С., Жидкин А.П., Геннадиев А.Н., Иванова Н.Н. 2019. Диагностика, генезис и локализация педоседиментов в пределах малого водосбора (Среднерусская возвышенность). Почвоведение, 5: 529–543. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19050058>
- Кривошеев М.В., Борисов А.В. 2023. Палеоэкологические условия финала сарматской эпохи и их влияния на общества скотоводов и земледельцев Восточной Европы и Западной Сибири. Нижневолжский археологический вестник, 22(2): 112–125. <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.2.6>
- Кулькова М.А. 2023. Природные и культурные трансформации на рубеже эпохи бронзы–раннего железного веков в степном поясе Евразии. Поволжская археология, 3(45): 95–108.

- Лепилин Г.Н., Рулев А.С. 2018. Научные основы рационального использования заовраженных склонов Волгоградской области. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 228 с.
- Лисецкий Ф.Н., Польшина М.А., Буряк Ж.А. 2019. Дендрохронологические и палеопочвенные данные об изменении климата предгорного Крыма в античную эпоху. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 03–05 октября 2019. Воронеж, Цифровая полиграфия : 86–89.
- Лисецкий Ф.Н., Голеусов П.В., Буряк Ж.А. 2024. Допустимые эрозионные потери почвы и скорости почвообразования в контексте регулирования углеродного баланса. Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 3: 139–151. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-139-151>
- Лобанов Г.В., Жохов М.В. 2023. Историко-географические аспекты развития системы расселения вдоль среднего течения р. Десны в XVIII–XXI веках. Региональные геосистемы, 47(3): 354–367. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-3-354-367>
- Маккавеев Н.И. 1984. Взаимная связь процессов эрозии и аккумуляции. В кн.: Эрозионные процессы (Географическая наука практике). М., Мысль: 9–11.
- Мимоход Р.А., Гак Е.И., Хомутова Т.Э., Рябогина Н.Е. Борисов А.В. 2022. Палеоэкология – культурогенез – металлопроизводство: причины и механизмы смены эпох в культурном пространстве юга Восточной Европы в конце средней – начале поздней бронзы. Российская археология, 1: 24–38. <https://doi.org/10.31857/S0869606322010159>
- Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. 2021. Формирование ложбинно-балочной сети на Русской равнине. В кн.: Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения, Ижевск, 11–15 октября 2021. Ижевск, Удмуртский государственный университет: 9–15.
- Судницын И.И. 2009. Новое о палеопочвах речных долин. Почвоведение, 7: 891–892.
- Сычева С.А. 2008. Морфолитопедогенез в аккумулятивных и трансаккумулятивных ландшафтах как особый механизм почвенно-литогенной памяти. В кн.: Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М., Изд-во ЛКИ: 128–161.
- Чернов А.В. 2013. Речные долины и речные русла (опыт совместимой типализации). Геоморфология, 2: 15–22.
- Шешнёв А.С., Герасимов О.А., Решетников М.В., Перунов А.В. 2025. Минеральный и химический состав балочного аллювия на территории г. Камышина (Волгоградская область). Вестник ВГУ. Серия: Геология, 1: 102–112. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/102-112>
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, Ойкумена, 341 с.
- Якимов А.С., Демкин В.А., Алексеев А.О. 2007. Природные условия степей Нижнего Поволжья в эпоху средневековья (VIII–XIV вв. н.э.). М., НИА-Природа, 227 с.
- Chendev Y.G., Petin A.N., Sarapulkin V.A., Aleksandrovskii A.L., Khokhlova O.S., Dergacheva M.I., Golotvin A.N., Uvarkin S.V., Zemtsov G.L. 2017. Evolution of Forest Pedogenesis in the South of the Forest-Steppe of the Central Russian Upland in the Late Holocene. Eurasian Soil Science, 50(1): 1–13. <https://doi.org/10.1134/S1064229317010033>
- Chendev Y.G., Fedyunin I.V., Inshakov A.A., Golotvin A.N., Dudin D.I., Belevantsev V.G. 2021. Contrasting Variants of Soil Development at Archaeological Sites on Floodplains in the Forest-Steppe of the Central Russian Upland. Eurasian Soil Science, 54(4): 461–477. <https://doi.org/10.1134/S1064229321040050>
- Klinge M., Schneider F., Li Y., Frechen M., Sauer D. 2022. Variations in Geomorphological Dynamics in the Northern Khangai Mountains, Mongolia, since the Late Glacial period. Geomorphology, 401: 108113. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108113>
- Nesteruk G.V., Ilyina L.P., Sushko K.S., Khokhlova O.S., Sverchkova A.E. 2021. Paleoecological Conditions of the Kuban-Azov Lowland in the Bronze and Early Iron Ages as Based on the Study of Buried Soils. Eurasian Soil Science, 54(11): 1644–1658. <https://doi.org/10.1134/S1064229321110090>
- Roberts M.E., Burrows R.M., Thwaites R.N., Hamilton D.P. 2022. Modelling Classical Gullies—a Review. Geomorphology, 407: 108216. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108216>

Sycheva S.A., Golyeva A.A., Pogosyan L., Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Barceinas-Cruz H., Abrosimov K.N., Romanenko K.A. 2022. Evidence for Stages of Landscape Evolution in Central Mexico During the Late Quaternary from Paleosol-Pedosediment Sequences. *Quaternary Research*, 107: 159–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2021.73>

Wen Y., Kasielke T., Li H., Zepf H., Zhang B. 2021. A Case-Study on History and Rates of Gully Erosion in Northeast China. *Land Degradation & Development*, 32(15): 4254–4266. <https://doi.org/10.1002/ldr.4031>

References

- Belyayev Yu.R., Panin A.V., Belyayev V.R. 2003. Istorya razvitiya balok tsentra Russkoy ravniny. [History of the Development of the Gullies of the Central Russian Plain]. Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography, 5: 55–63.
- Borisov A.V., Mimokhod R.A. 2017. Aridity: Forms of Manifestation and Influence on the Steppe Zone Population in the Bronze Age. *Russian Archaeology*, 2: 63–75 (in Russian).
- Gerasimov I.P. 1976. Geneticheskiye, geograficheskiye i istoricheskiye problemy sovremennykh pochvovedeniya [Genetic, Geographical and Historical Problems of Modern Soil Science]. Moscow, Pabl. Nauka, 298 p.
- Glazovskaya M.A. 2009. Pedolitogenet i kontinental'nyye tsikly zakanchivayutsya [Pedolithogenesis and Continental Carbon Cycles]. Moscow, Pabl. Librokom, 330 p.
- Idrisov I.A., Pinskoy V.N., Borisov A.V. 2019. Pochvoobrazovaniye i osadkonakopleniye v balkakh stepnoy zony i v poymakh malen'kikh rek vostochnogo Predkavkaz'ya [Soil Formation and Sedimentation in Gullies of the Steppe Zone and in the Floodplains of Small Rivers of the Eastern Ciscaucasia]. In: Arkheologiya poymy: rel'yef, paleosreda, istoriya zaseleniya [Floodplain Archeology: Relief, Paleoenvironment, History of Settlement]. Abstracts of a scientific seminar, Moscow, 23 April 2019. Moscow, Publ. KDU, Universitetskaya kniga: 55–57.
- Idrisov I.A., Shishlina N.I. 2022. Using Holocene Deposits of the Southeast of the Rostov Region to Establish Ancient Anthropogenic Activity in the steppe Regions. *Arid ecosystems*, 28(3(92)): 107–116 (in Russian).
- Koshovskii T.S., Zhidkin A.P., Gennadiev A.N., Ivanova N.N. 2019. Diagnostics, Genesis and Localization of Pedosediments within a Small Catchment (Central Russian Upland). *Eurasian Soil Science*, 52(5): 481–493 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229319050053>
- Krivosheev M.V., Borisov A.V., 2023. Paleoecological Conditions at the End of the Sarmatian Period and Their Impact on Herder and Farmer Communities from Eastern Europe and Western Siberia. *The Lower Volga Archaeological Bulletin*, 22(2): 112–125 (in Russian). <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.2.6>.
- Kulkova M.A. 2023. Environmental and Cultural Transformations at the Turn of the Late Bronze and Early Iron Age in the Steppe Belt of Eurasia. *The Volga River Region Archaeology*, 3(45): 95–108. (in Russian).
- Lepilin G.N., Rulev A.S. 2018. Scientific Principles for Rational Use of Gullied Slopes in the Volgograd Region. Volgograd, Pabl. FNTS agroekologii RAN, 228 p. (in Russian).
- Lisetskii F.N., Polshana M.A., Buryak Zh.A. 2019. Dendrochronologicheskiye i paleopochvennyye dannyye ob obespechenii klimata predgornogo Kryma v antichnom periode [Dendrochronological and Paleosoil Data on Climate Change in the Foothills of Crimea in Ancient Times]. In: Globalnyye klimaticheskiye izmeneniya: regionalnyye effekty, modeli, prognozy [Global climate change: regional effects, models, forecasts]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 3–5 October 2019. Belgorod, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 86–89.
- Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Buryak Zh.A. 2024. Tolerable Soil Erosion Losses and Soil Formation Rates in the Context of Carbon Balance Regulation. *Bulletin of the Moscow University. Series 17. Soil Science*, 3: 139–151 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-139-151>
- Lobanov G.V., Zhokhov M.V. 2023. Historical and Geographical Aspects of the Development of the Settlement System Along the Middle Course of the Desna River in the XVIII–XXI Century. *Regional geosystems*, 47(3): 354–367 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-3-354-367>



- Makkaveyev N.I. 1984. Vzaimnaya svyaz protsessov erozii i akkumulyatsii [The Interrelationship Between the Processes of Erosion and Accumulation]. In: Erozionnyye protsessy (Geograficheskaya nauka praktike) [Erosion Processes (Geographical Science in Practice)]. Moscow, Pabl. Mysl: 9–11.
- Mimokhod R.A., Gak E.I., Khomutova T.E., Ryabogina N.E. Borisov A.V. 2022. Paleoecology – Culture Genesis – Metal Production: the Reasons and Mechanisms of the Change of Periods in the Cultural Space of the South of Eastern Europe at the Turn of the Middle and Late Bronze Ages. Russian Archaeology, 1: 24–38 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869606322010159>
- Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V. 2021. Formirovaniye lozhbinno-balochnoy seti na Russkoy soblyudenii [Formation of a Hollow-Ravine Network on the Russian Plain]. In: Tridtsat shestoye plenarnoye mezhevuzovskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozionnykh ruslovykh i ustyevykh protsessov [Reports and Brief Communications of the 36th Plenary Interuniversity Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuarine Processes]. Presentations and Brief Communications, Izhevsk, 11–15 October 2021. Izhevsk, Pabl. Udmurtskiy gosudarstvenny universitet: 9–15.
- Sudnitsyn I.I. 2009. Novoye o paleopochvakh rechnykh dolin [New Information on Paleosols of River Valleys]. Eurasian Soil Science, 7: 891–892.
- Sycheva S.A. 2008. Morfolitopedogenez v akkumulyativnykh i transakkumulyativnykh landshaftakh kak osobyy mekhanizm pochvenno-litogennoy pamяти [Morpholithopedogenesis in Accumulative and Transaccumulative Landscapes as a Special Mechanism of Soil-Lithogenic Memory]. In: Pamiat pochv: pochva kak pamyat biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeystviy [Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions]. Moscow, Publ. LKI: 128–161.
- Chernov A.V. 2013. Tipification of River Valleys and River Channels (an Attempt of Compatible Typification). Geomorfologiya, 2 :15–22 (in Russian).
- Sheshnev A.S., Gerasimov O.A., Reshetnikov M.V., Perunov A.V. 2025. Mineral and Chemical Composition of the Ravine Alluvium at the Kamyshin City Area (Volgograd Region). Proceedings of Voronezh State University. Series: Geologiya, 1: 102–112 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/102-112>
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. 2004. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk, Pabl. Oykumena, 342 p.
- Yakimov A.S., Demkin V.A., Alekseyev A.O. 2007. Prirodnyye usloviya stepi Nizhnego Povolzh'ya v epokhu srednevekov'ya (VIII–XIV vv. n.e.). [Natural Conditions of the Steppes of the Lower Volga Region in the Middle Ages (VIII–XIV Centuries AD)] Moscow, Pabl. Priroda, 227 p.
- Chendev Y.G., Petin A.N., Sarapulkin V.A., Aleksandrovsksii A.L., Khokhlova O.S., Dergacheva M.I., Golotvin A.N., Uvarkin S.V., Zemtsov G.L. 2017. Evolution of Forest Pedogenesis in the South of the Forest-Steppe of the Central Russian Upland in the Late Holocene. Eurasian Soil Science, 50(1): 1–13. <https://doi.org/10.1134/S1064229317010033>
- Chendev Y.G., Fedyunin I.V., Inshakov A.A., Golotvin A.N., Dudin D.I., Belevantsev V.G. 2021. Contrasting Variants of Soil Development at Archaeological Sites on Floodplains in the Forest-Steppe of the Central Russian Upland. Eurasian Soil Science, 54(4): 461–477. <https://doi.org/10.1134/S1064229321040050>
- Klinge M., Schneider F., Li Y., Frechen M., Sauer D. 2022. Variations in Geomorphological Dynamics in the Northern Khangai Mountains, Mongolia, since the Late Glacial period. Geomorphology, 401: 108113. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108113>
- Nesteruk G.V., Ilyina L.P., Sushko K.S., Khokhlova O.S., Sverchkova A.E. 2021. Paleoecological Conditions of the Kuban-Azov Lowland in the Bronze and Early Iron Ages as Based on the Study of Buried Soils. Eurasian Soil Science, 54(11): 1644–1658. <https://doi.org/10.1134/S1064229321110090>
- Roberts M.E., Burrows R.M., Thwaites R.N., Hamilton D.P. 2022. Modelling Classical Gullies—a Review. Geomorphology, 407: 108216. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108216>
- Sycheva S.A., Golyeva A.A., Pogosyan L., Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Barceinas-Cruz H., Abrosimov K.N., Romanenko K.A. 2022. Evidence for Stages of Landscape Evolution in Central Mexico During the Late Quaternary from Paleosol-Pedosediment Sequences. Quaternary Research, 107: 159–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2021.73>
- Wen Y., Kasielke T., Li H., Zepp H., Zhang B. 2021. A Case-Study on History and Rates of Gully Erosion in Northeast China. Land Degradation & Development, 32(15): 4254–4266. <https://doi.org/10.1002/ldr.4031>

Поступила в редакцию 08.07.2025;
поступила после рецензирования 19.08.2025;
принята к публикации 26.09.2025

Received July 08, 2025;
Revised August 19, 2025;
Accepted September 26, 2025

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисов Александр Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, обособленное подразделение ФИЦ ПНИЦБИ РАН, г. Пущино, Россия.

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

Кривошеев Михаил Васильевич, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник кафедры истории и международных отношений, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Borisov, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, separate division of the FRC PSCBR RAS, Pushchino, Russia

Viktor N. Pinskoy, Candidate of Geographical Sciences, Researcher at the Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, separate division of the FRC PSCBR RAS, Pushchino, Russia

Mikhail V. Krivosheev, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, Department of History and International Relations, Volgograd State University, Volgograd, Russia



УДК 631.48 (470.325)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-4
EDN JGSJYP

Эталонное качество почвенной структуры нативных черноземов на юге Среднерусской возвышенности

Новых Л.Л., Ченdev Ю.Г., Нарожняя А.Г.

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

Аннотация. Для оценки деградации физического состояния черноземов необходимо иметь представление об уровне показателей в целинных или залежных почвах, которые могут служить эталонами для сравнения с антропогенно преобразованными почвами. Цель исследования – анализ структурно-агрегатного состава и водопрочности структуры черноземов девяти участков распространения старых выгонов и сенокосов на территории Белгородской области, выявление факторов, влияющих на структуру, сравнение с параметрами целинной почвы и определение перспектив использования участков как эталонных для определения степени деградации физического состояния почв. Научная значимость работы: получены новые данные об особенностях структурно-агрегатного состава и водопрочности структуры почв, которые не подвергались обработке, но длительное время использовались в качестве выгонов или сенокосов. Практическая значимость работы: определены перспективные участки, на которых качество структуры черноземов соответствует эталонному (целинному) варианту. Исследование базируется на субстантивном и геоэкологическом подходах. Основные методы исследования – историко-картографический, геоинформационный, полевого исследования почв (профильный и морфологический), лабораторно-инструментальные, сравнительный анализ, математико-статистический. Основные результаты: выявлены участки, на которых структура черноземов близка к пахотным вариантам почвы, что не позволяет говорить об эталонности их структуры.

Ключевые слова: деградация черноземов, нативные почвы, эталонно-значимые почвы, структурно-агрегатный состав, водопрочность структуры, историко-карографический метод, кластерный анализ

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-17-00154 «География, свойства и эталонные функции нативных черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности».

Для цитирования: Новых Л.Л., Ченdev Ю.Г., Нарожняя А.Г. 2025. Эталонное качество почвенной структуры нативных черноземов на юге Среднерусской возвышенности. Региональные геосистемы, 49(4): 696–710. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-4 EDN: JGSJYP

Reference Quality of the Soil Structure of Native Chernozems in the South of the Central Russian Upland

Larisa L. Novykh, Yuri G. Chendev, Anastasia G. Narozhnyaya
Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
novykh@bsuedu.ru

Abstract. Assessing the degradation of the physical condition of chernozems requires the knowledge on the level of indicators in virgin or fallow soils, which can serve as standards for comparison with anthropogenically transformed soils. In the south of the Central Russian Upland, there is an acute shortage of such soils, so the search, study and use of reference qualities of native soils and preserved

natural fragments of the soil cover are relevant. The objective of the study is to analyze the structural and aggregate composition and water stability of the structure of chernozems in nine areas of old pastures and hayfields in the Belgorod Region, to reveal factors influencing the structure, to compare them with the parameters of virgin soil and to identify the prospects for using the sites as reference for determining the degree of degradation of the physical condition of soils. The scientific significance of the work lies in obtaining new data on the features of the structural and aggregate composition and water stability of the structure of soils that were not processed, but used for a long time as pastures or hayfields. The practical significance of the work consists in identifying promising areas where the quality of the structure of chernozems corresponds to the reference (virgin) variant. The study is based on the substantive and geoecological approaches. The main research methods are historical and cartographic ones, the geoinformation method, field soil research (profile and morphological), laboratory and instrumental methods, comparative analysis, mathematical and statistical methods. The main result of the study is identifying the areas where the structure of chernozems is close to arable soil variants, which does not allow us to talk about the standard nature of their structure. To assess the structural properties of the soil as standard, it is necessary that the area should be free from ploughing and less used as a pasture.

Keywords: degradation of chernozems, native soils, standard-significant soils, structural-aggregate composition, water resistance of the structure, historical and cartographic method, cluster analysis

Acknowledgements: The work has been supported by the Russian Science Foundation, project No. 24-17-00154 “Geography, properties and reference functions of native chernozems of the forest-steppe zone in the south of the Central Russian Upland”.

For citation: Novykh L.L., Chendev Yu.G., Narozhnyaya A.G. 2025. Reference Quality of the Soil Structure of Native Chernozems in the South of the Central Russian Upland. Regional Geosystems, 49(4): 696–710 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-4 EDN: JGSJYP

Введение

В соответствии с современными представлениями [Белобров и др., 2020] нерешенной проблемой и мирового, и российского земледелия является деградация почв. Причин деградации много, но главной из них считают агрогенное воздействие традиционного «пахотного» земледелия. Оно осуществляется с помощью механической обработки почвы; такая технология и в настоящее время является основной агропроизводственной технологией в России. Многочисленные обработки почвы любыми почвообрабатывающими орудиями, усиление девегетации почв вследствие ежегодного удаления части органических остатков с урожаем приводят к уменьшению содержания органического вещества, которое считают важнейшим параметром плодородия почв. Ухудшение качества почвы, или ее физическая деградация, считается важной экономической и экологической проблемой, радикальное ускорение процессов деградации является очевидным результатом деятельности человека [Labaz et al., 2022].

К агрогенному воздействию добавляется влияние других отраслей сельского хозяйства: в глобальном масштабе около 20 % пастбищных и сенокосных угодий в мире деградировали, в основном, из-за чрезмерного выпаса скота, уплотнения почвы и эрозии, вызванной вытаптыванием [Hu et al., 2021]. Интенсификация сельского хозяйства привела к повсеместной деградации структуры почвы. Ухудшение структуры может препятствовать движению воздуха, воды и тепла в почве, тем самым снижая биологическую и экономическую продуктивность и экологическую целостность почвы.

Черноземы и другие плодородные типы почв имеют важное значение для продовольственной безопасности многих стран, но они также подвержены деградации. Как отмечают исследователи [Novák et al., 2025], несмотря на истощение питательных веществ и снижение микробиологической активности в пахотных вариантах черноземов, они длительное время сохраняют свой таксономический статус. По мнению B. Labaz et al. [2022]

проблема деградации черноземов осложняется тем, что во многих регионах мира черноземы являются реликтовыми почвами с точки зрения почти тотальной антропогенной измененности почв и почвенного покрова. В таких районах деградация черноземов означает необратимую потерю ценнейшего почвенного ресурса. Анализ деградации черноземных почв во всем мире, проведенный L. Rui et al. [2025], показывает, что снижение структурных свойств почвы повышает ее восприимчивость к уплотнению, ветровой и водной эрозии. Именно агрегатная стабильность является ключевым параметром для оценки ухудшения структуры и первым шагом к возникновению различных типов деградации. Авторами признается, что хроническое уплотнение почвы очень трудно устранить.

Вопросы оценки физической деградации черноземов рассматриваются достаточно давно. Так известным агрофизиком В.В. Медведевым [2013] в качестве критерии было предложено оценивать физическую деградацию черноземов по содержанию агрономически полезной структуры, ее водоустойчивости и равновесной плотности сложения. Исходя из такого подхода, нужно иметь представление об уровне названных показателей в целинных или залежных почвах.

Восточно-Европейская лесостепь, представленная на территории Белгородской области, характеризуется существенной антропогенной трансформацией почвенного покрова. Причинами такой ситуации являются социально-экономические факторы – регион давно и плотно заселен. Как результат, здесь наблюдается острый дефицит эталонных почв, которые необходимы для установления степени деградации антропогенно преобразованных почв, что было отмечено авторами ранее [Ченdev и др., 2024].

Обычно в качестве эталонов рассматриваются почвы особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В Белгородской области есть федеральный заповедник «Белогорье», созданный в 2000 г. после реорганизации системы заповедников, который представлен пятью участками [Касаткина и др., 2012]. Анализ особенностей этих участков показывает, что все они расположены в условиях пересеченного рельефа, для которого характерны овражно-балочная сеть, изрезанные балками речные склоны и даже меловые горные выходы. В результате на территориях заповедных участков широко развиты почвы, которые не типичны для плакорных или слабонаклонных территорий и не используются в сельском хозяйстве, поэтому многие почвы заповедных территорий не могут выступать в Белгородской области в качестве эталонов.

В связи с этим актуальным становится поиск, изучение и использование эталонных качеств нативных почв и сохранившихся естественных фрагментов почвенного покрова. Для таких участков ненарушенных почв под естественной или восстановленной растительностью необходима оценка возможности их использования в качестве эталонов.

Цель исследования – анализ структурно-агрегатного состава и водопрочности структуры не находившихся в распашке черноземов девяти участков распространения старых выгонов и сенокосов на территории Белгородской области, выявление факторов, влияющих на структуру, сравнение с параметрами целинной почвы и определение перспектив использования участков как эталонных для определения степени деградации физического состояния почв. Такие черноземы ранее были названы нами «эталонно значимыми», чтобы отличать их от «эталонных черноземов» заповедников [Ченdev и др., 2024].

Объекты и методы исследования

Основные методы исследования – историко-картографический, геоинформационный, полевого исследования почв (профильный и морфологический), лабораторно-инструментальные, сравнительный анализ, математико-статистический.

Историко-картографический анализ старинных карт является методом исследования пространственно-временных изменений компонентного состава геосистем. Ранее авторы использовали этот метод для реконструкции изменений во времени

растительности [Pimenov et al., 2025], гидрографической сети, угодий, выявления почвенных агрохронорядов. Подробная характеристика метода и его отдельных приемов приведена в работе Чендева с соавторами [2024]. Для поиска участков с нативными черноземами было проведено изучение крупномасштабных карт конца XVIII, середины и конца XIX, середины XX вв. и современных спутниковых снимков. На всех картах проводился поиск участков луговых степей, которые являлись сенокосами и/или выгонами, т.е. на момент создания карты они не распахивались. Подготовленный набор карт подвергали процедурам оцифровывания и координатной привязки. Использовано программное обеспечение и необходимый набор инструментов в среде *ArcGIS*. Сопоставление карт в едином пространстве позволило выделить участки, которые на протяжении всего изучаемого периода оставались под сенокосами и выгонами.

После историко-картографического анализа осуществлялись рекогносцировочные выезды на планируемые участки полевого исследования растительности и почв сенокосов–выгонов, в ходе которых проводилась визуальная оценка нарушенности поверхности участков дорогами, строительными работами и локальными выемками грунта. Полевой этап исследований включал заложение полных почвенных разрезов и скважин на 9 участках, которые не распахиваются в течение 250–300 лет и не имеют видимых нарушений поверхности. На рис. 1 показано местоположение исследуемых участков и преобладающие почвы на их территории.



Рис. 1. Местоположение исследуемых участков и преобладающие почвы на их территории:
А) крупные по площади: 1 – Коровино, 7 – Жимолостное, 8 – Рождественка, 9 – Юрьевка;
Б) средние: 3 – Задельное, 6 – Сухосолотино; С) малые: 2 – Триречное, 4 – Быковка,
5 – Сафоновка; Д) участки для сравнения: 10 Ц – целинный заповедный участок «Ямская степь»;
10 П – пахотный участок в окрестностях заповедника

Fig. 1. Location of the study sites and the predominant soils in their territory:

- A) ones with large area: 1 – Korovino, 7 – Zhimolostnoye, 8 – Rozhdestvenka, 9 – Yuryevka;
B) medium-size sites: 3 – Zadelnoye, 6 – Sukhosolotino; C) small ones: 2 – Trirechnoye, 4 – Bykovka,
5 – Safonovka; D) sites for comparison: 10 Ц – virgin land reserve site “Yamskaya Steppe”;
10 П – arable site in the vicinity of the reserve

Эти участки обладают следующими общими чертами:

- все они находятся в северной части территории области, в подзоне типичной лесостепи, т.е. характеризуются близкими значениями климатических показателей;
- общность рельефа: участки выделены на плакорах и приплакорных склонах;
- на всех участках развита луговая растительность с доминированием злаков и разнотравья;
- почвообразующие породы представлены, преимущественно, лессовидными суглинками или глинами, кроме участка «Триречное», где описаны покровные глины;
- на всех участках господствуют почвы черноземного типа;
- участки похожи по длительности и характеру хозяйственного использования: они не распахивались, но служили сенокосами или выгонами для домашних животных.

Перечисленные свойства участков показывают, что все они по своим особенностям близки к целинному участку «Ямская степь», который также находится в указанной части области, за исключением хозяйственного использования. Сравнение свойств почв исследуемых участков и целинного варианта позволяет установить наличие или отсутствие деградации структуры при использовании участков в качестве сенокосов-выгонов. Если структура почвы не деградировала, то такие участки можно считать эталонно-значимыми для установления степени деградации структуры обрабатываемых почв. При этом для соблюдения принципа единственного различия, оцениваемые пахотные почвы должны обладать сходными чертами с названными почвами, за исключением главного изучаемого различия – характера обработки почвы.

На рис. 2 приведены примеры почвенных профилей типичных черноземов исследуемых участков, которые отличаются по характеру почвообразующей породы и мощности гумусового горизонта.

Жимолостное, Р. 2



Юрьевка, Р. 2



Сафоновка, Р. 1



Рис. 2. Профили типичных черноземов, развитых на двучленных отложениях (Жимолостное) и лессовидных породах (Юрьевка, Сафоновка) (фото Ю.Г. Чендева)

Fig. 2. Profiles of typical chernozems developed on two-membered deposits (Zhimolosnoye) and loess-like rocks (Yuryevka, Safonovka) (photo by Chendev Yu.G.)

Обращает на себя внимание сильная перерывость землероями профилей, развитых на лессовидных породах, а также уменьшение мощности гумусового горизонта для чернозема, развитого на двучленных отложениях. При детальном рассмотрении профиля, развитого на двучленных отложениях, было установлено, что почва развивалась на

лессовидной породе малой мощности, которая по мере развития почвенного профиля была вся вовлечена в почвообразование. Это привело к приближению к нижней границе почвенного профиля красноцветных отложений, на которых залегал маломощный слой лессовидных суглинков.

В зависимости от выявленной площади распространения эталонно значимых черноземов участки были поделены на 3 категории: 1 – крупные (> 4 га) – «Коровино», «Рождественка», «Жимолостное», «Юрьевка»; 2 – средние (1-4 га) – «Сухосолотино», «Задельное»; 3 – малые (< 1 га) – «Триречное», «Быковка», «Сафоновка».

На самых крупных участках («Коровино» и «Рождественка») выбирались модельные площадки, на которых выполнялись работы по геодезической съемке местности, составлению геоботанических планов и крупномасштабному почвенному картографированию. Почвенная съемка выполнялась по результатам исследования профильного строения почв в кернах буровых скважин, которые закладывались глубиной до 2 м в узлах квадратной сетки с шириной шага в 7–10 м. После анализа строения почвенных профилей в скважинах, составлялись почвенные карты и определялись места заложения почвенных разрезов для более детального исследования в них морфологических и других свойств почвенных профилей. На участке «Коровино» профильное строение почв изучалось в 6 разрезах, три из которых были заложены на черноземах выщелоченных и три – на черноземах типичных. На участке «Рождественка» в почвенных разрезах было изучено 3 профиля черноземов типичных, т.к. черноземы выщелоченные как компонент отсутствовали.

На остальных участках для идентификации площадной однородности почвенного покрова сначала закладывалось от 3 до 7 почвенных скважин, затем выбиралось место для экскавации одного («Быковка», «Сухосолотино», «Задельное», «Триречное») или двух («Жимолостное», «Сафоновка», «Юрьевка») полных почвенных разрезов для дальнейшего описания в них морфологического строения профилей и отбора почвенных образцов. Таким образом, всего было заложено 19 почвенных разрезов.

Было проведено морфологическое описание изученных профилей и отбор почвенных образцов. В разрезах отбор проб производился с противоположных (боковых) стенок, примыкающих к передней стенке, предназначеннной для описания почвенного профиля. Пробы равной массы, отобранные с противоположных стенок разреза, затем смешивались в один образец массой 1,5 кг. Почвенные пробы для изучения структурно-агрегатного состава отбирались с поверхности почв до глубины 120 см послойно (через 20 см).

Показатели почв участков сравнивались с параметрами почв целинного участка «Ямская степь» и пахотного участка, расположенного в непосредственной близости от целинного участка.

На пяти исследуемых участках, а также на целинном и пахотном вариантах заповедника «Ямская степь» и в его окрестностях господствовали черноземы типичные, на двух («Триречное» и «Быковка») – черноземы выщелоченные, в почвенном покрове двух участков («Коровино» и «Сафоновка») были представлены оба названных подтипа черноземов (см. рис. 1).

Определение структурно-агрегатного состава почв и водоустойчивости структуры проводили по методике Н.И. Савинова. Навеска почвы для проведения «сухого» просеивания составляла 1 кг. Для рассева почвы использовали стандартный набор сит, описанный А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [1986]: диаметр сит – 20 см, высота борта – 3 см. Сита с размерами отверстий 10, 7, 5, 3, 2, 1 мм представлены перфорированным алюминиевым полотном с круглыми отверстиями; сита 0,5 и 0,25 мм – это сетка с квадратными отверстиями.

В обсуждении использованы традиционные для данного вида анализа показатели:

- глыбы (Г) – агрегаты крупнее 10 мм;
- пыль (П) – частицы размером менее 0,25 мм;

- агрономически ценные фракции (АЦФ) – сумма макроагрегатов размером от 0,25 до 10 мм, определяемая при «сухом» просеивании почвы;
- коэффициент структурности (Кс) – отношение содержания АЦФ к содержанию неценных фракций, к которым относятся пыль и глыбы;
- суммарная водопрочность (СВ) – содержание водоустойчивых агрегатов размером более 0,25 мм;
- коэффициент водоустойчивости (Кв) – отношение содержания водоустойчивых частиц размером более 0,25 мм к содержанию фракции такого же размера, определяемой при «сухом» просеивании почвы.

При выборе аналитических параметров, характеризующих структурно-агрегатный состав почв и водоустойчивость структуры, авторы столкнулись с рядом проблем. Во-первых, предложено много показателей, большая часть из которых используется очень редко. Так Н.Б. Хитров и О.А. Чечуева [1994] еще 30 лет назад приводили 16 показателей, определяемых в ходе «сухого» просеивания почвы, и 8 показателей, основанных на результатах «мокрого» просеивания. В настоящее время к ним добавились и иные показатели, предлагаемые разными авторами, например, коэффициент нестабильности структуры [Черныш и др., 2016]. Во-вторых, система оценок качества структуры несовершенна, т.к. разброс оценок, предлагаемых разными авторами, существенно отличается. В публикации Л.Л. Новых с соавторами [Novykh et al., 2022] приведены примеры, когда оценка деградации почвы изменялась от слабой до сильной, в зависимости от критериев, предложенных разными авторами. В-третьих, в некоторых работах называются нестандартные или необычные критерии, например, «избыточно хорошая» водоустойчивость структуры [Сорокина, 2018] вместо привычного термина «избыточно высокая». В-четвертых, возможны затруднения в оценке качества структуры из-за различия критерия разделения фракций по размерам: в большинстве проанализированных работ к АЦФ относят агрегаты размером от 0,25 до 10 мм, но иногда встречаются представления [Лисецкий, Зеленская, 2022], когда фракцией глыб считаются агрегаты размером более 7 мм, что влияет на оценку качества структуры. Таким образом, актуальными проблемами при изучении и оценке структурно-агрегатного состава почв являются нормативные вопросы.

Определение содержания гумуса проводили по методике И.В. Тюрина. Параметры для оценки полученных результатов и некоторые авторские подходы их совершенствования для осуществления оценки структурного состояния почв представлены в работах Л.Л. Новых с соавторами [Novykh et al., 2022; Новых и др., 2024].

Статистическая обработка результатов включала расчеты тесноты корреляционной связи и проведение кластерного анализа методом ближайшего соседа с одиночной связью; в качестве меры близости было использовано евклидово расстояние. Анализ проводили с использованием программы *Statistica 10.0*.

Результаты и обсуждение

Для оценки эталонной значимости исследуемых почв была предпринята попытка определения степени их деградации с точки зрения качества структуры. Для этого были взяты системы оценок, разработанные для черноземных почв [Методические..., 2003; Медведев, 2013; Кузнецова и др., 2014; Trofimova et al., 2018]. С позиций свойств объектов оценок наиболее подходящей представляется система оценки, опубликованная в работе Кузнецовой с соавторами [2014], т.к. в ней даны нормативы физических свойств почв, соответствующих почвам области, – типичных и выщелоченных черноземов тяжелого гранулометрического состава на лессовидных суглинках западной части Среднерусской провинции.

Подходы разных авторов отличаются: в некоторых источниках [Методические..., 2003; Кузнецова и др., 2014; Trofimova et al., 2018] оценка проводится по абсолютному содержанию фракций, в то время как в работе В.В. Медведева [2013] рассматривается серия подходов, в том числе и оценки, основанные на уменьшении содержания агрегатов определенного размера. Все эти системы оценок были разработаны для пахотных почв, поэтому в большинстве из них представлен оптимальный интервал значений, характеризующийся верхним и нижним пределами, что затрудняет применение для эталонно-значимых почв, которые зачастую показывают значения параметров АЦФ и СВ выше, чем предлагаемый оптимум.

Анализ результатов проведенной оценки показал, во-первых, что рассматриваемые системы оценки деградации структуры противоречат друг другу. Например, структура почвы на участках «Коровино», «Задельное», «Сафоновка», «Юрьевка» оценивается как недеградированная, если применять критерии оценки [Trofimova et al., 2018], но только на участке «Сафоновка» один из рассматриваемых параметров (АЦФ, глыбы, СВ) имеет оптимальное значение, во всех остальных вариантах наблюдается либо превышение, либо снижение от оптимума, если использовать подходы, изложенные в методических рекомендациях [2003], что затрудняет интерпретацию результатов.

В связи с разнообразием предлагаемых оценок качества структуры и их направленностью на характеристику пахотных почв, для оценки структурного состояния исследуемых почв была использована шкала системы Росгипрозвема, а для оценки водопрочности структуры – шкала, предложенная И.В. Кузнецовой [Вальков и др., 2004]. Обе эти шкалы давно используются в отечественном почвоведении. Их параметры представлены в табл. 1. При разработке критериев оценки структуры ненарушенных почв [Новых и др., 2024] в шкалу оценки СВ были внесены некоторые авторские изменения.

Таблица 1
Table 1

Ранжирование показателей для оценки структурно-агрегатного состава почв
и водоустойчивости структуры

Ranking of indicators for assessing the structural and aggregate composition of soils
and water resistance structure

| Параметр | Оценка состояния параметра и уровень деградации | | | | |
|-------------------|---|------------------------------------|--|--|--|
| | Отличное, деградация отсутствует | Хорошее, низкий уровень деградации | Удовлетворительное, средний уровень деградации | Неудовлетворительное, высокий уровень деградации | Плохое, очень высокий уровень деградации |
| Содержание АЦФ, % | > 80 | 60–80 | 40–60 | 20–40 | < 20 |
| СВ, % | 60–80 | 40–60, 80–85 | 20–40, 85–90 | 10–20, 90–95 | < 10, > 95 |

Особенностью используемых шкал является разный подход к оценке результатов «сухого» и «мокрого» просеивания: если содержание АЦФ может приближаться к 100 % и такое состояние не считается негативным, то СВ имеет верхний предел оптимальности и его превышение оценивается как неблагоприятный фактор качества водопрочности структуры. Такие представления обусловлены проявлением так называемой «ложной водопрочности» структуры [Гончаров, Шерматов, 2024], когда водопрочность агрегатов обусловлена не наличием органо-минеральных связей,держивающих структуру от разрушения, но связана, например, с труднорастворимыми соединениями Fe и Al, которые

образуют «контактные мостики». Такие образования непластичны, и при динамичном воздействии воды, легко разрушаются.

Авторские дополнения к оценке водоустойчивости структуры (см. табл. 1) состоят в следующем: при избыточно высокой водоустойчивости (содержание водоустойчивых агрегатов размером более 0,25 мм превышает 80 %) баллы деградации нарастают, как и при уменьшении содержания водоустойчивых агрегатов относительно оптимальных значений.

В табл. 2 приведены показатели, характеризующие структурно-агрегатный состав и водопрочность структуры почв исследуемых участков в слое 0–20 см. Верхний горизонт взят для анализа как подверженный наибольшему воздействию факторов окружающей среды.

Таблица 2
Table 2

Показатели структуры почвы и оценка степени деградации в слое 0–20 см
Soil structure indicators and assessment of the degradation degree in the 0–20 cm layer

| Участок | Г, % | П, % | АЦФ, % | Кс | СВ, % | Вс | Оценка степени деградации [Trofimova et al., 2018] |
|-----------------|------|------|--------|------|-------|------|--|
| 1. Коровино | 9 | 5 | 86 | 6,1 | 75 | 0,79 | Н |
| 2. Триречное | 20 | 2 | 78 | 3,5 | 80 | 0,81 | Сл |
| 3. Задельное | 9 | 3 | 88 | 7,3 | 75 | 0,78 | Н |
| 4. Быковка | 53 | 0 | 47 | 0,9 | 76 | 0,76 | С |
| 5. Сафоновка | 10 | 7 | 83 | 4,9 | 75 | 0,81 | Н |
| 6. Сухосолотино | 23 | 0 | 77 | 3,3 | 87 | 0,87 | Сл |
| 7. Жимолостное | 13 | 5 | 82 | 4,6 | 58 | 0,61 | Сл |
| 8. Рождественка | 25 | 1 | 74 | 2,8 | 77 | 0,78 | Сл |
| 9. Юрьевка | 7 | 2 | 91 | 10,1 | 40 | 0,41 | Н |
| 10 Ц. Целина | 29 | 6 | 65 | 1,9 | 75 | 0,80 | Сл |
| 10 П. Пашия | 52 | 5 | 43 | 0,8 | 68 | 0,72 | С |

Примечание: Цветом выделен уровень оценки показателей:

| | |
|----------------------|--|
| Состояние отличное | Деградация отсутствует (недеградированная почва) |
| Хорошее | Деградация низкая (слабодеградированная почва) |
| Удовлетворительное | Деградация средняя (среднедеградированная почва) |
| Неудовлетворительное | Деградация высокая (сильнодеградированная почва) |

Анализ табл. 2 позволяет предполагать, что наибольший интерес с точки зрения эталонности почвенной структуры представляют участки № 1, 3, 5, где все три оцениваемых параметра демонстрируют отсутствие деградации. Приближаются к ним участки № 2, 7, 8, 9, на которых один-два параметра показывают низкий уровень деградации структуры. Такая картина обнаружена и на целинном участке. Среди участков выделяется № 6 («Сухосолотино»), где средний уровень деградации водоустойчивости структуры обусловлен не снижением суммарной водопрочности, а ее аномальным повышением, что требует дополнительного рассмотрения причин такого явления.

Для выявления сходства в структуре почв отдельных участков по результатам кластерного анализа были построены дендрограммы распределения исследуемых почв по некоторым показателям. На рис. 3 представлено такое распределение по результатам «сухого» просеивания почвы (содержанию глыб, пыли и АЦФ). Цифры на оси абсцисс соответствуют номеру участка.

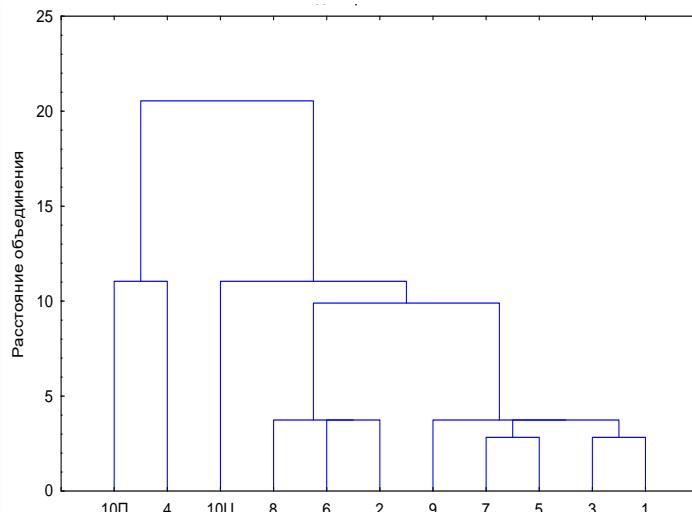


Рис. 3. Дендрограмма распределения изученных почв по особенностям структурно-агрегатного состава
Fig. 3. Dendrogram of the studied soils distribution based on the structural and aggregate composition features

Дендрограмма показывает, что структура почвы на участке «Быковка» близка к структуре почвы пахотного участка, эти два объекта образуют отдельный кластер. Остальные объекты дают единый сложный кластер, внутри которого обособляется целинный участок. Наиболее близкими значениями к нему характеризуются участки № 8 «Рождественка», № 6 «Сухосолотино» и № 2 «Триречное».

На рис. 4 показано распределение изученных почв по водоустойчивости структуры.

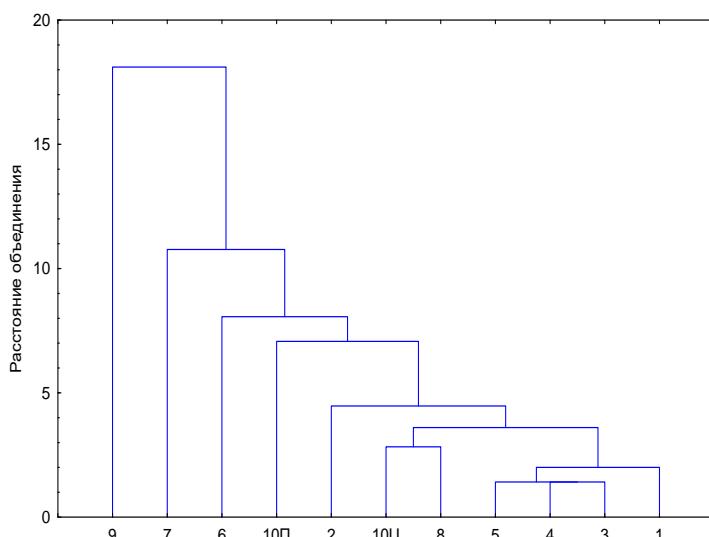


Рис. 4. Дендрограмма распределения изученных почв по водоустойчивости структуры
Fig. 4. Dendrogram of the studied soils distribution by water resistance of structure

По этому показателю закономерности иные: отдельный кластер образует участок № 9 «Юрьевка», где на фоне самого высокого содержания АЦФ проявляется слабая деградация водоустойчивости структуры; все остальные участки входят в состав многоуровневого кластера. Целинный участок по уровню водоустойчивости образует кластер с участком № 8 «Рождественка». Пониженный уровень водоустойчивости структуры (даже в сравнении с пашней) показывают участки «Юрьевка» и «Жимолостное».

В настоящее время как в зарубежном, так и в отечественном почвоведении общеприняты представления о том, что стабильность почвенных агрегатов поддерживается глиной и несколькими фракциями органического вещества почвы

[Šimkovic et al., 2025]. В то же время содержание органического вещества в почве не показывает четкой взаимосвязи с размерными фракциями почвы воздушно-сухих агрегатов, но существует прямая взаимосвязь между содержанием органического вещества и размерами водоустойчивых агрегатов [Холодов и др., 2019]. Авторами были проведены расчеты степени тесноты корреляционных связей между содержанием гумуса в исследуемых почвах и показателями содержания глыб, пыли и АЦФ, определенными по результатам «сухого просеивания» почвы, и СВ, рассчитанной по результатам «мокрого просеивания» почвы. При этом предполагалось, что все определенные параметры структуры зависят от содержания гумуса в почве, но направление связи будет различно: для АЦФ и СВ такая связь должна быть прямой, для глыб – отрицательной. В соответствии с существующими представлениями ожидалось наличие более тесной связи водоустойчивости с содержанием гумуса, чем содержания АЦФ и гумуса. Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3Оценка степени тесноты корреляционных связей
Evaluation of the correlation links closeness degree

| Анализируемые параметры | N | r | Направление и теснота корреляционной связи | D, % |
|---|-----|-------|--|------|
| Содержание гумуса – содержание АЦФ | 126 | 0,61 | Слабая положительная | 37 |
| Содержание гумуса – суммарная водопрочность | 126 | 0,61 | Слабая положительная | 37 |
| Содержание гумуса – содержание глыб | 126 | -0,57 | Слабая отрицательная | 32 |
| Содержание гумуса – содержание пыли | 126 | -0,15 | Коэффициент недостоверен, нет основания утверждать наличие связи | |

Примечание: N – объем корреляционного ряда; r – коэффициент корреляции; D – коэффициент детерминации.

Высказанные гипотезы частично подтвердились: обнаружена слабая прямая связь содержания гумуса с уровнем наличия АЦФ или величиной СВ. При этом теснота обеих связей одинакова. Коэффициент детерминации показывает, что варьирование содержания АЦФ и СВ на 37 % обусловлено распределением гумуса.

Доказана связь между содержанием гумуса и глыб: она слабая отрицательная; 32 % различий в глыбистости почвы определяется колебаниями содержания гумуса.

В то же время связь между содержанием гумуса и пыли не доказана. Возможно, это связано с очень низким содержанием пыли во многих образцах.

Заключение

Историко-картографический анализ дал возможность выделить участки старых сенокосов и/или выгонов, перспективных для использования в качестве эталонно-значимых почв на территории Белгородской области. Анализ структурно-агрегатного состава и водоустойчивости структуры почв таких участков позволяет отметить следующие их особенности и проблемы при изучении.

В почвенном покрове большинства изученных участков преобладают черноземы типичные. На участках «Триречное» и «Быковка» представлены черноземы выщелоченные. Для участков «Коровино» и «Сафоновка» характерно наличие обоих названных подтипов черноземов. Таким образом, почвы участков соответствуют преобладающим разностям почв области.

Предлагаемые системы оценки деградации почвенной структуры разработаны для пахотных почв, что затрудняет их применение для эталонно-значимых почв, у которых качество структуры зачастую выше, чем предлагаемые границы оптимальных значений. Эти системы противоречат друг другу, что затрудняет интерпретацию результатов, поэтому при оценке деградации структуры было отдано предпочтение тем вариантам оценок, где нет минимальных значений оптимума для содержания глыб и максимальных значений для содержания АЦФ.

По результатам «сухого просеивания» почвы можно утверждать, что выщелоченный чернозем участка № 4 «Быковка» не может выполнять функцию эталонно-значимого, т.к. особенности его структуры близки к структуре пахотного участка. Наибольший интерес с точки зрения эталонности почвенной структуры представляют участки № 1 «Коровино», № 3 «Задельное», № 5 «Сафоновка», где все три оцениваемых параметра (содержание АЦФ, глыб, СВ) демонстрируют отсутствие деградации почв. Приближаются к ним участки № 2 «Триречное» и № 8 «Рождественка», на которых один-два параметра показывают низкий уровень деградации структуры.

На участках № 7 «Жимолостное» и № 9 «Юрьевка» изучены типичные черноземы с пониженной водоустойчивостью структуры (ниже, чем у пахотного варианта чернозема), что не позволяет в полной мере рекомендовать эти участки в качестве эталонно-значимых по структуре почвы.

Результаты исследования подтверждают важную роль органических веществ в обеспечении ценной почвенной структуры: доказана слабая прямая связь между содержанием гумуса и содержанием АЦФ и между содержанием гумуса и СВ, а также слабая отрицательная связь между содержанием гумуса и содержанием глыб.

Для оценки физических (структурных) свойств почвы как эталонных важно, чтобы участок не только не пахался, но и меньше использовался как выгон. Щадящее сенокошение – этот тот тип использования, который позволяет сохранить эталонные структурные свойства почвы.

Список источников

- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. 1986. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М., Высшая школа, 416 с.
- Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И. 2004. Справочник по оценке почв. Майкоп, ГУРИПП «Адыгея», 236 с.
- Методические рекомендации по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. 2003. Под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. М., ФГНУ «Росинформагротех», 240 с.

Список литературы

- Белобров В.П., Юдин С.А., Ярославцев Н.В., Юдина А.В., Дридигер В.К., Стукалов Р.С., Ключев Н.Н., Замотаев И.В., Ермолаев Н.Р., Иванов А.Л., Холодов В.А. 2020. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве. Почвоведение, 7: 880–890. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20070023>
- Гончаров В.М., Шерметов Т. 2024. Устойчивость к механическому воздействию и водопрочность почвенных агрегатов. Science and Innovation, 3: 554–561.
- Касаткина Г.А., Федорова Н.Н., Русаков А.В. 2012. Почвы и почвенный покров заповедника «Белогорье». Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология, 1: 121–138.
- Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. 2014. Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов лесостепной зоны Европейской России в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. Почвоведение, 1: 71–81. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14010067>
- Лисецкий Ф.Н., Зеленская Е.Я. 2022. Ампелопедологические особенности географических районов виноградарства Крыма. Почвоведение, 12: 1540–1556. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600688>



- Медведев В.В. 2013. Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Прे-
дупреждение. Харьков, Городская типография, 324 с.
- Новых Л.Л., Елисеева Н.В., Слюсаренко Э.Е. 2024. Геоэкологическая оценка состояния почв сель-
скохозяйственных ландшафтов: перспективные подходы и показатели. Региональные гео-
системы, 48(3): 441–452. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-441-452>
- Сорокина М.В. 2018. Структурно-агрегатный состав и водопрочность почвы в зависимости от ин-
тенсивности обработки. Вестник сельского развития и социальной политики, 1(17): 20–22.
- Хитров Н.Б., Чечуева О.А. 1994. Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного со-
стояния почвы. Почвоведение, 2: 85–93.
- Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лаза-
рев В.И., Фрид А.С. 2019. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизон-
тах черноземов в различных условиях землепользования. Почвоведение, 2: 184–193.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>
- Ченdev Ю.Г., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Белеванцев В.Г. 2024. Нативные эталонно-
значимые черноземы в староосвоенной лесостепи: поиск сохранившихся ареалов и анализ
свойств. Известия Русского географического общества, 156(4): 391–408.
<https://doi.org/10.31857/S0869607124040107>
- Черныш А.Ф., Устинова А.М., Цырибко В.Б., Касьяненко И.И. 2016. Современное агрофизическое
состояние почв Центральной почвенно-экологической провинции. Почвоведение и агрохи-
мия, 1(56): 15–25.
- Hu W., Drewry J., Beare M., Eger A., Müller K. 2021. Compaction Induced Soil Structural Degradation
Affects Productivity and Environmental Outcomes: A Review and New Zealand Case Study.
Geoderma, 395: 115035. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115035>.
- Labaz B., Kabala C., Waroszewski J., Dudek M., Bogacz A., Gruszka D., Mlynek S. 2022. Medium-Term
Transformation of Chernozems Under Broadleaf Forests in the Temperate Climate of South-East
Poland. Geoderma Regional, 30: e00535. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00535>
- Novák T.J., Béni Á., Kremper R., Juhász E., Kincses I., Sándor Z., Tállai M., Kovács A.B. 2025. Trans-
formation of Chernozem by Increasing Land Use Intensity in Suburban Hajdúság, Eastern Hunga-
ry. Geoderma Regional, 40: e00920. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00920>
- Novykh L.L., Eliseeva N.V., Tesheva S.A., Voloshenko I.V., Slyusarenko E.E. 2022. Degradation of the
Structure of Meadow-Chernozem Soils in Different Eco-Industrial Conditions. IOP Conference Se-
ries: Earth And Environmental Science, 949: 012099.
- Pimenov V.E., Ponomarenko E.V., Chendev Yu.G., Ershova E.G., Dergacheva M.I., Smirnova M.A.
2025. Rodent Burrows in Chernozems as a Paleoarchive of Vegetation Dynamics: a Case Study
from the Central Chernozem Region of Russia. Geoderma Regional, 41: e00969.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00969>
- Rui L., Wenyu H., Zhongjun J., Hanqiang L., Chao Z., Biao H., Shunhua Y., Yuguo Z., Yongcun Z.,
Manoj K.S., Miguel A.T. 2025. Soil Degradation: A Global Threat to Sustainable Use of Black
Soils. Pedosphere, 35(1): 264–279. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.06.011>.
- Šimkovic I., Hrabovský A., Hamerníková A.J., Ihnačáková S., Dlapa P. 2025. Thermogravimetric Data
Suggest Synergy Between Different Organic Fractions and Clay in Soil Structure Formation.
Geoderma, 454: 117166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117166>
- Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskii V.A., Obraztsov V.N. 2018. Assessing the Degree of Physical
Degradation and Suitability of Chernozems for the Minimization of Basic Tillage. Eurasian Soil
Science, 51(9): 1080–1085. <https://doi.org/10.1134/S1064229318090120>

References

- Belobrov V.P., Yudin S.A., Yaroslavtsev N.V., Yudina A.V., Dridiger V.K., Stukalov R.S., Klyuev N.N.,
Zamotaev I.V., Ermolaev N.R., Ivanov A.L., Kholodov V.A. 2020. Changes in Physical Properties
of Chernozems Under the Impact of No-Till Technology. Eurasian Soil Science, 53(7): 968–977
(in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229320070029>
- Goncharov V.M., Shermetov T. 2024. Resistance to Mechanical Impact and Water Resistance of Soil
Aggregates. Science and Innovation, 3: 554–561 (in Russian).

- Kasatkina G.A., Fedorova N.N., Rusakov A.V. 2012. Soils and the Soil Cover of the Reserved Area "Belgor'e". *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 3. Biology*, 1: 121–138 (in Russian).
- Kuznetsova I.V., Utkaeva V.F., Bondarev A.G. 2014. Normativy izmeneniya fizicheskikh svoystv pakhotnykh chernozemov lesostepnoy zony Evropeyskoy Rossii v usloviyakh intensivnogo sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Standards for Changes in the Physical Properties of Arable Chernozems in the Forest-Steppe Zone of European Russia Under Conditions of Intensive Agricultural Use]. *Pochvovedenie*, 1: 71–81. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14010067>
- Lisetskii F.N., Zelenskaya E.Ya. 2022. Ampelopedological Peculiarities of Geographical Areas of Crimea Viticulture. *Eurasian Soil Science*, 55(12): 1813–1828 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/s1064229322700065>.
- Medvedev V.V. 2013. Physical Degradation of Chernozems. Diagnosis. The reasons. Consequences. The Prevention. Kharkiv, The City printing house, 324 p. (in Russian).
- Novykh L.L., Eliseeva N.V., Slyusarenko E.E. 2024. Geoecological Assessment of Soil Conditions in Agricultural Landscapes: Perspective Approaches and Indicators. *Regional Geosystems*, 48(3): 441–452 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-441-452>
- Sorokina M.V. 2018. Structural-Aggregate Composition and Water Resistance of the Soil Depending on the Intensity of Treatment. *Vestnik selskogo razvitiya i sotsialnoy politiki*, 1(17): 20–22 (in Russian).
- Khitrov N.B., Chechueva O.A. 1994. Sposob interpretatsii dannykh makro- i mikrostrukturnogo sostoyaniya pochvy [Method of Interpreting Data on the Macro- and Microstructural State of the Soil]. *Pochvovedenie*, 2: 85–93.
- Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiev A.Ya., Lazarev V.I., Frid A.S. 2019. Changes in the Ratio of Aggregate Fractions in Humus Horizons of Chernozems in Response to the Type of Their Use. *Eurasian Soil Science*, 52(2): 162–170 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229319020066>
- Chendev Yu.G., Smirnova M.A., Gennadiev A.N., Belevantsev V.G. 2024. Benchmark Native Chernozems in the Old-Settled Forest-Steppe: Search for Remaining Areas and Properties Analysis. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 156(4): 391–408 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869607124040107>
- Chernysh A.F., Ustinova A.M., Tsyrubko V.B., Kas'yanenko I.I. 2016. Current State of Agrophysical Properties of Soils of Belorussian Ridge. *Soil Science and Agrochemistry*, 1(56): 15–25 (in Russian).
- Hu W., Drewry J., Beare M., Eger A., Müller K. 2021. Compaction Induced Soil Structural Degradation Affects Productivity and Environmental Outcomes: A Review and New Zealand Case Study. *Geoderma*, 395: 115035. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115035>.
- Labaz B., Kabala C., Waroszewski J., Dudek M., Bogacz A., Gruszka D., Mlynek S. 2022. Medium-Term Transformation of Chernozems Under Broadleaf Forests in the Temperate Climate of South-East Poland. *Geoderma Regional*, 30: e00535. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00535>
- Novák T.J., Béni Á., Kremper R., Juhász E., Kincses I., Sándor Z., Tállai M., Kovács A.B. 2025. Transformation of Chernozem by Increasing Land Use Intensity in Suburban Hajdúság, Eastern Hungary. *Geoderma Regional*, 40: e00920. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00920>
- Novykh L.L., Eliseeva N.V., Tesheva S.A., Voloshenko I.V., Slyusarenko E.E. 2022. Degradation of the Structure of Meadow-Chernozem Soils in Different Eco-Industrial Conditions. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 949: 012099.
- Pimenov V.E., Ponomarenko E.V., Chendev Yu.G., Ershova E.G., Dergacheva M.I., Smirnova M.A. 2025. Rodent Burrows in Chernozems as a Paleoarchive of Vegetation Dynamics: a Case Study from the Central Chernozem Region of Russia. *Geoderma Regional*, 41: e00969. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00969>
- Rui L., Wenyu H., Zhongjun J., Hanqiang L., Chao Z., Biao H., Shunhua Y., Yuguo Z., Yongcun Z., Manoj K.S., Miguel A.T. 2025. Soil Degradation: A Global Threat to Sustainable Use of Black Soils. *Pedosphere*, 35(1): 264–279. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.06.011>.
- Šimkovic I., Hrabovský A., Hamerníková A.J., Ihnačáková S., Dlapa P. 2025. Thermogravimetric Data Suggest Synergy Between Different Organic Fractions and Clay in Soil Structure Formation. *Geoderma*, 454: 117166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117166>
- Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskii V.A., Obraztsov V.N. 2018. Assessing the Degree of Physical Degradation and Suitability of Chernozems for the Minimization of Basic Tillage. *Eurasian Soil Science*, 51(9): 1080–1085. <https://doi.org/10.1134/S1064229318090120>



Поступила в редакцию 11.07.2025;
поступила после рецензирования 19.09.2025;
принята к публикации 06.10.2025

Received July 11, 2025;
Revised September 19, 2025;
Accepted October 06, 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

Новых Лариса Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, Институт наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ченdev Юрий Георгиевич, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, Институт наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Нарожняя Анастасия Григорьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Институт наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Larisa L. Novykh, Candidate of Sciences in Biology, Associate Professor of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Yuri G. Chendev, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Anastasia G. Narozhnyaya Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 631.47(571.54):528.9
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-5
EDN JYWPLS

Почвы Трёхголового гольца (Прибайкалье)

Лопатина Д.Н.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
daryaneu@mail.ru

Аннотация. В рамках исследования проведены детальные полевые описания почвенных профилей Трёхголового гольца (Приморский хребет, Прибайкалье), а также выполнен отбор почвенных образцов для последующего химического анализа. Диагностика почв выполнялась с применением методологий, изложенных в классификации почв под редакцией Л.Л. Шишова и соавторов, дополненной данными онлайн-ресурса «Классификация почв России». Составлен систематический перечень почвенных типов, выявленных на территории Трёхголового гольца и прилегающих участках. Разработана картографическая схема пространственного распределения почвенных комбинаций исследуемой области. Проведены химические исследования, включающие определение содержания органического вещества (гумуса), значений pH и гранулометрического состава почвенных проб. В статье представлены результаты анализа на некоторых ключевых контрольных площадках. Основная часть территории исследования характеризуется присутствием участков, подвергшихся воздействию лесных пожаров различных лет. Воздействие пожаров оказывает значительное влияние на горные почвы Прибайкалья: в почвенном профиле, пострадавшем от огня, наблюдается деградация гумусового горизонта, увеличение концентрации минеральных и зольных компонентов; процессы пирогенеза способствуют активизации эрозионных явлений на склонах гор.

Ключевые слова: пространственное распределение почв, пирогенные почвы, лесные пожары, гумус, гранулометрический состав, Трёхголовый голец, Прибайкалье

Благодарности: исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7 (№ FWEM-2021-0002)).

Для цитирования: Лопатина Д.Н. 2025. Почвы Трёхголового гольца (Прибайкалье). Региональные геосистемы, 49(4): 711–722. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-5 EDN: JYWPLS

Soils of Mount Tryokhgolovy Golets (Baikal Region)

Daria N. Lopatina

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS,
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia,
daryaneu@mail.ru

Abstract. In the course of the research, we provided detailed field morphological descriptions of the soils of Mount Tryokhgolovy Golets (Primorsky Ridge, Baikal region) and selected soil samples for chemical analyses. The soil diagnostics was performed using the “Classification and Diagnostics of Soils of Russia”, as well as the “Classification of Soils of Russia” website. A systematic list of the soils of the mountain under study and the surrounding area has been compiled. We have created a scheme of spatial distribution of soils of Mount Tryokhgolovy Golets. Analyses allowed us to determine the humus content, pH, and the granulometric composition of the soils. Results for some indicative key sites are presented in the article. The study area mainly consists of places affected to varying degrees by forest fires of different years. Forest fires have an impact on the soils of the Baikal mountains: in the soil that has been exposed to a forest fire, the humus layer burns out, the concentration of ash elements increases, pyrogenesis can enhance erosion processes in the mountains.

© Лопатина Д.Н., 2025

Keywords: spatial distribution of soils, pyrogenic soils, forest fires, humus, granulometric composition, Mount Tryokhgolovy Golets, Baikal region

Acknowledgements: The study was carried out at the expense of state assignment No. AAAA-A21-121012190055-7 (No. FWEM-2021-0002).

For citation: Lopatina D.N. 2025. Soils of Mount Tryokhgolovy Golets (Baikal Region). Regional Geosystems, 49(4): 711–722 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-5 EDN: JYWPLS

Введение

Приморский хребет обрамляет Байкальскую котловину с западной стороны. Наивысшей точкой Приморского хребта является Трёхголовый голец (1728 м), а в основном, средние высоты других вершин хребта варьируют от 900 до 1000 м. Ландшафт Приморского хребта характеризуется отчётливой высотной поясностью, где выделяются гольцовый, подгольцовый, таёжный и лугово-степной пояса. Район отличается расчленённостью рельефа: самые большие ущелья созданы реками Сарма, Анга, Голоустная и Большая Бугульдейка. Восточный склон хребта имеет значительную крутизну, а западный – более выровненный рельеф.

Почвообразующие породы района представлены протерозойскими песчаниками, кристаллическими сланцами, гнейсами, мраморами, известняками и другими горными породами. Распространён карст [The ecological..., 2015].

Несмотря на то, что основная часть хребта находится в составе Прибайкальского национального парка, побережье озера Байкал и предгорья Приморского хребта постоянно подвергаются воздействию человека. Большой ежегодный поток туристов (как зимой, так и летом) приносит с собой загрязнение окружающей среды, а лесные пожары (естественного или антропогенного происхождения) наносят ущерб значительным массивам лесного покрова в горах Прибайкалья. На территории Приморского хребта в ряде участков наблюдаются обширные площадки выгоревших лесов и поваленных деревьев. В 2015 году на склонах Приморского хребта произошла серия интенсивных лесных пожаров, в результате которых большая часть лесного массива была уничтожена, что привело к существенным изменениям в ландшафтной структуре территории. Согласно средним показателям пожарной опасности, приведённым в исследовании А.П. Софонова и соавторов [1999], Приморский хребет отнесён к району с периодичностью пожаров в пределах 0,1–0,5 на 100 тыс. га в сезон. По данным И.Н. Биличенко [2018], значительная часть ландшафтов Приморского хребта находится в состоянии сильных нарушений вследствие недавнего воздействия лесных пожаров или рубок. Лесные пожары оказывают существенное влияние на все элементы ландшафта. Поскольку почвы являются ключевым компонентом ландшафтной системы, они также претерпевают изменения под воздействием огня [Boldanova, Davydova, 2019]. Пирогенез, как естественного, так и антропогенного происхождения, влияет на свойства почв в таёжных и горных экосистемах, способствуя развитию эрозионных процессов и изменению почвенной устойчивости в горных условиях.

Влияние лесного пожара на свойства почв

Лесные пожары представляют собой значительный фактор, оказывающий воздействие на почвы. В зависимости от интенсивности, продолжительности и частоты возгораний, изменения могут носить как временный, так и необратимый характер. Почва, являясь важным компонентом биогеоценозов, подвергается физическим, химическим и биологическим трансформациям, что влечет за собой необходимость восстановления растительности, гидрологического режима и биоразнообразия.

Одним из наиболее заметных последствий лесных пожаров является изменение физических свойств почвы. Под воздействием огня, высоких температур происходит:

1. Деградация структуры почвы – разрушение почвенных агрегатов вследствие выгорания органического вещества, что приводит к уплотнению верхних горизонтов и снижению пористости.

2. Формирование гидрофобного слоя – при воздействии высоких температур органические соединения испаряются и конденсируются в более глубоких слоях, создавая водоотталкивающий эффект. Это ухудшает инфильтрацию воды и увеличивает риск эрозии.

3. Изменение теплового режима – уменьшение растительного покрова приводит к усиленному нагреву поверхности и колебаниям температуры.

Лесные пожары существенно меняют химический состав почвы:

1. Потери органического углерода – сгорание подстилки и гумуса снижает содержание органического вещества, что влияет на плодородие (рис. 1).

2. Изменение pH – зольные остатки, богатые щелочными металлами (Ca, K, Mg), могут временно повышать pH, особенно в кислых почвах. Однако в долгосрочной перспективе вымывание этих элементов приводит к подкислению.

3. Выделение питательных элементов – несмотря на минерализацию азота и фосфора, их доступность для растений часто снижается из-за испарения и выгорания.

4. Накопление токсичных соединений – при высокотемпературном воздействии возможно образование полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и тяжёлых металлов, особенно в районах с антропогенным загрязнением.

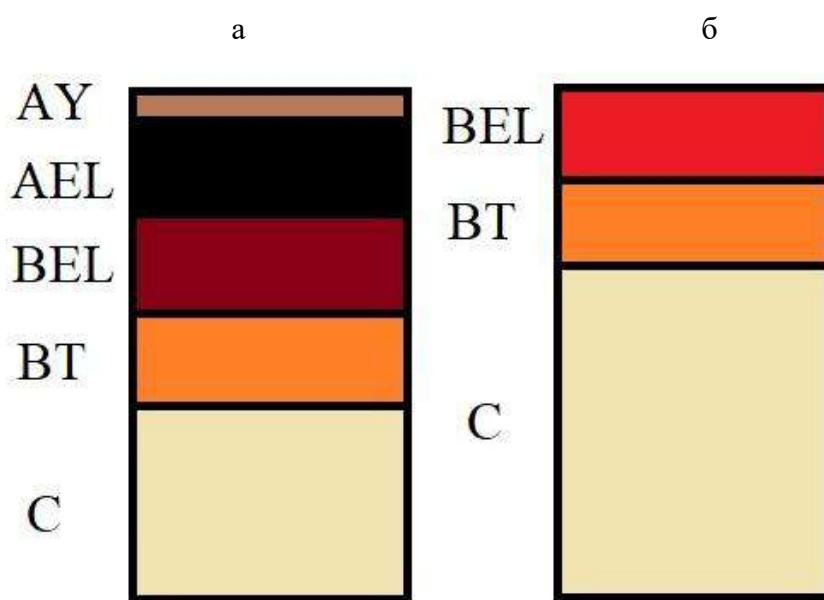


Рис. 1. Профиль серой типичной почвы: а – до воздействия лесного пожара; б – после воздействия лесного пожара

Fig. 1. Profile of the gray surface: a – before the impact of a forest fire; б – after the effects of a forest fire

Микробиота и почвенная фауна крайне чувствительны к термическому стрессу:

1. Гибель микроорганизмов – при температуре выше 60 °C погибает значительная часть бактерий и грибов, участвующих в разложении органики и круговороте элементов.

2. Изменение биоразнообразия – пирогенные условия способствуют развитию термофильных и огнеустойчивых видов, что меняет структуру микробных сообществ.

3. Нарушение симбиотических связей – гибель микоризных грибов замедляет восстановление растительности.

Объекты и методы исследования

Для изучения особенностей распределения почв на территории Трёхголового гольца был проведён анализ факторов дифференциации почвенного покрова, включая рельеф (экспозиция склонов), микроклимата, высоты над уровнем моря и типов растительности. Данный анализ проводился как визуально на местности, так и при помощи топографических карт, космических снимков и карт растительности. Применён метод ландшафтной индикации, который позволил на основе отдельных точечных наблюдений перейти к интерпретации ареалов распространения почв. Использование топографических карт обеспечило учёт таких параметров, как водоразделы, склоны различной экспозиции и высотные показатели. Кроме того, были использованы данные дистанционного зондирования Земли (космические снимки) [LandsatLookViewer..., 2025; SRTM..., 2025], а также полевые точки и морфологические описания почвенных профилей. В итоге представлена схема распределения почв Трёхголового гольца и прилегающих территорий, выполненная с использованием программного обеспечения *Quantum GIS*.

Полевая диагностика почв, описания почвенных профилей, отбор образцов производились по известным методикам [Теория и практика..., 2006]. Было заложено более двадцати ключевых площадок и несколько небольших прикопок. Перед полевыми исследованиями создавалась полевая схема планируемых площадок, целью которой было охватить все встречающиеся типы ландшафтов с разной растительностью и степенью поражения лесным пожаром (или без такового). Для построения схемы распространения почв были использованы не только полевые данные, но и данные других карт и космоснимков.

Идентификация типов почв базировалась на морфологических описаниях, полученных в ходе полевых наблюдений, и осуществлялась с использованием классификационных принципов, разработанных Л.Л. Шишовым и коллегами [2004], а также с применением данных онлайн-ресурса «Классификация почв России» [2025] и иных специализированных источников [Milne, 1935; Thorp, Baldwin, 1938; Bushnell, 1942; Speidel, Agnew, 1982; Miller, Schaetzl, 1993; Doerr et al., 2000; Воробьева, 2009; 2010; Brevik et al., 2016; Potential..., 2024].

Подготовка и последующий анализ почвенных образцов осуществлялись в ХАЦ ИГ СО РАН при соблюдении общепринятых классических методик. Значения pH водной вытяжки получены потенциометрическим методом в лабораторных условиях (метод базируется на измерении разности (эта разность – pH) потенциалов между электродом, который чувствителен к ионам водорода, и сравнительным электродом).

Содержание органического углерода (Сорг) определялось методом мокрого сжигания, согласно методике И.В. Тюрина (метод базируется на том, что органическое вещество окисляется в серной кислоте раствором хромовой смеси).

Анализ гранулометрического состава проводился по методу Качинского [Теория и практика..., 2006].

Результаты и их обсуждение

В соответствии с почвенно-экологическим районированием [Belozerseva et al., 2015], для почв данной территории характерна средняя глубина горизонта, легкий грансостав, величины pH близкие к нейтральным. Здесь сформированы промерзающие почвы с дефицитом влаги, невысоким уровнем плодородия.

В ходе исследования составлен перечень почв, выявленных на исследуемой территории (табл. 1). Установлено наличие трёх стволов, восьми отделов, двадцати трёх типов и двадцати восьми подтипов почв, что отражает высокую почвенную разнообразность региона. Здесь встречаются типы почв как характерные, так и не являющиеся характерными для зоны тайги.

Таблица 1
Table 1Систематический список почв Приморского хребта (Трёхголовый голец)
Systematic list of soils of the Primorsky Ridge (Mount Tryokhgolovy Golets)

| Ствол | Отдел | Тип | Подтип |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Постлитогенный | Литозёмы | Карболитозёмы | Перегнойно-тёмногумусовые |
| | | Литозёмы | Типичные |
| | | Литозёмы грунтовые | Типичные |
| | | Литозёмы перегнойные | Типичные |
| | Текстурно-дифференцированные | Серые | Типичные |
| | | | Типичные пирогенные |
| | | Подзолистые | Типичные |
| | | | Типичные пирогенные |
| | | Дерново-подзолистые | Типичные |
| | | | Типичные пирогенные |
| | | Дерново-подзолисто-глеевые | Типичные |
| | Альфегумусовые | Торфяно-подзолы | Иллювиально-железистые |
| | | Подбуры | Иллювиально-железистые |
| | | Торфяно-подбуры глеевые | Иллювиально-железистые |
| | | Подзолы | Иллювиально-железистые |
| | | | Типичные пирогенные |
| | | Криогенные почвы | Типичные |
| | | Органо-аккумулятивные | Серогумусовые |
| | | | Тёмногумусовые |
| | | | Светлогумусовые |
| | Палево-метаморфические | Криоаридные | Типичные |
| Синлитогенный | Аллювиальные почвы | Аллювиальные гумусовые | Типичные |
| | | | Глееватые |
| | | Аллювиальные перегнойно-глеевые | Типичные |
| | | Аллювиальные торфяно-глеевые | Типичные |
| | | Аллювиальные тёмногумусовые | Типичные |
| Первичного почвообразования | Слаборазвитые почвы | Слоисто-аллювиальные гумусовые | Типичные |
| | | Петрозёмы | Типичные |

Представлена схема пространственного распределения почв на территории исследования с учетом некоторых факторов почвообразования (рис. 2).

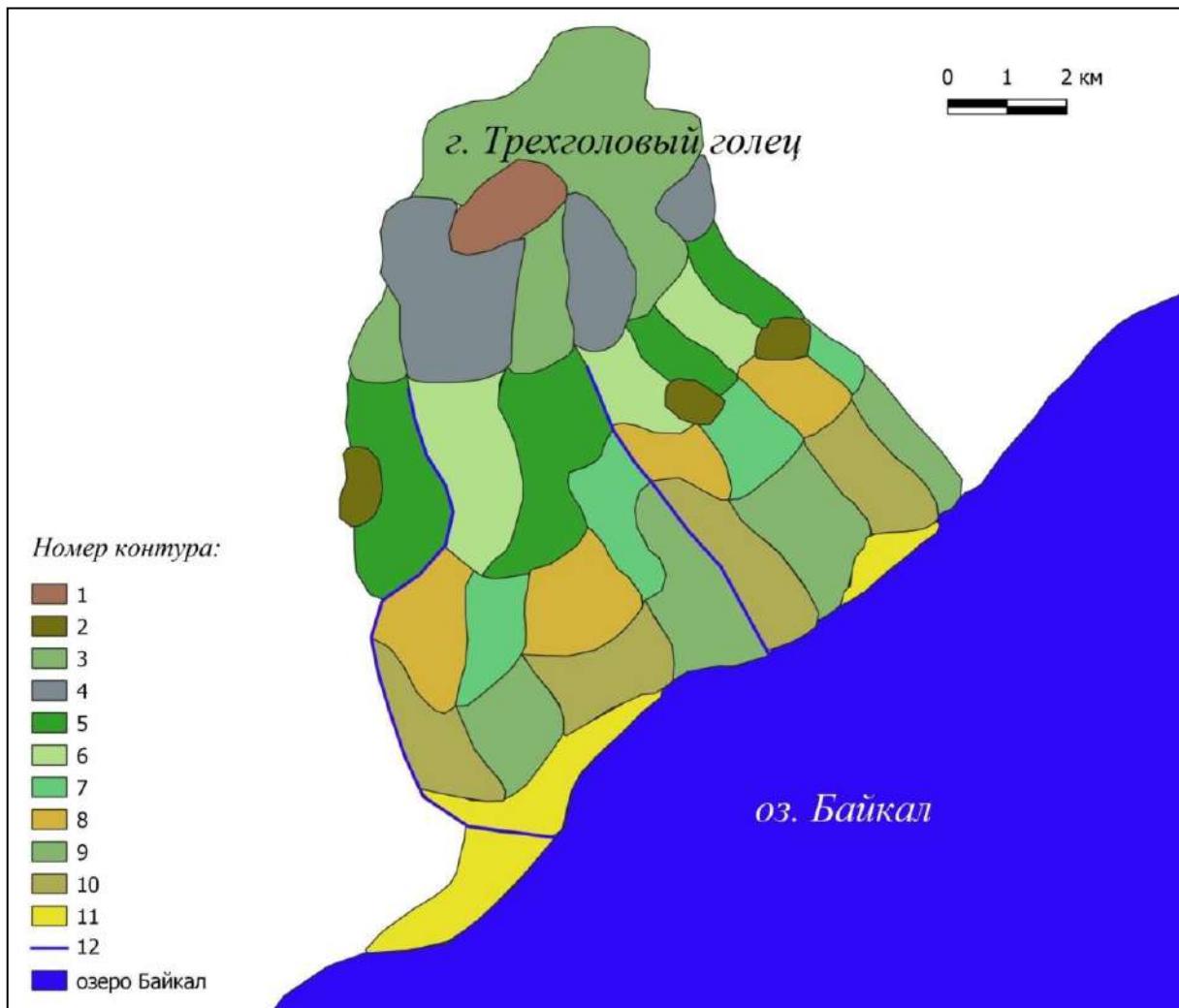


Рис. 2. Схема пространственного распределения почв Приморского хребта (Трёхголовый гольц)
Fig. 2. The scheme of spatial distribution of soils of the Primorsky ridge (Mount Tryokhgolovy Golets)

Легенда к схеме почв Трёхголового гольца
The legend of Mount Tryokhgolovy Golets soil scheme

| № контура | Типы почв | | | Основные факторы почвообразования | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|---|-----------------------------------|------------|---|
| | Основные | Сопутствующие | Редко встречающиеся | Высота над уровнем моря, м | Рельеф | Растительность |
| Почвы водораздельных поверхностей | | | | | | |
| 1 | Петрозёмы | Литозёмы грубогумусовые | Обнажения коренных пород, карбонатизированные | От 1700 | Водораздел | Отсутствует, фрагментарно разреженная травяно-кустарниковая |
| 2 | Литозёмы перегнойные | Литозёмы грубогумусовые | Обнажения коренных пород, подзолы | 1700–1500 | | Ериковая с кедровым стлаником брусличная и лишайниковая |

Окончание таблицы
 End of the table

| Почвы склонов | | | | | | |
|--------------------|--|---------------------------------|--|-----------|--|--|
| 3 | Торфяно-подзолы | Торфяно-криозёмы | Торфяно-подбуры глеевые иллювиально-железистые | 1500–1700 | Склон северной экспозиции | кедровые, лиственнично-кедровые тёмнохвойные леса и их восстановительные серии |
| 4 | Подбуры иллювиально-железистые | Литозёмы | Литозёмы грубогумусовые | 1500–1700 | Склон южной экспозиции | Лиственничное редколесье, подрост берёзы, кедра, кедровый стланик, ерник |
| 5 | Подзолы пирогенные | Дерново-подзолисто-глеевые | Подзолистые | 1200–1500 | Склон северной экспозиции | Кедровые и лиственнично-кедровые кустарниково мохово-лишайниковые редколесья |
| 6 | Подзолистые | Подзолистые типичные пирогенные | Дерново-подзолистые типичные | 1200–1500 | Склон южной экспозиции | Лиственничный разряженный кустарниково-разнотравный лес |
| 7 | Подзолистые пирогенные | Дерново-подзолистые пирогенные | Подзолистые | 1000–1200 | Склон северной экспозиции | Кедр, лиственница, шиповник, иван-чай на месте старой гари с бурным травяно-кустарниковым покровом |
| 8 | Дерново-подзолистые пирогенные | Дерново-подзолистые | Серые пирогенные | 1000–1200 | Склон южной экспозиции | Сосновые и лиственнично-сосновые кустарничковые травяные леса |
| 9 | Дерново-подзолистые | Подзолистые | Подбуры | 600–1000 | Склон северной экспозиции | Сосново-лиственничные чернично-травяно-зеленомошные, лиственнично-сосновые кустарничковые травяные леса |
| 10 | Тёмногумусовые | Серогумусовые | Криоаридные, серые | 600–1000 | Склон южной экспозиции | Сосново-лиственничный лес, полынно-разнотравный оステнённый луг, типчаковые и мятыковые, иногда смешанные мелкодерновинно-злаковые степи |
| 11 | Серогумусовые | Тёмногумусовые | Светлогумусовые | 500–600 | Прислоновая выровненная поверхность, побережье | Предгорные сухие степи, оステненные луга. Типчаково-разнотравная степь, злаково-разнотравная степь, разнотравный оステнённый луг |
| Почвы речных долин | | | | | | |
| 12 | Аллювиальная гумусовая, аллювиальная торфяно-глеевая | Аллювиальная тёмногумусовая | Слоисто-аллювиальная гумусовая, аллювиальная перегнойно-гелеевая | | Разнообразный | Злаково-разнотравный луг, оステнённый луг, осоково-разнотравный луг, лугово-болотные ландшафты |

Таким образом, на водораздельных участках выше 1700 м под разреженной травяно-кустарничковой растительностью формируются различные типы почв, включая петрозёмы и литозёмы, а также часто встречаются выходы коренных пород. На высотах 1500–1700 м под ерниковой растительностью с кедровым стлаником и лишайниками выявлены литозёмы различных типов, подзолы и оголённые породы встречаются реже.

На северных склонах той же высоты под тёмнохвойными лесами развиты торфяно-подзолы и торфяно-криозёмы, на южных склонах – иллювиально-железистые подбуры и литозёмы. На северных склонах высотой 1200–1500 м под редколесьями отмечаются пирогенные подзолы и дерново-подзолисто-глеевые почвы. Под южной экспозицией на тех же высотах формируются подзолистые почвы разного типа, включая пирогенные и дерново-подзолистые.

На северных склонах высотой 1000–1200 м под кедром, лиственницей и кустарниковыми растениями преобладают подзолистые пирогенные и дерново-подзолистые пирогенные почвы, с редкими подзолистыми. На южных склонах в тех же высотах под сосновыми и лиственнично-сосновыми лесами формируются дерново-подзолистые пирогенные и дерново-подзолистые почвы, серые пирогенные встречаются редко. На северных склонах 600–1000 м под смешанными лесами часто встречаются дерново-подзолистые и подзолистые почвы, иногда подбуры. На южных склонах формируются темно- и серогумусовые почвы с редкими криоаридными и серыми. На прилегающих плоских участках у озера Байкал на 500–600 м под предгорными степями и лугами встречаются серогумусовые и тёмногумусовые почвы, редко светлогумусовые.

В речных долинах, под злаково-разнотравными, остепнёнными, осоково-разнотравными лугами, а также лугово-болотными ландшафтами формируются различные типы почв: аллювиальные гумусовые, аллювиально-торфяно-глеевые, аллювиальные тёмногумусовые, с редкими встречами слоисто-аллювиальных гумусовых и аллювиально-перегнойно-глеевых почв.

Почвенные образцы были собраны в различных ландшафтных типах и почвенных формациях Трёхголового гольца. В настоящей статье рассматриваются несколько ключевых экспериментальных площадок.

Анализ естественных дерново-подзолистых почв выявил высокое содержание гумуса в верхних почвенных горизонтах. Для подзолистых почв характерно низкое природное содержание гумуса, тогда как пирогенные подзолистые почвы характеризуются уровнем гумуса в пределах 4,29. В подбура иллювиально-железистом обнаружено пониженное содержание гумуса, что обусловлено специфическими естественными особенностями данного почвенного типа (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Реакция среды и содержание гумуса в верхних горизонтах почв
Приморского хребта (Трёхголовый голец)
The reaction of the environment and the humus content in the upper horizons of the soils
of the Primorsky Ridge (Mount Tryokhgolovy Golets)

| Номер образца | Местоположение | Почва | Глубина взятия образца, см | Название по гран. составу | pH | Содержание гумуса, % |
|---------------|---|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----|----------------------|
| T 11 | Поверхность вблизи вершины Трёхголового гольца, высота 1560 м | Подбур иллювиально-железистый | 5–15 | Супесь | 6,5 | 3,75 |
| T 15 | Пологий склон на границе леса (гарь) | Подзолистая пирогенная | 4–10 | Суглинок средний | 7,5 | 4,29 |
| T 17 | Продуваемая пологая седловина, южная экспозиция | Дерново-подзолистая | 6–15 | Суглинок лёгкий | 5,3 | 6,29 |
| T 18 | Присклоновая поверхность к долине р. Улан-Хан, южная экспозиция | Дерново-подзолистая | 5–15 | Супесь | 5,6 | 6,75 |

Исследуемые почвы преимущественно характеризуются лёгким гранулометрическим составом (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Гранулометрический состав верхних горизонтов почв Приморского хребта (Трёхголовый голец)
Granulometric composition of the upper horizons of the soils of the Primorsky Ridge
(Mount Tryokhgolovy Golets)

| Номер образца | Фракции | | | | | |
|---------------|---------|-----------|-----------|------------|-------------|---------|
| | 1–0,25 | 0,25–0,05 | 0,05–0,01 | 0,01–0,005 | 0,005–0,001 | < 0,001 |
| T 11 | 22,7 | 30,7 | 30,9 | 6,4 | 3,7 | 5,4 |
| T 15 | 13,5 | 50,8 | 5,2 | 10,8 | 7,3 | 12,1 |
| T 17 | 13,3 | 39,9 | 24,4 | 6,9 | 6,8 | 8,5 |
| T 18 | 24,5 | 34,0 | 24,2 | 4,4 | 4,2 | 8,4 |

В образце почвы-подбура естественное содержание гумуса низкое, как и в пирогенной почве, где слой гумуса выгорел или был повреждён вследствие лесного пожара. В естественных дерново-подзолистых почвах на южных склонах выявлено достаточно высокое количество гумуса.

Исследованные образцы характеризуются легким гранулометрическим составом. Преобладают крупные или средние размеры фракций.

Следует отметить, что на исследуемой территории, в почвах, распространённых на горных склонах, на высотах от 1000 до 1500 м, повсеместно выявляются признаки возникновения лесных пожаров, относящихся к различным временными периодам. В пирогенных почвах в профильных разрезах обнаруживаются включения горелой древесной растительности в виде частиц угля. На покатых и крутых склонах в некоторых участках после пожаров формируются ветровальные завалы, что способствует усилиению эрозионных процессов.

Заключение

В рамках данного исследования была выполнена классификация почвенного покрова района Трёхголового гольца и прилегающих территорий. В результате определено 3 почвенных ствола, 8 отделов, 23 типа и 28 подтипов почв.

На основании полевых исследований и разработанной схемы распределения почв Трёхголового гольца выявлена ярко выраженная высотная поясность в структуре почвенного покрова. Разнообразие почв обусловлено совокупностью факторов почвообразования, включая рельеф (водораздельные участки, склоны с различной экспозицией), растительный покров и высоту расположения местности. В речных долинах доминируют аллювиальные гумусовые, аллювиально-торфяно-глеевые, аллювиально-тёмногумусовые и слоисто-аллювиально-гумусовые почвы, в пониженных рельефных формах – аллювиально-перегнойно-глеевые почвы. Почвенный покров склонов представлен подтипами дерново-подзолистых, подзолистых и подзоловых почв. В гольцовом поясе преобладают литозёмы грубогумусовые, петрозёмы и перегнойные литозёмы. Почвы подгольцовского пояса характеризуются распространением торфяно-подзолистых, подбуровых, торфяно-криоземных и литозёмных типов.

Следует сказать, что значительная часть ландшафтов исследуемой территории на высотах 1000–1500 м подверглась трансформациям вследствие серии лесных пожаров, произошедших в 2015 году.

Анализ исследованных почвенных образцов выявил лёгкий гранулометрический состав, это означает, что в почвах Трёхголового гольца выявляется большое количество

частиц супесей и песков средних или крупных размеров. Через почвы данного грансостава легко проникают воздух и вода, но также они более склонны к эрозионным процессам, особенно при условии, что рельеф наклонный и склоны достаточно крутые. Содержание гумуса в верхних горизонтах почв, не подвергшихся воздействию пожаров, остается достаточно высоким, особенно на южных склонах в дерново-подзолистых почвах. Минимальные уровни гумуса характерны для естественных подбров и пирогенных почв. Территории, пострадавшие от лесных пожаров, демонстрируют значительно пониженное содержание гумуса по сравнению с естественными аналогами.

Лесные пожары оказывают значительное воздействие на почвы, приводя к краткосрочным и долгосрочным изменениям их свойств. Интенсивность этих процессов зависит от типа пожара (верховой или низовой), погодных условий и исходных характеристик почвы.

Полученные результаты обосновывают необходимость проведения дальнейших исследований. Рекомендуется осуществлять регулярный мониторинг изучаемой территории с целью оценки динамики восстановления ландшафта и почвенных компонентов после воздействия лесных пожаров. Для минимизации негативных последствий необходимы меры по восстановлению (предотвращающие эрозию), внесение органических удобрений, если это необходимо, и контроль за динамикой сукцессионных процессов.

Список источников

- Воробьева Г.А. 2009. Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск, Издательство Иркутского государственного университета, 149 с.
- Классификация почв России. Электронный ресурс. URL: <http://soils.narod.ru/> (дата обращения: 04.03.2025).
- LandsatLookViewer. Electronic resource. URL: <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html> (date of access: 3.03.2025).
- Potential accumulation of toxic trace elements in soils during enhanced rock weathering. Electronic resource. URL: <http://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejss.13343> (date of access 27.12.2024).
- SRTM Tile Grabber. Electronic resource. URL: <http://dwtkns.com/srtm/> (date of access: 3.03.2025).
- The ecological Atlas of the Baikal basin. 2015. Irkutsk, IG SB RAS, 145 p.

Список литературы

- Биличенко И.Н. 2018. Роль пирогенного фактора в формировании ландшафтной структуры Байкальской природной территории. В кн.: Ландшафтная география в XXI веке. Международная научная конференция, Симферополь, 11–14 сентября 2018. Симферополь, Ареал: 244–247.
- Воробьева Г.А. 2010. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск, Издательство Иркутского государственного университета, 205 с.
- Софронов М.А., Антропов В.Ф., Волокитина Ф.В. 1999. Пирологическая характеристика растительности бассейна озера Байкал. География и природные ресурсы, 2: 52–58.
- Теория и практика химического анализа почв. 2006. Под ред. Л.А. Воробьевой. М., ГЕОС, 400 с.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, Ойкумена, 341 с.
- Belozertseva I.A., Dorygotev D., Sorokovoy A.A. 2015. Soils of Pool of Lake Baikal and Soil-Ecological Zoning in Territory of Russia and Mongolia. SYLWAN, 159(8): 319–332.
- Brevik E.C., Calzolari C., Miller B.A., Pereira P., Kabala C., Baumgarten A., Jordan A. 2016. Soil Mapping, Classification, and Pedologic Modeling: History and Future Directions. Geoderma, 264: 256–274.

- Bushnell T.M. 1942. Some Aspects of the Soil Catena Concept. Proceedings. Soil Science Society of America, 7: 466–476.
- Davydova G.V., Boldanova E.V. 2019. Research of Number and Area Forest Fires Dynamic. Global & Regional Research, 1(3): 241–246.
- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.D. 2000. Soil Water Repellency: Its Causes, Characteristics and Hydro-Geomor-Phological Significance. Earth-Science Reviews, 51(1–4): 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
- Miller B.A., Schaetzl R.J. 1993. History of Soil Geography in the Context of Scale. Geoderma, 264: 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.041>
- Milne G., 1935. Composite Units for the Mapping of Complex Soil Association. Trans. 3d International Congress Soil Science, Oxford: 345–347.
- Speidel D.H., Agnew A.F. 1982. The Natural Geochemistry of Our Environment. Boulder, CO, Westview, 214 p.
- Thorp J., Baldwin M. 1938. Nomenclature of the Higher Categories of Soil Classification as Used in the Department of Agriculture. Soil Science Society of America Journal, 3: 260–271.

References

- Bilichenko I.N. 2018. The Role of the Pyrogenic Factor in Forming the Landscape Structure of the Baikal Natural Territory. In: Landscape Geography in the 21st Century. International Scientific Conference, Simferopol, 11–14 September 2018. Simferopol, Pabl. Areal: 244–247 (in Russian).
- Vorobyova G.A. 2010. Pochva kak letopis' prirody sobytij Pribajkal'ja: problemy jevoljucii i klassifikacii pochv [Soil as a Chronicle of Natural Events in the Baikal Region: Problems of Soil Evolution and Classification]. Irkutsk, Pabl. Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 205 p.
- Sofronov M.A., Antropov V.F., Volokitina F.V. 1999. Pirologicheskaja harakteristika rastitel'nosti bassejna ozera Bajkal [Pyrological Characteristics of Vegetation of Lake Baikal Basin]. Geografija i prirodnye resursy, 2: 52–58.
- Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils. 2006. Ed. by L.A. Vorobyova. Moscow, Pabl. GEOS, 400 p. (in Russian).
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. 2004. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk, Pabl. Oykumena, 342 p.
- Belovertseva I.A., Dorygotov D., Sorokovoy A.A. 2015. Soils of Pool of Lake Baikal and Soil-Ecological Zoning in Territory of Russia and Mongolia. SYLWAN, 159(8): 319–332.
- Brevik E.C., Calzolari C., Miller B.A., Pereira P., Kabala C., Baumgarten A., Jordan A. 2016. Soil Mapping, Classification, and Pedologic Modeling: History and Future Directions. Geoderma, 264: 256–274.
- Bushnell T.M. 1942. Some Aspects of the Soil Catena Concept. Proceedings. Soil Science Society of America, 7: 466–476.
- Davydova G.V., Boldanova E.V. 2019. Research of Number and Area Forest Fires Dynamic. Global & Regional Research, 1(3): 241–246.
- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.D. 2000. Soil Water Repellency: Its Causes, Characteristics and Hydro-Geomor-Phological Significance. Earth-Science Reviews, 51(1–4): 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
- Miller B.A., Schaetzl R.J. 1993. History of Soil Geography in the Context of Scale. Geoderma, 264: 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.041>
- Milne G., 1935. Composite Units for the Mapping of Complex Soil Association. Trans. 3d International Congress Soil Science, Oxford: 345–347.
- Speidel D.H., Agnew A.F. 1982. The Natural Geochemistry of Our Environment. Boulder, CO, Westview, 214 p.
- Thorp J., Baldwin M. 1938. Nomenclature of the Higher Categories of Soil Classification as Used in the Department of Agriculture. Soil Science Society of America Journal, 3: 260–271.



Поступила в редакцию 15.07.2025;
поступила после рецензирования 04.09.2025;
принята к публикации 22.09.2025

Received July 15, 2025;
Revised September 04, 2025;
Accepted September 22, 2025

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лопатина Дарья Николаевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Daria N. Lopatina, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Landscape Geochemistry and Soil Geography, V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

УДК 504.4.054
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6
EDN KUWEQA

Исследование химического состояния малых водотоков юго-востока Калининградской области и факторы влияющие на него

¹Спирин Ю.А., ²Зотов С.И., ²Таран В.С., ²Платоненко Г.О.

¹Институт географии РАН,

Россия, 117312, г. Москва, ул. Вавилова, 37

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Россия, 236040, г. Калининград, ул. Университетская, 2

spirin.yuriy@rambler.ru, zotov.prof@gmail.com, ronya.volkova@yandex.ru, mitruwenkova@mail.ru

Аннотация. Бассейн реки Анграпы в Калининградской области является важным трансграничным водным объектом, подверженным существенному антропогенному воздействию. Цель работы – комплексная оценка уровня загрязнения вод бассейна с выявлением пространственно-временных закономерностей и ключевых факторов влияния. В рамках исследования проведен мониторинг качества воды в четырех реках бассейна (Анграпа, Писса, Красная, Русская) за 2022–2024 гг., во время которого отобрано 126 проб в различные гидрологические сезоны. Результаты анализа показали, что состояние водных ресурсов оценивается как 4а грязная по УКИЗВ без учета критических показателей загрязнения и 4б грязная с их учетом. Пространственный анализ выявил, что степень загрязнения связана с характером землепользования. Участки с преобладанием лесных массивов демонстрируют более благоприятные показатели, тогда как зоны активной сельскохозяйственной деятельности и урбанизированные территории характеризуются значительным ухудшением качества воды. Сезонная динамика загрязнения выражена ярко: осенью средний ИЗВ достигает 8,21 (VI класс, очень грязные), тогда как зимой этот показатель снижается до 2,40 (IV класс, загрязненные). Основными загрязняющими веществами, концентрации которых превышают ПДК, выступают нефтепродукты, железо, фосфаты, аммоний, нитриты, а также показатели БПК₅ и ХПК. Дефицит растворенного кислорода в отдельные периоды ухудшает экологическое состояние водотоков. Ключевыми факторами, определяющими качество воды, являются интенсивное ведение сельского хозяйства, сбросы с урбанизированных территорий, поступление железа с подземными водами, а также естественные гидрологические и биологические процессы. Сезонные колебания водности и вегетационные циклы водной растительности вносят дополнительную вариативность в уровень загрязнения. Полученные данные подчеркивают необходимость разработки адресных природоохранных мер с учетом пространственно-временной неоднородности антропогенного воздействия.

Ключевые слова: Калининградская область, бассейн реки Анграпы, индексы загрязнения вод, качество вод, антропогенные факторы, природные факторы, гидрохимический мониторинг

Благодарности: Картографирование и работа с ГИС выполнены в Институте географии РАН в рамках государственного задания № FMWS-2024-0007.

Для цитирования: Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Платоненко Г.О. 2025. Исследование химического состояния малых водотоков юго-востока Калининградской области и факторы влияющие на него. Региональные геосистемы, 49(4): 723–734. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6 EDN: KUWEQA



Study of the Chemical State of Small Watercourses in the South-East of the Kaliningrad Region and Factors Influencing It

¹ Yuriy A. Spirin, ² Sergey I. Zотов, ²Veronika S. Taran, ²Galina.O. Platonenko

¹Institute of Geography RAS,

37 Vavilov St., Moscow, 117312, Russia,

²Immanuel Kant Baltic Federal University,

2 Universitetskaya St., Kaliningrad, 236040, Russia,

spirin.yuriy@rambler.ru, zotov.prof@gmail.com, ronya.volkova@yandex.ru, mitruwenkova@mail.ru

Abstract. The Angrapa River basin in the Kaliningrad region is an important transboundary water body that is subject to a significant anthropogenic impact. The purpose of the work is to provide a comprehensive assessment of the basin waters pollution level, as well as to identify the spatio-temporal patterns and key influencing factors. As part of the study, water quality monitoring was carried out in four rivers of the basin (the Angrapa, the Pissa, the Krasnaya, and the Russkaya) from 2022 to 2024, during which 126 samples were taken in different hydrological seasons. The analysis allowed us to assess the state of water resources as 4a dirty according to the SCIWP without taking into account critical pollution indicators, and as 4b dirty when these indicators are taken into consideration. Spatial analysis revealed the association between the pollution degree and the type of land use. Areas with a predominance of forests demonstrate more favorable indicators, while areas of active agricultural activity and urbanized territories are characterized by a significant deterioration in water quality. Seasonal pollution dynamics are clearly expressed: in autumn, the average WPI reaches 8.21 (class VI, very dirty), while in winter this indicator decreases to 2.40 (class IV, polluted). MACs are mainly exceeded by oil products, iron, phosphates, ammonium, nitrites, with BOD₅ and COD indicators also higher than normal. A deficiency of dissolved oxygen in certain periods worsens the ecological state of watercourses. The key factors determining the water quality include intensive agriculture, discharges from urbanized areas, the influx of iron with groundwater, as well as natural hydrological and biological processes. Seasonal fluctuations in the water content and vegetation cycles of aquatic vegetation introduce additional variability in the pollution level. The data obtained emphasize the need to develop targeted environmental protection measures taking into account the spatiotemporal heterogeneity of anthropogenic impact.

Keywords: Kaliningrad region, the Angrapa river basin, water pollution indices, water quality, anthropogenic factors, natural factors, hydrochemical monitoring

Acknowledgements: Mapping and work with GIS were carried out at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences within the framework of state assignment No. FMWS-2024-0007.

For citation: Spirin Yu.A., Zотов S.I., Taran V.S., Platonenko G.O. 2025. Study of the Chemical State of Small Watercourses in the South-East of the Kaliningrad Region and Factors Influencing It. Regional Geosystems, 49(4): 723–734 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6 EDN: KUWEQA

Введение

Водные ресурсы Калининградской области, являясь ключевым элементом природной системы, испытывают значительную антропогенную нагрузку из-за интенсивного сельскохозяйственного освоения, урбанизации и трансграничного характера водопользования [Спирин и др., 2021а]. Особую экологическую значимость имеет бассейн реки Анграпы – важной водной артерии, входящей в систему реки Преголи и оказывающей прямое влияние на состояние Вислинской лагуны Балтийского моря. Несмотря на особый природоохраненный статус части территории (ООПТ Национальный парк «Виштынецкий»), водные объекты бассейна подвержены загрязнению, что подтверждается данными мониторинга 2024 года, фиксирующими класс качества воды 3б очень загрязненная в реках Анграпе и Писсе [Государственный доклад..., 2024]. Стоит

отметить, что это первое с 2015 года ухудшение класса качества воды на один пункт, с За загрязненная до 3б очень загрязненная.

Бассейн реки Анграпы занимает обширную территорию площадью 3960 км², из которых 45 % (1800 км²) расположены в пределах Калининградской области. Река протяженностью 169 км (в российской части – 95 км) характеризуется плавным течением со средним уклоном русла 0,63 %. Гидрографическая сеть бассейна отличается относительно низкой плотностью – 0,9 км/км², что является одним из минимальных показателей в регионе. Гидрологический режим реки формируется под влиянием нескольких факторов. Анграпа имеет смешанное питание с преобладанием снегового и дождевого компонентов. Весенне половодье продолжается в среднем 40–50 дней, тогда как меженные периоды выражены слабо. Зимой река покрывается льдом на срок от 2,5 до 3,5 месяцев. Средняя скорость течения колеблется в пределах 0,4–0,8 м/с, а модуль годового стока достигает 5,8 л/(с·км²). Водный баланс бассейна характеризуется годовым стоком 25,45 м³/с при осадках 723 мм и испарении 530 мм, из которых 159 мм приходится на поверхностный сток и 44 мм – на подземный [Основные гидрологические..., 1988; Зотов 2001].

Современные научные работы, посвященные бассейну реки Анграпы, преимущественно сосредоточены на изучении физико-географических и гидрологических характеристик водных объектов [Шамонина, Нелюбина, 2017; Берникова и др., 2019; Тылик, 2021; Ахмедова, Наумов, 2022]. В то же время вопросы химического состава вод и уровня их загрязнения остаются недостаточно изученными, при этом имеющиеся данные требуют актуализации [Нагорнова и др., 2011]. Существующая сеть мониторинга Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, включающая лишь два стационарных пункта наблюдений на реке Анграпе (д. Берестово) и реке Писсе (д. Зеленый Бор), не позволяет получить полное представление о пространственном распределении гидрохимических показателей по всему бассейну. В данном контексте актуальным представляется проведение комплексного исследования, направленного на выявление пространственно-временных закономерностей загрязнения водных объектов в бассейне реки Анграпы.

Объекты и методы исследования

Для комплексной оценки состояния водных объектов была разработана система мониторинга, включающая четыре контрольных створа на реках Анграпе, Писсе, Красной и Русской. Эти пункты наблюдений охватывают различные по своим природно-хозяйственным условиям участки рек от верховьев до приусտевой зоны, за исключением реки Анграпы, где первая точка была установлена в районе государственной границы, а не в верховьях.

Границы водосборов рек определены по SRTM-данным в SAGA GIS с последующим разделением бассейна Анграпы на суббассейны и участки, соответствующие пунктам мониторинга [Балдаков, Кудишин, 2019; Джамалов и др., 2019; Спирин и др., 2021б; Lämmchen et al., 2021]. Комплексный анализ факторов воздействия включал оценку сельхозугодий, лесистости, уровня урбанизированности территории и озерности водосборов, а также локализацию промышленных объектов. Данные интегрировались из атласов и ГИС-ресурсов [Domin et al, 2015; Генеральные планы..., 2023; Атлас Варминско-Мазурского..., 2024; Open Street..., 2024]. Пространственное моделирование, несмотря на ограниченность мониторинговых точек, позволило отождествить качество воды с доминирующими территориями.

На этой основе создана картографическая схема исследования с наглядным представлением о распределении природно-хозяйственных параметров (рис. 1).

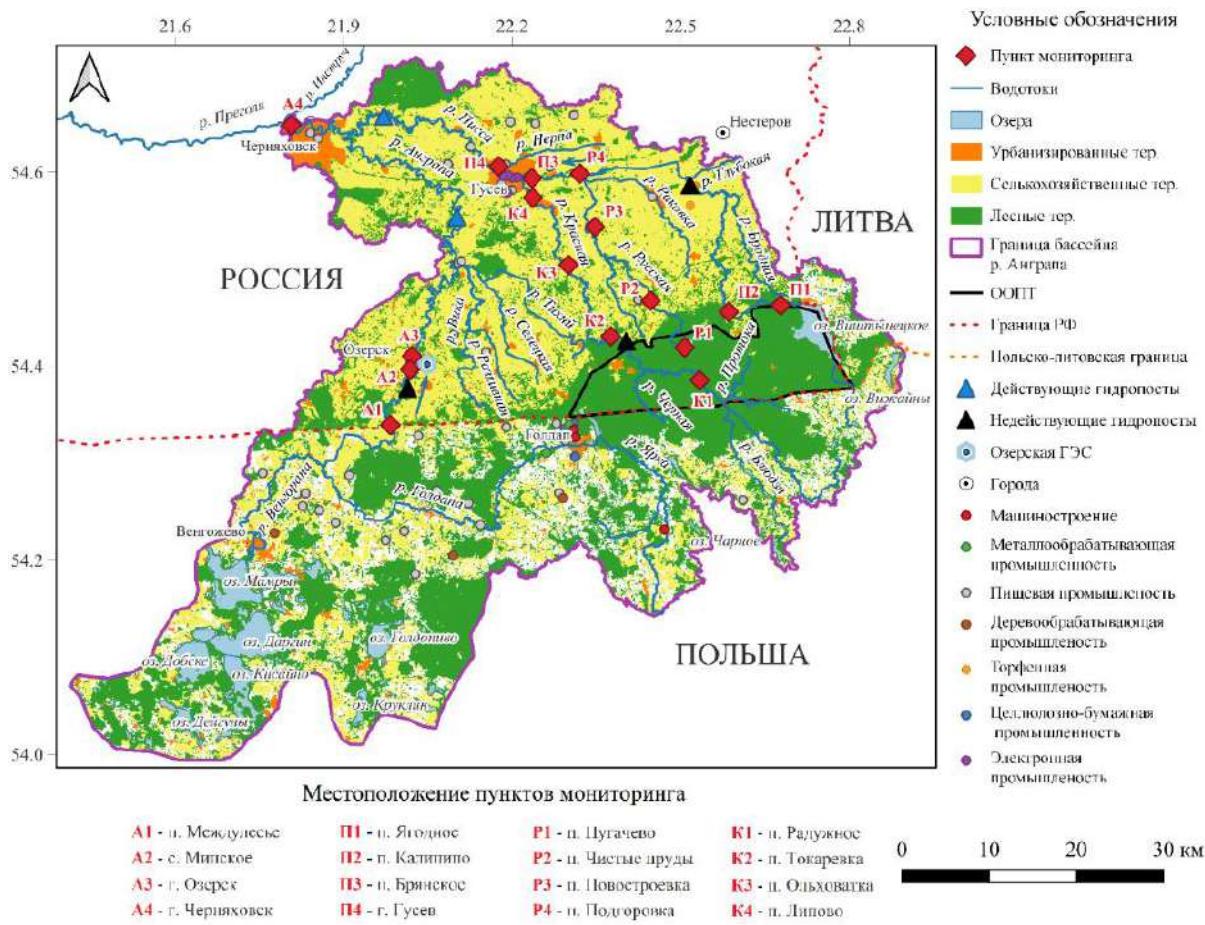


Рис. 1. Схема пространственного распределения природно-хозяйственных условий и местоположение пунктов мониторинга в бассейне р. Анграпы

Fig. 1. Scheme of spatial distribution of natural and economic conditions and location of monitoring points in the Angrapa River basin

Исследовательские работы проводились на протяжении двух гидрологических лет с осени 2022 по лето 2024 года с учетом сезонной динамики природных процессов и антропогенной нагрузки. Такой подход позволил выявить динамику загрязнения и определить основные источники воздействия на качество воды. В ходе восьми полевых выездов было отобрано 126 проб воды, при этом на участке «Р1» реки Русской в осенний период 2022 года и летом 2024 года отбор проб оказался невозможен из-за сезонного пересыхания русла.

Во время отбора проб фиксировались морфометрические и гидрологические параметры рек (ширина, глубина, скорость течения), а также описывались особенности прилегающих территорий. Для измерений применялись гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1 и строительная рулетка. На основе полученных данных рассчитаны расходы воды в каждом пункте мониторинга.

Химические анализы проб проводились в лаборатории высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта по перечню важнейших показателей. Химическое потребление кислорода (ХПК) – ПНД Ф 14.1:2:4. 190-2003, биологическому потреблению кислорода за 5 суток (БПК₅) – ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97, нитраты – ПНД Ф 14.1:2.4-95, нитриты – ПНДФ 14.1:2:4.3-95, аммоний и аммонийный азот – ПНД Ф 14.1:2.1-95, фосфаты – ПНД Ф 14.1:2.1-95, хлориды – ГОСТ 4245-72, сульфаты – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, натрий, магний, калий, кальций – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, железо – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, нефтепродукты – ПНД Ф 14.1:2.116-97. Химические анализы проведены с помощью прибора двухлучевой спектрофотометрии *UV-1800 Shimadzu* и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался рыбохозяйственный норматив [Об утверждении..., 2020]. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом и без учета критических показателей загрязнения (КПЗ) за гидрологический год и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам (табл. 1) [РД 52.24.643-2002..., 2002].

Таблица 1
Table 1

Классы качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения воды
Water quality classes depending on the value of the water pollution index

| Классификация | Значения ИЗВ | Классы качества воды |
|-----------------------|--------------|----------------------|
| Очень чистые | $\leq 0,2$ | I |
| Чистые | 0,2–1,0 | II |
| Умеренно загрязненные | 1,0–2,0 | III |
| Загрязненные | 2,0–4,0 | IV |
| Грязные | 4,0–6,0 | V |
| Очень грязные | 6,0–10,0 | VI |
| Чрезвычайно грязные | $> 10,0$ | VII |

Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 1, геоэкологическое состояние водотоков определяется сочетанием антропогенных и природных факторов. Для сопоставления уровня загрязнения воды выразим показатель УКИЗВ и число КПЗ за 2022–2024 гг. в пространстве (рис. 2).

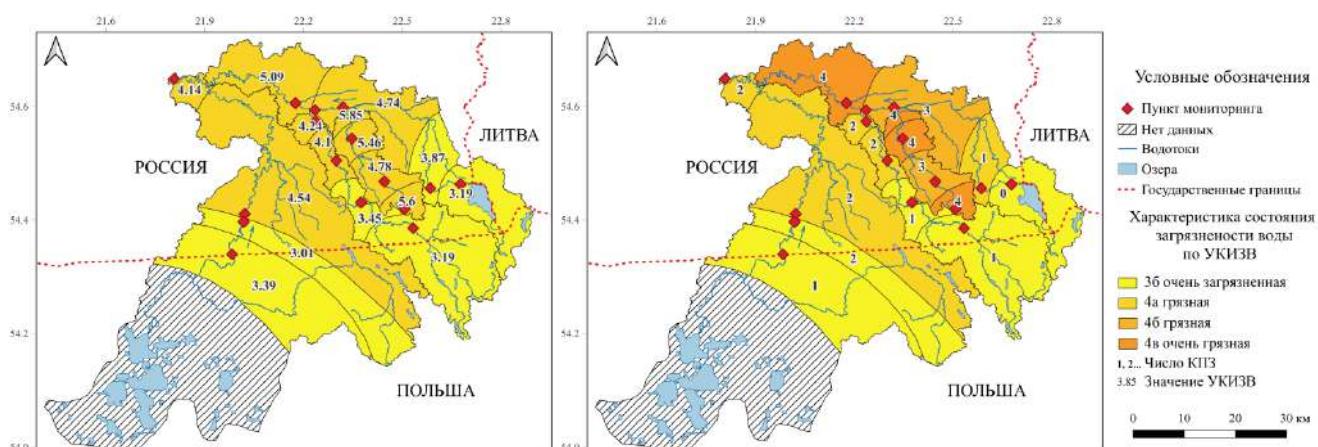


Рис. 2. Пространственно-временная дифференциация УКИЗВ
в бассейне реки Анграпы за период с 2022 по 2024 гг.

Fig. 2. Spatio-temporal differentiation of the SCIWP in the Angrapa River basin
for the period from 2022 to 2024

В 2022–2024 гг. средний УКИЗВ без учета КПЗ распределился следующим образом: в р. Анграпе – 3,77 (3б очень загрязненная); в р. Писсе – 4,22 (4а грязная); в р. Русской – 5,42 (4а грязная); в р. Красной – 3,75 (3б очень загрязненная). Суммарно по пунктам мониторинга случаи КПЗ имеют следующую градацию по рекам: Анграпа – 7

случаев; Писса – 8 случаев; Русская – 15 случаев; Красная – 6 случаев. С их учетом по 5 пунктам мониторинга вода имеет класс качества 3б очень загрязненная, по 5 пунктам 4а грязная, по 2 пунктам 4б грязная и по 4 пунктам 4в очень грязная.

Сравнение рек Русской и Красной, расположенных в бассейне Анграпы, выявило наибольший контраст в уровне загрязнения. Русская оказалась наиболее загрязненной среди исследуемых водотоков, тогда как Красная – наименее. Это особенно примечательно, поскольку обе реки находятся в схожих гидрологических условиях. Основное различие заключается в структуре землепользования их водосборов: в бассейне Русской 70 % занимают сельскохозяйственные угодья и лишь 29 % – леса, а у Красной, напротив, 60 % территории покрыто лесами и только 23 % отведено под сельское хозяйство. Эта диспропорция подтверждает гипотезу о ведущей роли антропогенного фактора в загрязнении водных ресурсов.

Загрязнение воды увеличивается по направлению от истока к устью, то есть при переходе от лесных массивов к зонам активного земледелия и урбанизации. В пространственном отношении рост загрязнения в среднем составил 29,5 %. При этом также происходит увеличение частоты случаев КПЗ в 2–3 раза, за исключением реки Русской, где этот показатель остается почти стабильно высоким на всем протяжении водотока.

Наблюдаются статистически значимые ($p < 0,05$) корреляционные отношения различной силы между показателями УКИЗВ и площадью земельных угодий различного назначения. Установленные коэффициенты свидетельствуют о следующем уровне связи: с сельскохозяйственными угодьями показатель корреляции составляет 0,70, коэффициент детерминации равен 0,49; с лесными участками наблюдается обратная корреляционная зависимость – 0,81 при коэффициенте детерминации 0,66 соответственно. Несмотря на высокую степень взаимосвязи, остаются нерешенными некоторые ключевые вопросы относительно природы выявленных зависимостей. Например, является ли снижение значений УКИЗВ следствием увеличения объема лесопосадок либо результатом сокращения площадей сельхозугодий. Какова роль накопления загрязняющих веществ ниже по водному потоку в формировании взаимосвязи между уровнем загрязнения и территорией аграрного использования. Следует учитывать возможные ограничения исследования, включая потенциально недостаточное количество выборочных точек наблюдения, погрешности при определении зон измерения, а также игнорирование показателя активности земледелия на единице исследуемого участка.

С целью получения более дифференцированной информации о качестве воды рассмотрим сезонную динамику ИЗВ за период 2022–2024 (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Сезонная динамика ИЗВ в бассейне реки Анграпы в 2022–2024 гг.
Seasonal dynamics of WPI in the Angrapa River basin in 2022–2024

| Период | A1 | A2 | A3 | A4 | П1 | П2 | П3 | П4 | Р1 | Р2 | Р3 | Р4 | K1 | K2 | K3 | K4 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Осень 22 | 3,5 | 3,9 | 6,8 | 14 | 2,7 | 4,3 | 23 | 15 | – | 18 | 23 | 27 | 3,1 | 4,9 | 2,9 | 6,2 |
| Зима 23 | 2,2 | 2,6 | 3,6 | 2,6 | 2,3 | 2,4 | 3,9 | 4,5 | 3,0 | 3,6 | 2,1 | 7,6 | 1,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 |
| Весна 23 | 4,5 | 3,9 | 5,4 | 4,0 | 2,5 | 3,5 | 4,6 | 4,3 | 4,7 | 5,6 | 6,7 | 23 | 1,6 | 2,5 | 2,6 | 2,2 |
| Лето 23 | 1,6 | 3,8 | 4,2 | 4,0 | 2,4 | 2,4 | 3,6 | 3,8 | 7,1 | 6,1 | 4,0 | 5,6 | 1,6 | 2,3 | 1,8 | 2,0 |
| Осень 23 | 1,6 | 1,6 | 2,4 | 1,8 | 1,8 | 3,2 | 5,0 | 9,6 | 27 | 6,9 | 13 | 4,3 | 1,9 | 1,8 | 2,3 | 3,2 |
| Зима 24 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 1,7 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 1,9 | 3,6 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 0,8 | 1,1 | 1,6 | 1,4 |
| Весна 24 | 3,0 | 2,4 | 3,6 | 4,9 | 3,3 | 3,1 | 3,9 | 4,0 | 11 | 6,2 | 5,8 | 6,8 | 0,9 | 1,7 | 1,5 | 1,6 |
| Лето 24 | 1,4 | 2,3 | 2,0 | 2,4 | 1,1 | 1,3 | 2,0 | 2,4 | – | 3,5 | 3,1 | 3,6 | 1,6 | 2,0 | 2,2 | 2,0 |

По данным табл. 2 можно дать среднюю за 2022–2024 характеристику сезонам на основе ИЗВ. Осень: р. Анграпа – средний ИЗВ = 4,45 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 8,08 (VI очень грязные); р. Русская – средний ИЗВ = 17,03 (VII чрезвычайно грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 3,29 (IV загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 8,21 (VI очень грязные). Зима: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,05 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 2,36 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 3,51 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,68 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,40 (IV загрязненные). Весна: р. Анграпа – средний ИЗВ = 3,96 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 3,65 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 8,73 (VI очень грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,83 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 4,54 (V грязные). Лето: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,71 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 2,38 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 4,71 (V грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,94 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,93 (IV загрязненные).

Наибольшее загрязнение водотоков наблюдается осенью, что подтверждается высокими значениями (ИЗВ). В этот период река Русская демонстрирует критический уровень загрязнения, а Писса остается в категории очень грязных. Даже относительно благополучные реки Анграпа и Красная попадают в IV класс, а общий показатель по бассейну достигает VI класса. Такое ухудшение связано с естественными и антропогенными факторами: снижением водности, разложением органики и поступлением в воду минеральных удобрений, внесенных под озимые культуры. Зимой качество воды улучшается – средний ИЗВ по бассейну снижается до 2,40 (IV класс). Это объясняется сокращением биологической активности, уменьшением антропогенной нагрузки и частичным изолирующим эффектом ледового покрова. Однако весной ситуация вновь ухудшается до V класса, что может быть связано с таянием снега и выносом накопленных загрязнений поверхностным и подземным стоком. Летом показатели стабилизируются, но остаются на повышенном уровне – средний ИЗВ = 2,93 (IV класс), что указывает на устойчивое антропогенное воздействие в течение всего года.

Наибольшие различия в качестве воды отмечаются между осенними периодами, что обусловлено значительным загрязнением водоемов осенью 2022 года, вызванным крайне низким уровнем воды в реках, особенно в р. Русской. Весенние сезоны напротив, демонстрируют наименьшую изменчивость показателей относительно друг друга. Например, в р. Писсе качество воды весной 2024 осталось неизменным, тогда как в р. Русской оно в среднем снизилось, вероятно, из-за меньшей водности по сравнению с весной 2023 года. Если сравнивать зимние и летние месяцы 2024 года с 2023 годом, то наблюдается устойчивая тенденция к улучшению качества воды: в целом по бассейну зимой оно повысилось на 36 %, а летом – на 28 %. Однако в р. Русской зимой и в р. Красной летом фиксируется высокая неоднородность из-за резких колебаний уровня загрязнения на отдельных участках, что нарушает общую положительную динамику.

В табл. 3 представлены основные загрязняющие вещества и различные статистические характеристики кратности превышения ПДК.

Таблица 3
Table 3

Различные статистические характеристики кратности превышения ПДК химических веществ в бассейне р. Анграпы в период с 2022 по 2024 годы
Various statistical characteristics of the frequency of exceeding the MAC of chemical substances in the Angrapa River basin in the period from 2022 to 2024

| Показатель | Максимальная кратность превышения ПДК | Средняя кратность превышения ПДК | Сумма кратностей превышения ПДК | Распределение кратностей превышения ПДК, % | Число проб несоответствующих ПДК (из 126) |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|---|
| pH | 1,08 | 0,97 | 37 | 1,09 | 36 |
| Раств. O ₂ | 117,65 | 5,51 | 651 | 19,34 | 61 |
| ХПК | 6,82 | 2,01 | 233 | 6,92 | 93 |
| БПК ₅ | 9,11 | 1,64 | 183 | 5,43 | 86 |
| Нитраты | 1,36 | 0,09 | 1 | 0,04 | 1 |
| Нитриты | 7,38 | 0,47 | 52 | 1,55 | 22 |
| Аммоний | 11,28 | 0,77 | 78 | 2,33 | 26 |
| Фосфаты | 31,60 | 1,60 | 174 | 5,17 | 47 |
| Хлориды | 12,34 | 0,40 | 26 | 0,78 | 5 |
| Сульфаты | 3,26 | 0,91 | 89 | 2,66 | 54 |
| Натрий | 1,18 | 0,10 | 1 | 0,04 | 1 |
| Магний | 0,67 | 0,26 | 0 | 0,00 | 0 |
| Железо | 48,49 | 6,57 | 825 | 24,51 | 120 |
| Нефтепрод. | 124,60 | 8,12 | 1014 | 30,15 | 103 |
| Калий | 0,48 | 0,07 | 0 | 0,00 | 0 |
| Кальций | 0,88 | 0,32 | 0 | 0,00 | 0 |

По данным табл. 3 к систематическим загрязнителям можно отнести нефтепродукты, железо, биогенные соединения и кислородные показатели. Больше половины всех загрязнений это нефтепродукты (30,15 %) и железо (24,51 %). Кислородные показатели занимают чуть больше трети от всех превышений нормированных значений: растворенный кислород (19,34 %), ХПК (6,92 %), БПК₅ (5,43 %). Биогенов, представленных фосфатами (5,17 %), аммонием (2,33 %) и нитритами (1,55 %), в сумме около 10 %.

Качество воды в бассейнах рек Калининградской области формируется под влиянием сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов, причем их вклад варьируется в зависимости от пространственно-временных условий. Одним из источников загрязнения являются промышленные и коммунально-бытовые стоки, содержащие поверхностно-активные вещества, включая углеводороды. Эти соединения входят в состав нефтепродуктов, что объясняет их значительное поступление в водные объекты через сточные системы. Гидрогеологические особенности региона также играют важную роль, поскольку они способствуют повышенному содержанию общего железа в подземных водах, что отражается на гидрохимическом режиме рек [Глушенко, 2008; Государственный доклад..., 2024].

Биогенные вещества и несоответствие нормам концентраций по кислородным показателям в верховьях рек могут быть связаны с естественными процессами разложения растительности, тогда как в нижнем течении основным источником таких загрязнений становятся сельскохозяйственные территории. Однако сезонная динамика этих показателей выражена слабо из-за особенностей водного режима региона. Переменчивость фаз водности рек влияет на химический состав воды, затрудняя

выделение четких временных закономерностей. Например, в периоды повышенного стока может происходить как интенсивный смыв загрязняющих веществ с прилегающих территорий, так и присутствовать эффект разбавления. Эта неоднозначность осложняет идентификацию сезонных источников загрязнения, таких как сельскохозяйственная деятельность или естественные биологические циклы растительности.

Заключение

По данным мониторинга за двухлетний период, воды бассейна Анграпы демонстрируют устойчиво высокий уровень загрязнения. Интегральная оценка по УКИЗВ без учета КПЗ соответствует (4а грязная), а при включении КПЗ показатель ухудшается до (4б грязная). Особую тревогу вызывает состояние реки Русской, где комбинаторный индекс достигает 5,42 (4а грязная) при КПЗ от 3 до 4. В то же время наиболее благополучная ситуация отмечается в реке Красной – 3,75 (3б очень загрязненная) и КПЗ в пределах 1–2.

Пространственный анализ выявил четкую зависимость между характером землепользования и степенью загрязнения водных объектов. Связь между рассматриваемыми характеристиками выражена следующими значениями: УКИЗВ и сельскохозяйственные земли – $corr = 0,70$ и $R^2 = 0,49$; УКИЗВ и лесные земли – $corr = -0,81$ и $R^2 = 0,66$. Наименьшие показатели загрязнения характерны для лесных массивов в верховьях рек, тогда как переход к сельскохозяйственным и урбанизированным территориям сопровождается заметным ухудшением качества воды. Сезонные колебания демонстрируют выраженную динамику: осенний период с средним ИЗВ 8,21 – VI очень грязные резко контрастирует с зимними показателями 2,40 – IV загрязненные.

Лабораторные исследования 126 проб воды выявили систематические превышения ПДК по ключевым показателям. Наибольшую частоту нарушений показало железо (120 случаев), за которым следуют нефтепродукты (103 случая), ХПК (93 случая) и БПК₅ (86 случаев). Кислородный режим нарушался в 61 пробе, тогда как биогенные элементы проявлялись неравномерно: фосфаты превышали норму в 47 случаях из 126, аммоний – в 26 из 126, нитриты – в 22 из 126 проб.

Анализ степени превышения нормативов выявил лидерство нефтепродуктов (8,12 ПДК) и железа (6,57 ПДК). Кислородный режим нарушался в среднем в 5,51 раза, тогда как загрязнители ХПК и БПК₅ превышали норму в 2,01 и 1,64 раза соответственно. Среди биогенов наибольшие отклонения показали фосфаты (1,60 ПДК), тогда как соединения азота демонстрировали меньшие превышения (аммоний – 0,77 ПДК, нитриты – 0,47 ПДК).

Многолетние наблюдения позволили выделить комплекс факторов, определяющих качество вод бассейна. Антропогенное воздействие проявляется через сельскохозяйственный сток с биогенами и органическими веществами, а также через урбанизированные территории, поставляющие нефтепродукты и коммунальные стоки. Природные факторы включают геохимические особенности подземного питания с высоким содержанием железа, а также сезонную динамику водности и естественные биологические процессы в водных экосистемах. Такое сочетание природных и антропогенных воздействий формирует сложную картину загрязнения, требующую дифференцированных подходов к управлению качеством воды.



Список источников

- Атлас Варминско-Мазурского воеводства. Электронный ресурс. URL: <https://atlas.warmia.mazury.pl> (дата обращения: 20.12.2024).
- Генеральные планы муниципальных образований. Электронный ресурс. URL: <https://mingrad.gov39.ru> (дата обращения: 20.12.2024).
- Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2024 году». 2025. Калининград, ООО «ВИА Калининград»: 45–46.
- Зотов С.И. 2001. Моделирование состояния геосистем. Калининград, Калининградский государственный университет, 237 с.
- Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 13 июня 2024 года): Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 года № 2467. Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 10.07.2025).
- Основные гидрологические характеристики (за 1976–1985 гг. и весь период наблюдений). 1988. Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Л., Гидрометеоиздат, 416 с.
- РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039667> (дата обращения: 10.05.2025).
- Open Street Map. Electronic resource. URL: <https://www.openstreetmap.org> (date of access: 20.12.2024).

Список литературы

- Ахмедова Н.Р., Наумов В.А. 2022. Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса. Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2(51): 105–111. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>.
- Балдаков Н.А., Кудишин А.В. 2019. Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока. Интерэкспо Гео-Сибирь, 4(1): 83–89. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>.
- Берникова Т.А., Тылик К.В., Цветкова Н.Н. 2019. Физико-географическая характеристика реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 52: 11–23.
- Глущенко А.И. 2008. Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора. Вестник российского государственного университета им. И. Канта, 1: 25–31.
- Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г., Решетняк О.С., Сафонова Т.И. 2019. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины. Водные ресурсы, 46(2): 149–160. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596462149-160>
- Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. 2011. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 7: 160–166.
- Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Королева Ю.В. 2021а. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 7(1): 183–202.
- Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Королева Ю.В. 2021б. Сравнительный анализ химического состава воды водотоков Славского района Калининградской области по гидрологическим сезонам. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 31(4): 425–436. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436>.
- Тылик К.В. 2021. Гидроэкологические особенности реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 61: 39–50. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>.

- Шамонина Т.В., Нелюбина Е.А. 2017. Анализ водного использования бассейна реки Писсы. Вестник науки и образования Северо-Запада России, 3(2): 46–55.
- Dominin D., Chubarenko B., Lewandowski A. 2015. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow, Exlibris Press, 106 p.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. 2021. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. Environmental Processes, 8: 973–992. <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00530-2>

References

- Akhmedova N.R., Naumov V.A. 2022. Dynamics of the Annual Runoff Module in the Basin of the Pissa River. Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin, 2(51): 105–111 (in Russian). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>.
- Baldakov N.A., Kudishin A.V. 2019. Automated Calculation of Characteristics of the Catchment Basin as a Tool of Runoff Modelling. Interexpo GEO-Siberia, 4(1): 83–89 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>.
- Bernikova T.A., Tylik K.V., Tsvetkova N.N. 2019. Physico-Geographical Characteristics of the Red River – Natural Monument of the Hydrological Profile of the Kaliningrad Region. KSTU News, 52: 11–23 (in Russian).
- Glushenko A.I. 2008. Quality and Ecological State of Ground Waters in Kaliningrad Wellfield. Vestnik of I. Kant State University of Russia, 1: 25–31 (in Russian).
- Dzhamalov R.G., Mironenko A.A., Myagkova K.G., Reshetnyak O.S., Safronova T.I. 2019. Space-Time Analysis of Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin. Water Resources, 46(2): 188–198 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>
- Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A. 2011. The Geoecological Description of Minor Rivers of the Kaliningrad Region. Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University, 7: 160–166 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021a. Assessment of the Geoecological State of Surface Water Currents of the Slavsky District, Kaliningrad Region. Uchenyye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya, 7(1): 183–202 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021b. Comparative Analysis of the Chemical Composition of Waterwater in the Slavsky District of the Kaliningrad Region by Hydrological Seasons. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 31(4): 425–436 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436>.
- Tylik K.V. 2021. Hydroecological Features of the Krasnaya River – Nature Landmark of the Kaliningrad Region Hydrological Profile. KSTU News, 61: 39–50 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>.
- Shamonina T.V., Nelyubina E.A. 2017. Analysis of the Water Use of the Pissa River Basin. Bulletin Journal of Science and Education of North-West Russia, 3(2): 46–55 (in Russian).
- Dominin D., Chubarenko B., Lewandowski A. 2015. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow, Exlibris Press, 106 p.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. 2021. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. Environmental Processes, 8: 973–992. <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00530-2>

Поступила в редакцию 17.07.2025;
поступила после рецензирования 30.08.2025;
принята к публикации 02.10.2025

Received July 17, 2025;
Revised August 30, 2025;
Accepted October 02, 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

Спирин Юрий Александрович, научный сотрудник лаборатории гидрологии, Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Зотов Сергей Игоревич, профессор высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Таран Вероника Сергеевна, аспирант высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Платоненко Галина Олеговна, аспирант высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuriy A. Spirin, Researcher, Laboratory of Hydrology, IGRAS, Moscow, Russia

Sergey I. Zотов, Professor, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Veronika S. Taran, Postgraduate Student, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Galina O. Platonenko, Postgraduate Student, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia



УДК 551.432+556.53
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-7
EDN NDQRXL

Концепция криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири

Сизов О.С.

Институт проблем нефти и газа РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3
kabanin@yandex.ru

Аннотация. Эоловые отложения и формы рельефа, имеющие повсеместное распространение на севере Западной Сибири, играют важную роль в развитии современных ландшафтов. Тем не менее, они нередко рассматриваются как уникальные и нетипичные для северных условий природные образования, а единое представление о закономерностях и фундаментальных причинах их возникновения на текущий момент отсутствует. Целью данного исследования является разработка общей концепции криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках высоких широт. Исследование опирается на современные теоретические разработки в области водно-эолового и гляцио-эолового взаимодействия, а также на результаты многолетних полевых и дистанционных работ автора. Основным результатом является сформированное концептуальное представление эоловых морфолитосистем на севере Западной Сибири в качестве открытых иерархически организованных геоморфологических систем, в которых эоловые процессы функционально объединяют и завершают эрозионно-аккумулятивный цикл трансформации песчаных осадков, инициируемый рельефообразующим воздействием покровного оледенения. Разработанная концепция органически интегрирует существующую методологию открытых систем и формационный подход в геоморфологии, обеспечивая фундаментальную основу для прогнозирования ответной реакции северных эоловых морфолитосистем на масштабное антропогенное воздействие и долгосрочные климатические изменения.

Ключевые слова: эоловый рельеф, Западная Сибирь, открытые системы, покровное оледенение, морфолитогенез, геоморфологическая формация

Благодарности: исследование выполнено в рамках госзадания ИПНГ РАН по теме «Повышение эффективности и экологической безопасности освоения ресурсов углеводородов шельфа и сопредельной суши арктических и субарктических регионов России в условиях меняющегося климата» (№ 125020501403-7).

Для цитирования: Сизов О.С. 2025. Концепция криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири. Региональные геосистемы, 49(4): 735–752. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-7 EDN: NDQRXL

Concept of Cryohydroaeolian Landform Development in Postglacial Continental Settings in the North of Western Siberia

Oleg S. Sizov

Oil and Gas Research Institute RAS
3 Gubkin St., Moscow, 119333, Russia
kabanin@yandex.ru

Abstract. Aeolian deposits and landforms are widespread across the northern part of Western Siberia and play an important role in the evolution of contemporary landscapes. Nevertheless, they are often treated as natural

© Сизов О.С., 2025

features that are unique and atypical for high-latitude environments, and there is still no unified view of the regularities and fundamental causes of their origin. The aim of this study is to develop a general concept of cryohydroaeolian landform development in postglacial continental settings of high latitudes. The research is based on recent theoretical advances in fluvial-aeolian and glacio-aeolian interactions, as well as on the author's long-term field campaigns and remote-sensing analyses. The main result is a conceptual interpretation of aeolian morpholithosystems in northern Western Siberia as open, hierarchically organized geomorphological systems in which aeolian processes functionally integrate and complete the erosion-and-accumulation cycle of sand transformation initiated by the landform-shaping impact of continental ice-sheet glaciation. The proposed concept organically integrates the existing methodology of open systems with the formation approach in geomorphology and provides a fundamental basis for predicting the response of northern aeolian morpholithosystems to large-scale anthropogenic disturbance and long-term climate change.

Keywords: aeolian landforms; Western Siberia; open systems; ice-sheet glaciation; morpholithogenesis; geomorphological formation

Acknowledgements: This research was carried out under the state assignment of the Oil and Gas Research Institute RAS within the framework of the project “Improving the efficiency and environmental safety of hydrocarbon resource development on the shelf and adjacent land of the Arctic and subarctic regions of Russia under changing climate conditions” (No. 125020501403-7).

For citation: Sizov O.S. 2025. Concept of Cryohydroaeolian Landform Development in Postglacial Continental Settings in the North of Western Siberia. Regional Geosystems, 49 (4): 735–752 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-7 EDN: NDQRXL

Введение

В настоящее время широкое развитие эолового рельефа и субаэральных отложений на севере Западной Сибири признано многими учеными [Величко, Тимирева, 2005; Зыкина и др., 2023]. Эоловый рельеф здесь выражен в виде котловин выдувания (раздувов и локальных песчаных обнажений), отдельных параболических дюн и относительно выровненных участков, сложенных покровными эолово-нивейными песками [Сизов, 2015]. В научной литературе и фондовых материалах довольно часто приводятся отдельные полевые описания эоловых форм, основанные на простейших инструментальных и визуальных методах [Земцов, 1962]. Для некоторых районов встречаются оценки удельной площади развеваемых участков [Воскресенский, 2001].

Относительно хорошо изучена литология эоловых осадков [Земцов, 1976; Астахов, 1999; Nazarov et al., 2022], получены результаты абсолютных датировок покровных песков [Forman et al., 2002; Nazarov et al., 2022]. Исследования позволили выделить специфический горизонт «байдарацкого эолия», включающего два разновременных горизонта оленевых и байдарацких песков, который имеет повсеместное распространение на Ямале и Гыдане при покровном облекающем залегании [Forman et al., 2002; Nazarov et al., 2022].

Отдельный блок работ посвящен динамике и флористическому составу растительности на песчаных обнажениях естественного и антропогенного происхождения [Москаленко, 1999; Коронатова, Миляева, 2011; Лоботросова, 2014; Капитонова и др., 2017]. Большое внимание уделяется выявлению особенностей и ведущих факторов успешного первичного восстановления почвенного-растительного покрова на подвижных песках [Лоботросова, 2014].

В приведенных примерах исследований подробно рассматриваются различные геоморфологические, геологические и геоботанические аспекты развития эоловых форм рельефа на севере Западной Сибири. Тем не менее, можно констатировать, что единое представление об истории, закономерностях и фундаментальных причинах возникновения, расширения и сохранения этих уникальных для арктических условий природных образований на текущий момент отсутствует.

В рамках данной работы предпринята попытка критического обобщения имеющихся в

литературе фактических материалов и результатов собственных многолетних исследований эолового рельефа на севере Западной Сибири в рамках концепции криогидроэолового рельефообразования в постледниковых материковых обстановках высоких широт. Необходимость подобного обобщения, помимо фундаментального геоморфологического значения, обусловлена практической необходимостью повышения детальности и достоверности прогнозирования ответной реакции северных эоловых морфолитосистем на масштабное антропогенное воздействие в связи с длительным освоением месторождений нефти и газа. Кроме того, критически важной является оценка устойчивости эолового рельефа в условиях долгосрочных климатических изменений, которые наиболее активно проявляются в арктических условиях.

Объекты и методы исследования

Одним из наиболее перспективных направлений, обеспечивающих методологический базис всестороннего изучения взаимосвязанных функциональных, временных и пространственных параметров эолового рельефа на севере Западной Сибири, является применение научных подходов общей теории систем, обозначенных в работе Берталанфи [Von Bertalanffy, 1950]. Ключевым концептуальным допущением в данном отношении является предложенное Р. Чорли [Chorley, 1962] выделение открытой, т.е. энергетически обусловленной, геоморфологической системы (ОГМС), основными свойствами которой являются:

- зависимость от постоянного обмена энергией/массой с внешней средой;
- возможность саморегуляции (самоорганизации) в процессе обмена для восстановления баланса притока и оттока массы и энергии;
- наличие квазистационарного уровня (*steady state*, динамического равновесия/баланса), который неизбежно меняется вслед за изменениями внешних и внутренних параметров.

Р. Чорли [Chorley, 1962] предположил, что в стационарном состоянии рельеф самоорганизуется таким образом, чтобы сопротивление поверхности в каждой его точке было пропорционально прилагаемому напряжению потока. В результате достигается наиболее эффективный перенос массы и энергии входным потоком. ОГМС также способна импортировать избыточную свободную энергию потока (отрицательную энтропию) во внешнюю среду, сохраняя или даже повышая при этом внутреннюю организованность. Таким образом, Р. Чорли заложил основу аналитико-динамического изучения рельефа как результата (индикатора) энергетической настройки всей ОГМС.

Идеи Р. Чорли практически сразу нашли поддержку и получили относительно широкое развитие в отечественной геоморфологии, в частности:

- А.Д. Арманд [1963] на ряде примеров обосновал определяющее влияние обратных связей на саморазвитие различных типов рельефа (ледниковых, склоновых, русловых);
- Н.А. Флоренсов [1978] ввел понятие «геоморфологическая формация», подразумевающего, что рельеф образуется в процессе воздействия на субстрат различных географических факторов и ответной реакции субстрата на эти воздействия;
- О.В. Кашменская [1980] впервые сформулировала и концептуально обосновала строгое определение геоморфологической системы в виде открытой, многоуровневой, саморегулирующейся подсистемы литосферы, обладающей свойствами динамического равновесия, устойчивости, самоуправления, взаимосвязанности и эмерджентности.

Основной движущей силой развития рельефа земной поверхности является взаимодействие эндогенных и экзогенных сил [Тимофеев, 1972; Флоренсов, 1978] или, в более общем смысле, энергетических полей Земли [Кашменская, 1980]. Исходя из этого, Н.А. Флоренсов [1978] в рамках оригинального формационного подхода предлагает рассматривать рельеф в качестве индикатора баланса рельефообразующих

литодинамических потоков, его вещественным или материальным проявлением. На широкие возможности балансовых методов изучения процессов обмена веществом и энергией для количественной оценки межкомпонентных и межформационных связей в ОГМС неоднократно указывала в своих работах О.В. Кашменская [1980].

Важной методологической особенностью является обязательное совместное рассмотрение в рамках геоморфологической формации не только закономерного сочетания форм земной поверхности и литодинамических потоков, но и геологического субстрата, его истории и структуры [Флоренсов, 1978] (триединая сущность «результат–процесс–вещество» в рамках морфолитогенеза Ю.Г. Симонова с соавторами [1998]). По мнению Н.А. Флоренсова [1978] любой экспонированный геологический субстрат в любых природных условиях неизбежно преобразуется в различные формы рельефа. В более широкой трактовке В.О. Таргульяна [2019] указано, что если любая активная природная среда контактирует с твердофазным неинертным субстратом, то в его приповерхностном слое неизбежно начинается экзогенез.

Результаты современных исследований показывают повсеместное распространение эоловых процессов («всюдность» В.П. Чичагова [2011]), при этом в с semiаридных, субгумидных, гумидных и криоаридных районах эоловые агенты большую часть года неактивны. В остальное время они находятся в состоянии постоянной конкурентной борьбы за доступный субстрат. Конкуренция с другими агентами приводит в тому, что, например, водная эрозия и дефляция на одной и той же территории нередко проявляются совместно [Ларионов, 1993].

В работе [Field et al., 2009] на концептуальном уровне предложено два подхода к формализации водно-эолового взаимодействия:

– климатический – активность взаимодействия здесь определяется количеством осадков (максимальная – в semiаридной зоне), при этом авторы не учитывают криоаридную зону со сниженной долей осадков, и не вводят более релевантные климатические показатели эвапотранспирации или дефляционного потенциала ветра (рис. 1);

– мультишаблонный – наиболее активным взаимодействием, по мнению авторов, характеризуется ландшафтный уровень (10^3 – 10^5 м), при этом наиболее востребованы для конкурирующих экзогенных агентов осадки песчано-алевритового гранулометрического состава (рис. 2).

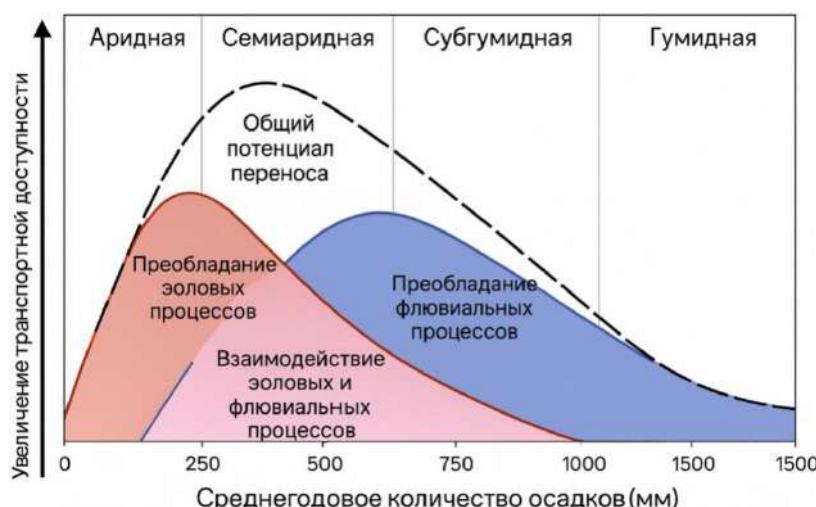


Рис. 1. Интенсивность взаимодействия эоловых и флювиальных процессов в зависимости от климатических условий (по: [Field et al., 2009] с изменениями)

Fig. 1. Intensity of interaction between aeolian and fluvial processes depending on climatic conditions (from:[Field et al., 2009] with modifications)

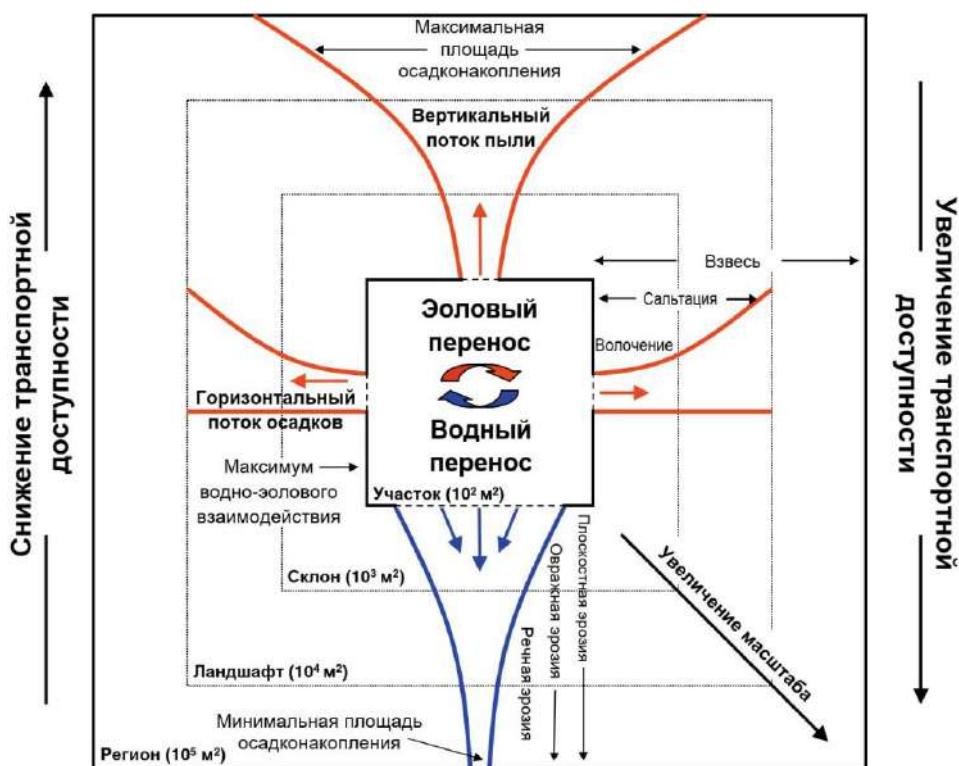


Рис. 2. Интенсивность взаимодействия эоловых и флювиальных процессов в зависимости от масштабного уровня (по: [Field et al., 2009] с изменениями)

Fig. 2. Intensity of interaction between aeolian and fluvial processes depending on the spatial scale (from: [Field et al., 2009] with modifications)

В исследовании [Field et al., 2009] отмечено, что в зоне максимального взаимодействия, особенно в случае нарушения почвенно-растительного покрова, водный и ветровой потоки активно обмениваются материалом. В качестве непосредственного вещественного результата такого взаимодействия потоков можно привести водно-эоловую фацию эоловых отложений, выделяемую при изучении покровных песчаных отложений, в частности, в Северной Европе [Kalińska-Nartisa et al., 2017].

Более сложный тип взаимодействия, который в современной литературе нашел отражение в виде «гляциоэоловой» концепции [Derbyshire, Owen, 2018], определяется периодами глобального похолодания и развития покровных плейстоценовых оледенений. На примере Европы и Северной Америки детально изучены эоловые отложения и формы рельефа в экстрагляциальной и прогляциальной зонах [Brodzikowski, van Loon, 1990; Seppälä, 2004; Kutuzov et al., 2019]. Влияние оледенения в этом отношении проявляется сразу по нескольким направлениям [Derbyshire, Owen, 2018]:

- накопление пылеватых и тонкозернистых частиц как непосредственно на поверхности ледника (осаждение из атмосферы), так и в результате водно-ледникового переноса (осаждение в подпрудных водоемах);
- формирование устойчивого барического градиента и, как следствие, развитие катабатических ветров, обладающих значительным дефляционным потенциалом вне зависимости от времени года (особенно в период дегляциации).

Авторы «гляцио-эоловой» концепции [Derbyshire, Owen, 2018] детально не раскрывают роль водно-ледниковых потоков при формировании материковых дюн, которые упоминаются только в рамках литературного обзора. Основное внимание уделяется мелкодисперсному материалу и его непосредственному переносу ветром на дальние расстояния (на примере *European Sand Belt* и других районов древней эоловой аккумуляции). Тем не менее «гляциоэоловую» концепцию можно рассматривать как

современное переосмысление более ранних представлений в четвертичной геологии об отнесении эоловых отложений материковых дюн к общему ряду сопряженных гляциогенных образований [Brodzikowski, van Loon, 1990].

Таким образом, в рамках данного исследования предлагается использовать научно обоснованные методологические допущения, о том, что эоловый рельеф на севере Западной Сибири является:

- составной частью открытой иерархически организованной эоловой морфолитосистемы, т.е. развивается и сохраняет устойчивость непосредственно в результате ветрового воздействия (отражает его интенсивность и длительность);
- составной частью ледниковой геоморфологической формации – развивается в постледниковой обстановке и имеет генетическую связь с песчаными водно-ледниковыми осадками;
- результатом конкурентного водно-эолового взаимодействия, т.е. имеет неразрывную связь с процессами водной денудации и аккумуляции песчаного материала в условиях гумидного и криоаридного климата.

Результаты и их обсуждение

Результаты многочисленных исследований [Земцов, 1976; Сизов, 2015, 2025b; Зыкина и др., 2017] показывают, что эоловая морфолитосистема, развивающаяся в постледниковых материковых обстановках (ЭМПМО) севера Западной Сибири, выражена на трех иерархических уровнях:

- макроуровень – зона распространения покровного оледенения;
- мезоуровень – зандровые равнины, долины стока талых ледниковых вод, прибрежные зоны ледниково-подпрудных водоемов, речные террасы и дельты современных рек;
- микроуровень – эоловые массивы, включающие котловины выдувания, парabolicеские дюны и участки оголенных развеиваемых песков.

Пространственные границы ЭМПМО на макроуровне совпадают с границами распространения покровных оледенений среднего и позднего неоплейстоцена (рис. 3). На мезоуровне границы выделяются на основе детальной палеогеографической интерпретации геологического и геоморфологического строения территории [Земцов, 1976]. На микроуровне основой для выделения границ служит ландшафтная индикация хвойных лишайниковых редколесий [Сизов и др., 2017].

По вертикали нижняя граница ЭМПМО прослеживается в зоне контакта эоловых песков с нижележащими водными или водно-ледниковыми осадками [Земцов, 1962; Nazarov et al., 2022]. Верхняя граница на участках оголенных песков непосредственно контактирует с нижней границей атмосферы, либо, в случае стабилизации подвижных песков почвенно-растительным покровом, проходит по контакту с элювиальным горизонтом подзолов [Сизов, 2015].

Таким образом, обобщенная геоморфологическая структура ЭМПМО состоит из следующих зон накопления и переноса песчаного материала:

- зоны аккумуляции водно-ледниковых осадков (исходного субстрата) – включает пояс краевых ледниковых образований, зандровые равнины и ложбины стока талых ледниковых вод, а также участки развития временных ледниково-подпрудных водоемов [Sizov, 2021];
- транзитной зоны переноса и трансформации (переотложения) исходных водно-ледниковых осадков – включает речные долины более молодого по отношению к оледенению возраста (в т.ч. современные) [Зыкина и др., 2017];

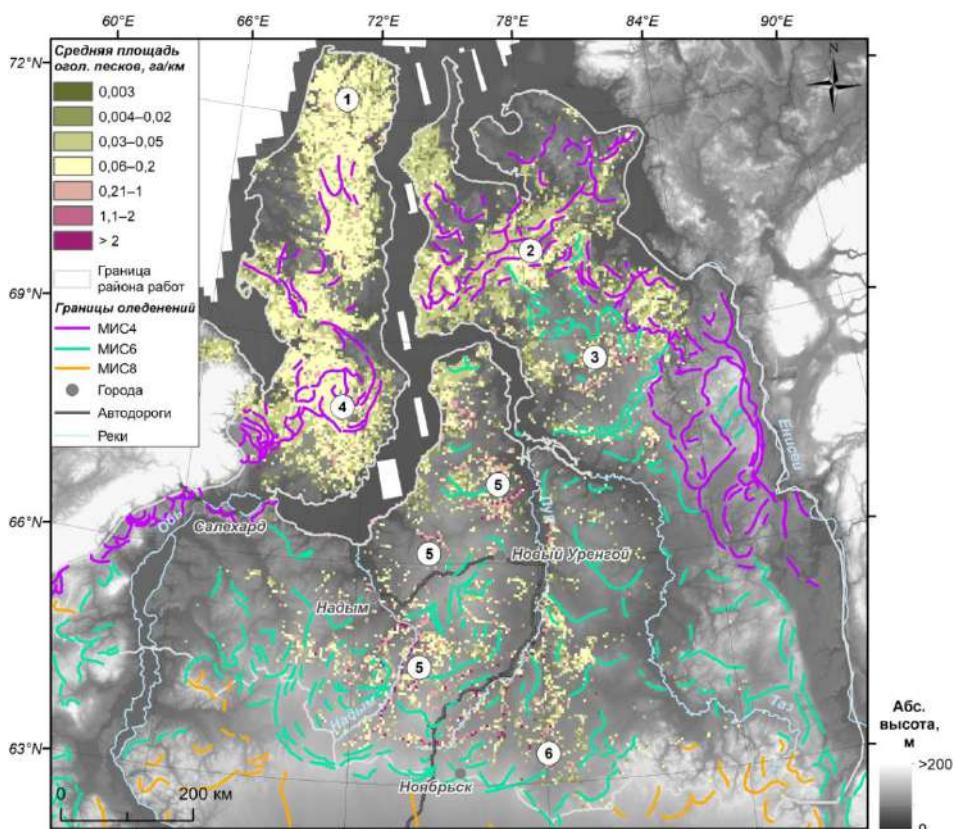


Рис. 3. Пространственное соотношение участков оголенных эоловых песков и конечно-моренных гряд: 1) древняя дельта р. Обь; 2) зандровые отложения к югу от конечной морены раннезырянского оледенения; 3) водно-ледниковые отложения в бассейне р. Мессояхса; 4) водно-ледниковые отложения в зоне конечной морены карского (раннезырянского) оледенения; 5) переотложенные водно-ледниковые отложения в долинах современных рек; 6) зандровые отложения тазовского оледенения на водоразделах (МИС – морская изотопная стадия)

Fig. 3. Spatial relationships between exposed aeolian sand areas and terminal moraine ridges:

- 1) ancient Ob River delta;
- 2) outwash deposits to the south of the terminal moraine of the Early Zyryan glaciation;
- 3) fluvio-glacial deposits in the Messoyakha River basin;
- 4) fluvio-glacial deposits in the zone of the terminal moraine of the Kara (Early Zyryan) glaciation;
- 5) redeposited fluvio-glacial deposits in the valleys of modern rivers;
- 6) outwash deposits of the Taz glaciation on watersheds (MIS – marine isotope stage)

— зоны аккумуляции производных эоловых осадков — для дюнной фации (параболические дюны, периферические валы и поперечные дюны котловин выдувания) охватывает водораздельные пространства и прибрежные участки реки и озер, для водно-эоловой фации (перевевание на отмелях) охватывает прибрежные участки водоемов; для покровной фации отмечается практически повсеместное (плащеобразное, «всюдное») распространение [Forman et al., 2002; Астахов, Назаров, 2010].

При строгом энергетически обусловленном формационном подходе к рассмотрению ЭМПМО можно выделить всего три базовых условия, которые необходимы для ее формирования, развития и сохранения устойчивости:

1) наличие внешнего действия в виде устойчивого притока свободной энергии — достигается за счет активного (т.е. превышающего критический порог) ветрового воздействия, создаваемого, в частности, барическим градиентом в периоды смены глобальных климатических фаз потепления и похолодания (в конце неоплейстоцена градиент был обусловлен фронтом отступающего льда) [Сизов, 2025b];

2) отсутствие значимого внутреннего противодействия со стороны растительности (*положительная обратная связь сильнее всех отрицательных*) — решающее значение

имеет переменный гидрологический режим водных объектов, препятствующий развитию растительного покрова на прибрежных отмелях (режим обусловлен краткосрочными речными паводками и долгосрочными регрессиями ледниково-подпрудных озер и морских бассейнов);

3) наличие доступного субстрата в виде песчаных осадков водно-ледникового и водного генезиса – развеянию преимущественно подвергаются устойчивые к физическому выветриванию монокварцевые («зрелые») пески, которые в пределах рассматриваемой территории характеризуются широким пространственным распространением на всех геоморфологических уровнях [Sizov et al., 2020].

В рамках устойчивого развития внутренние процессы (функционирование) ЭМПМО совместно определяются процессами:

- физического переноса песчаного материала водным потоком;
- физического переноса песчаного материала воздушным потоком;
- физического выветривания песчаного материала в условиях криолитозоны;
- биологической стабилизации эолового рельефа растительностью;
- антропогенной трансформации песчаного материала и форм рельефа в результате прямого механического воздействия [Жеребятьева, Сизов, 2022; Сизов, 2025a].

Выходные литодинамические потоки ЭМПМО определяются особенностями перераспределения тепла и влаги в пределах эоловых массивов, выражающихся в формировании особых эолово обусловленных ландшафтных (геоботанических, зоологических, почвенных) ассоциаций [Сизов и др., 2017].

Ранее проведенные исследования [Сизов, 2025b] позволили выделить основные количественные показатели функционирования (динамики) ЭМПМО (см. таблицу), которые достаточно точно и достоверно определяются в ходе регулярных дистанционных и наземных наблюдений. Сравнительный анализ количественных показателей за различные временные периоды в полной мере обеспечивает возможность применения балансовых методов при выявлении особенностей и параметров внутренних и внешних связей ЭМПМО [Кашменская, 1980]. Стоит отметить, что морфометрические и морфодинамические параметры эоловых форм рельефа являются основным способом выражения и индикатором обратных связей в ЭМПМО. Примеры положительных и отрицательных зависимостей показаны на рис. 4, 5.

Количественные показатели динамики ЭМПМО
Quantitative indicators of the dynamics of the Postglacial Continental Aeolian Morpholithosystem

| № | Показатель | Единица измерения |
|-----|---|-------------------|
| 1. | Мощность и разнообразие различных фаций эоловых отложений | м |
| 2. | Относительная высота поперечных дюн и аккумулятивных валов по периферии котловин выдувания | м |
| 3. | скорость смещения поперечных дюн и аккумулятивных валов по периферии котловин выдувания | м/год |
| 4. | Суммарная доля площади оголенных песков | % |
| 5. | Динамика площади оголенных песков | га/год |
| 6. | Линейные и угловые параметры котловин выдувания (площадь, периметр, глубина, наклон, ориентировка продольной и поперечной осей) | га, км, м, °, ° |
| 7. | Динамика эоловых наносов в пределах и по периферии котловин выдувания (межгодовая, сезонная) | см/год |
| 8. | Динамика уровня грунтовых вод (межгодовая, сезонная) в верхней части эоловой толщи и скорость заболачивания территории | см/год |
| 9. | Динамика зарастания подвижных песков | га/год |
| 10. | Динамика промерзания и оттаивания верхней части эоловой толщи | см |
| 11. | Динамика площади участков с механическими нарушениями почвенно-растительного покрова | га/год |

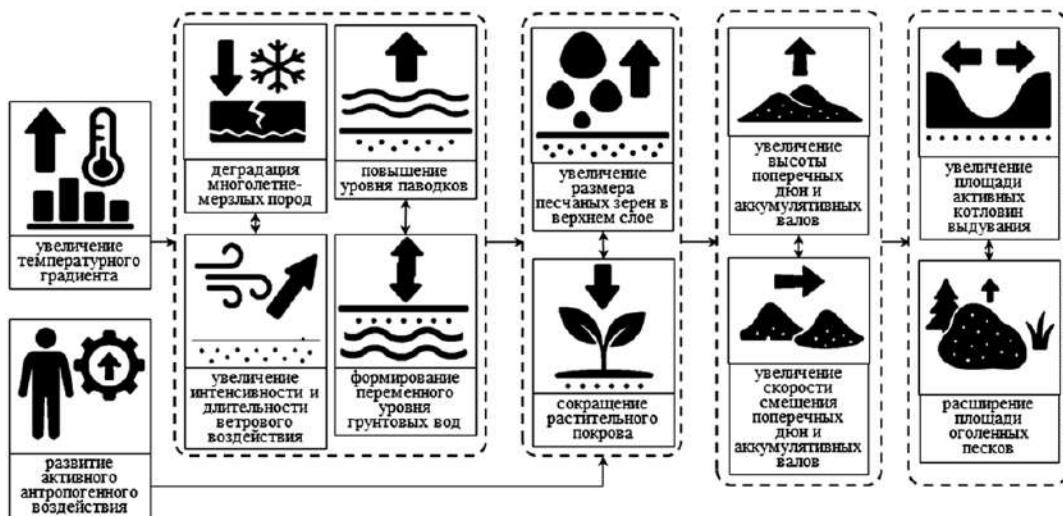


Рис. 4. Пример положительной обратной связи в ЭМПМО

Fig. 4. Example of positive feedback in the Postglacial Continental Aeolian Morpholithosystem

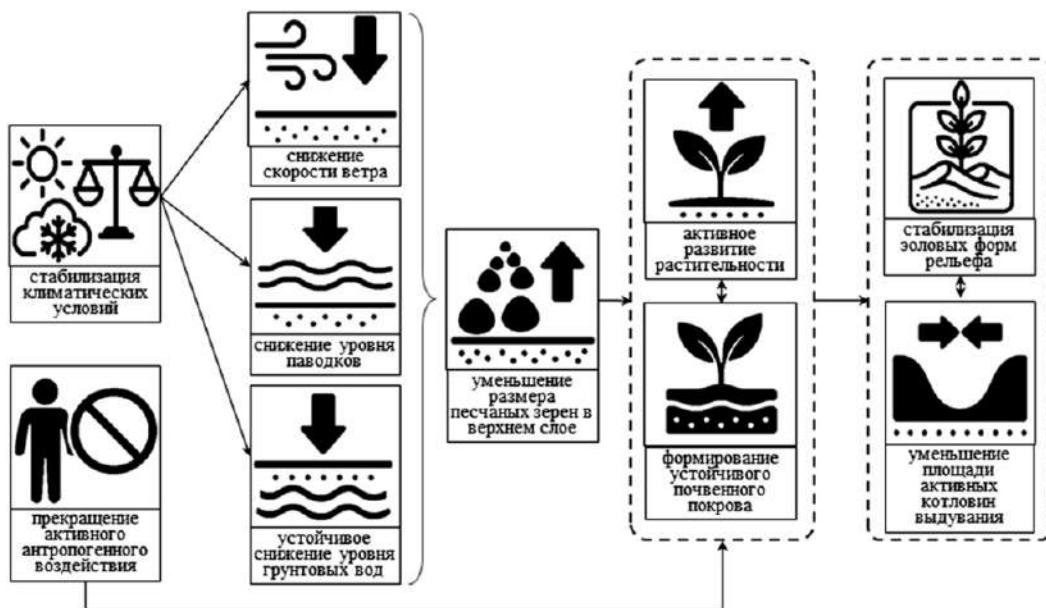


Рис. 5. Пример негативной обратной связи в ЭМПМО

Fig. 5. Example of negative feedback in the Postglacial Continental Aeolian Morpholithosystem

Геолого-геоморфологической основой физической устойчивости ЭМПМО (возможности долгосрочного сохранения эоловых форм и их геоморфологической памяти) в рамках одного эрозионно-аккумулятивного цикла являются:

- отсутствие естественных площадных эрозионных агентов на фоне устойчивости кварцевых зерен к выветриванию (физическому, криогенному);
- отсутствие иных по отношению к эоловым условий для площадной аккумуляции осадочного материала (за исключением биогенных остатков на участках заболачивания);
- промывной водный режим песчаной тощи в гумидных климатических условиях значительного переувлажнения территории;
- низкий биопродуктивный потенциал песчаных пород, сдерживающий их долгосрочное закрепление почвенно-растительным покровом;
- кратковременный и локальный характер антропогенного (механического) воздействия [Сизов, 2025а].

Важно отметить, что физическая устойчивость ЭМПМО является основным геоэкологическим свойством, которое используется человеком в рамках хозяйственной деятельности [Sizov et al., 2022; Сизов и др., 2023]:

- прямо – посредством размещения объектов инфраструктуры в пределах эоловых массивов и в качестве строительного материала;
- косвенно – посредством механического переноса эолового песчаного материала в пределы неустойчивых геоморфологических систем (мерзлые болота, поймы рек) для создания искусственного каркаса устойчивости.

Пространственное развитие ЭМПМО в пределах рассматриваемой территории ограничивает высокая степень неоднородности гранулометрического состава, увлажнения и промерзания приповерхностного слоя. Широкое распространение ледниковых и водно-ледниковых отложений суглинистого и глинистого состава создает условия для переувлажнения замкнутых понижений и выровненных водораздельных пространств. На участках заболачивания происходит аккумуляция органических осадков, локальному разеванию здесь подвергаются только вершины минеральных бугров и гряд пучения (литопальса). Длительное сезонное промерзание верхней части грунтовой толщи существенно сокращает период активного эолового переноса в течение года. В результате естественные анизотропные барьеры (ледниковые гряды, торфяные болота, участки развития многолетней мерзлоты) препятствуют формированию протяженных непрерывных зон эоловой дефляции и аккумуляции [Sizov, 2021].

Полученные результаты позволяют представить полный криогидроэоловый эрозионно-аккумулятивный цикл развития ЭМПМО в виде серии последовательных этапов, которые предполагают:

- 1) формирование в ледниковых обстановках исходной толщи водно-ледниковых криогенно выветрелых («зрелых») песков на водоразделах и пологих склонах (ледниковый этап эрозии и аккумуляции);
- 2) размыв и переотложение в водных обстановках исходной водно-ледниковой толщи с дальнейшей аккумуляцией фации перигляциального аллювия в пределах террасового комплекса всех основных рек (водный внеледниковый этап эрозии и аккумуляции);
- 3) активизацию эоловой деятельности (дефляция и последующая аккумуляция дюнной, покровной и водно-эоловой фаций) на водоразделах, пологих склонах и речных террасах во время климатических изменений на фоне повышенного уровня водности и переменного гидрологического режима водных объектов (водно-эоловый этап эрозии и аккумуляции).
- 4) стабилизация и консервация (длительное сохранение) эоловых массивов путем формирования специфического сочетания почвенно-растительного покрова (лишайниковые редколесья на подзолах) (эолово-биологический этап аккумуляции).

При формировании и развитии ЭМПМО этапы 1 и 2 являются необходимыми, а 3 и 4 – достаточными. В рамках открытой геоморфологической системы этапы 2 и 3 могут развиваться одновременно на различных участках в зависимости от локального сочетания соответствующих рельефообразующих факторов.

Выделенные этапы эрозионно-аккумулятивного цикла развития ЭМПМО на севере Западной Сибири могут быть привязаны к абсолютной геохронологической шкале. Этому способствует накопленный к настоящему времени существенный массив абсолютных датировок эоловых песков, а также подстилающих и перекрывающих их четвертичных отложений различного генезиса [Астахов, Назаров, 2010; Sizov et al., 2020]. Геохронологические этапы развития ЭМПМО включают:

- I. Ледниковый этап (МИС-6/4): формирование обширных зандровых и озерно-ледниковых аккумулятивных песчаных равнин.
- II. Водный внеледниковый этап (МИС-5/3): речное переотложение водно-

ледниковых песчаных отложений, аккумуляция фации перигляциального аллювия в речных долинах.

III. Водно-эоловый этап (МИС-2): формирование котловин выдувания и параболических дюн во время глобального климатического перехода от потепления к похолоданию и от похолодания к потеплению (эоловая активизация не ранее 34 тыс. л.н.; стабилизация – не позднее 12 тыс. л.н.).

IV. Эолово-биологический этап (голоцен): повсеместно затухание эоловых процессов на фоне развития заболачивания и почвообразования (начиная с 12–11 тыс. л.н. до настоящего времени); эпизодическая эоловая активизация в результате локального сочетания благоприятных условий и антропогенного воздействия.

Таким образом, результаты критического обобщения позволяют на основе методологии общей теории систем обосновать новую концепцию криогидроэолового развития в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири особого типа эоловой морфолитосистемы. В общем виде ЭМПМО представляет собой открытую иерархически организованную геоморфологическую систему, в которой эоловые процессы функционально объединяют и завершают эрозионно-аккумулятивный цикл трансформации песчаных осадков, инициируемый рельефообразующим воздействием покровного оледенения.

Существующие концепции водно-эолового [Field et al., 2009] и гляцио-эолового взаимодействия [Derbyshire, Owen, 2018], получившие за последние годы широкое признание в научной литературе, опираются на обширный фактический материал, полученный в результате длительного изучения материковых дюн в высокоширотных районах Европы, Северной и Южной Америки. В силу своей уникальности и интразональности, северные материковые дюны являются популярным у зарубежных ученых объектом исследований разнообразной тематики [McKee, 1979; Ryè, Tsoar, 2009; Goudie, 2013; Lancaster et al., 2013; Livingstone, Warren, 2019; Lancaster, 2023], в частности:

- значительное количество работ посвящено геологическим и палеогеографическим вопросам происхождения эоловых отложений в контексте климатических изменений и формирования рельефа в конце неоплейстоцена и начале голоцена;
- сформирована обширная база данных абсолютных датировок эоловых отложений по всем континентам (более 5700 люминесцентных и 500 радиоуглеродных дат);
- на примере песчаных дюн проводятся многочисленные исследования первичных сукцессионных изменений растительности, расширяющих научное понимание закономерностей смены и восстановления растительных сообществ в неустойчивых и экстремальных условиях арктического климата;
- появление огромного объема разнородных дистанционных данных (аэрофотоснимки, космические снимки, лидарная съемка) стимулирует разнообразные исследования динамики природных процессов в пределах массивов подвижных песков (скорость перемещения дюн, интенсивность эоловой аккумуляции, активность зарастания дюн и др.).

Объединение двух концепций в рамках общего криогидроэолового взаимодействия представляется органичным шагом, поскольку на завершающем этапе покровных оледенений высвобождается значительный объем энергии не только воздушных, но и водных потоков. Период «обилия вод» в процессе дегляциации отмечали многие ученые за последнюю более чем вековую историю изучения последствий покровных оледенений, в т.ч. на примере Западной Сибири [Лунгерсгаузен, 1955; Земцов, 1962].

Для равнинных условий критически важным представляется учет геоморфологической памяти, которая обеспечивает устойчивую во времени парагенетическую связь различных типов рельефа и накопленного субстрата. Следовательно особенности взаимоотношений структурных элементов безусловно выступают одним из ключевых объектов системного анализа, а саму геоморфологическую

систему следует рассматривать как историко-генетическую [Асеев, 1987]. Именно введение времени как дополнительной переменной позволяет в рамках единого эрозионно-аккумулятивного цикла выделить все этапы преобразования песчаных осадков, которые могут быть значительно разнесены по временной шкале, но при этом сохранять явную парагенетическую связь.

Предложенный Р. Чорли [Chorley, 1962] принцип локального энергетического баланса («напряжение потока \approx прочность субстрата»), за счет которого открытая система приходит в состояние динамического равновесия, не объясняет механизма развития системы в целом. Балансовый метод, предложенный О.В. Кашменской [1980], статистически показывает общую количественную динамику геоморфологической системы, не обладая при этом объяснительной силой, т.е. он не может использоваться при геоморфологическом моделировании и прогнозировании. При этом именно познание механизма рельефообразования Н.А. Флоренсов считал наиболее сложным, поскольку «одна и та же приближенная к поверхности структура субстрата ... может породить разные морфологические образования и быть как доведена до высокой конформности внешних очертаний внутренним формам субстрата, так и уведена очень далеко от них» [Флоренсов, 1978, стр. 28].

Перспективной теоретической новацией может стать развитие в рамках предложенной концепции вариационного подхода к строгой формализации процесса саморазвития и саморегуляции открытой ЭМПМО. Вариационный подход позволяет прямо задать критерии оптимизации всей открытой системы в целом, на основе которых могут быть строго выведены морфологические параметры рельефа (высота дюны, уклоны наветренного и подветренного склона, величина междюнного расстояния и др.) в зависимости от различных режимов и типов потока [Phillips, 2021]. Это открывает широкие возможности для применения численных методов при решении как прямой (расчет морфометрии рельефа по параметрам потока), так и обратной (реконструкция потока по параметрам рельефа) задачи. Ключевое преимущество вариационного подхода состоит в том, что он позволяет описать геоморфологические механизмы с помощью универсальных физических законов и принципов, повышая таким образом уровень формализации и общеначальной универсальности в геоморфологии.

Успешные примеры реализации вариационного подхода при моделировании процессов водной эрозии и дефляции почв [Huang, Nanson, 2000; Courrech du Pont et al., 2014] явно демонстрируют высокий потенциал разработки данного направления. Применительно к открытой ЭМПМО в качестве фундаментального принципа саморазвития и саморегуляции можно предложить эффективную минимизацию свободной энергии ветрового потока всей совокупностью эоловых и генетически сопряженных с ними форм рельефа.

Заключение

Основным результатом проведенного исследования является детальное представление единой концепции криогидроэолового рельефообразования. Концепция предполагает рассмотрение эоловых морфолитосистем, развивающихся в постледниковых материковых обстановках севера Западной Сибири, в качестве открытых иерархически организованных геоморфологических систем, в которых эоловые процессы функционально объединяют и завершают эрозионно-аккумулятивный цикл трансформации песчаных осадков, инициируемый рельефообразующим воздействием покровного оледенения.

Разработанная концепция позволяет интегрировать существующую методологию открытых систем, формационный подход, а также предложенные ранее концепции водно-эолового и гляцио-эолового взаимодействия. Принципиальное отличие предлагаемой

концепции от существующих теоретических разработок определяется включением:

- дополнительного промежуточного внеледникового этапа водного транзита исходных водно-ледниковых песчаных осадков;
- положения о вторичной водно-эоловой активизации в рамках одного эрозионно-аккумулятивного цикла (ледниковый этап необходим только в начальной фазе цикла).

Геоморфологической основой пространственно-временной организации ЭМПМО, как способности сохранять определенный режим (порядок смены функциональных состояний) в определенных пространственных границах и временных рамках (устойчивость), является:

- длительное сохранение физико-химических свойств «зрелых» водно-ледниковых песчаных осадков (исходного субстрата), благодаря их устойчивости к физическому и криогенному выветриванию;
- устойчивая генетическая взаимосвязь процессов водно-ледникового, водного и эолового рельефообразования, обеспечивающих последовательное (каскадное) преобразование песчаного материала (исходного субстрата);
- эффективная минимизация свободной энергии ветрового потока всей совокупностью эоловых форм рельефа как фундаментальный физический вариационный принцип саморазвития и саморегуляции открытой эоловой морфолитосистемы.

Такое разделение отвечает требованиям системной формализации и соответствует формуле формационного анализа Н.А. Флоренсова «субстрат – механизм – результат».

Список литературы

- Арманд А.Д. 1963. Обратная связь и саморазвитие рельефа. В кн.: Вопросы географии. Сборник 63. Количественные методы в геоморфологии. М., Географгиз: 49–63.
- Асеев А.А. 1987. Геоморфологические корреляции: настоящее и будущее. Геоморфология, 1: 17–21.
- Астахов В.И. 1999. Последнее оледенение арктических равнин России (Строение осадочного комплекса и геохронология). Дис. ... д. г.-м. наук. СПб., 384 с.
- Астахов В.И., Назаров Д.В. 2010. Стратиграфия верхнего неоплейстоцена севера Западной Сибири и ее геохронометрическое обоснование. Региональная геология и металлогения, 43: 36–47.
- Величко А.А., Тимирева С.Н. 2005. Западная Сибирь – великая позднеледниковая пустыня. Природа, 5(1077): 54–63.
- Воскресенский К.С. 2001. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. М., Издательство Географического факультета Московского государственного университета, 262 с.
- Жеребятьева Н.В., Сизов О.С. 2022. Особенности видового разнообразия и структуры растительного покрова на эловых формах рельефа в долине р. Надым. Географическая среда и живые системы, 2: 6–24. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-2-6-24>
- Земцов А.А. 1962. Развевание песков на севере Западно-Сибирской низменности. В кн.: Вопросы географии Сибири. Выпуск 4. Томск, Издательство Томского университета: 81–90.
- Земцов А.А. 1976. Геоморфология Западно-Сибирской равнины: Северная и центральная части. Томск, Издательство Томского университета, 343 с.
- Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О., Овчинников И.Ю., Сизов О.С., Соромотин А.В. 2017. Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья. Криосфера Земли, 21(6): 14–25. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6\(14-25\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6(14-25))
- Зыкина В.С., Зыкин В.С., Маликова Е.Л. 2023. Эоловый рельеф Западной Сибири. В кн.: XXXVII пленум Геоморфологической комиссии Российской Академии Наук. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, Иркутск, 05–10 сентября 2023. Иркутск, Издательство Института земной коры СО РАН: 134–138.
- Капитонова О.А., Селиванов А.Е., Капитонов В.И. 2017. Структура растительных сообществ начальных стадий сукцессий на антропогенных песчаных обнажениях лесотундр и северной

- тайги Западной Сибири. Сибирский экологический журнал, 24(6): 731–745. <https://doi.org/10.15372/SEJ20170606>
- Кашменская О.В. 1980. Теория систем и геоморфология. Новосибирск, Наука. Сибирское отделение, 119 с.
- Коронатова Н.Г., Миляева Е.В. 2011. Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги Западной Сибири. Сибирский экологический журнал, 18(5): 697–705.
- Ларионов Г.А. 1993. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М., Издательство Московского государственного университета, 200 с.
- Лоботросова С.А. 2014. Восстановление растительности на эоловых формах рельефа в северной тайге Западной Сибири. Криосфера земли, 18(1): 83–87.
- Лунгерсгаузен Г.Ф. 1955. Некоторые итоги аэрогеологических исследований в Западной Сибири (Очерк новейших тектонических движений). Советская геология, 45: 52–77.
- Москаленко Н.Г. 1999. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Новосибирск, Наука, 280 с.
- Сизов О.С. 2015. Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири. Новосибирск, Академическое издательство «Гео», 121 с.
- Сизов О.С. 2025а. Особенности развития техногенной нарушенности на севере Западной Сибири в связи с добычей и транспортировкой нефти и газа. Экология и промышленность России, 29(3): 58–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2025-3-58-65>
- Сизов О.С. 2025б. Картографическая оценка морфометрических и морфодинамических характеристик наиболее крупных котловин выдувания на севере Западной Сибири. Геодезия и картография, 1019(5): 28–38. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2025-1019-5-28-38>
- Сизов О.С., Лоботросова С.А., Соромотин А.В. 2017. Лишайниковые сосняки северной тайги Западной Сибири как индикатор ледниковых условий рельефообразования. Проблемы региональной экологии, 2: 60–68.
- Сизов О.С., Федоров Р.Ю., Соромотин А.В. 2023. Оценка эффективности мер по ветрозащите населения города Надым. Экология урбанизированных территорий, 3: 93–102.
- Симонов Ю.Г., Конищев В.Н., Лукашов А.А., Мысливец В.И., Никифоров Л.Г., Рычагов Г.И. 1998. Учение о морфолитогенезе и его место в географической науке. Исторические аспекты. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 4: 41–48.
- Таргульян В.О. 2019. Теория педогенеза и эволюции почв. М., ГЕОС, 295 с.
- Тимофеев Д.А. 1972. О некоторых геоморфологических законах. Геоморфология, 2: 3–12.
- Флоренсов Н.А. 1978. Очерки структурной геоморфологии. М., Наука, 237 с.
- Чичагов В.П. 2011. Проблемы аридной геоморфологии. Геоморфология, 2: 13–23.
- Brodzikowski K., van Loon A.J. 1990. Glacigenic Sediments (Developments in Sedimentology, Volume 49). New York, Elsevier Science, 673 p.
- Chorley R.J. 1962. Geomorphology and General Systems Theory. US Government Printing Office. Professional Paper, 500-B: 1–10. <https://doi.org/10.3133/pp500B>
- Courrech du Pont S., Narteau C., Gao X. 2014. Two Modes for Dune Orientation. Geology, 42(9): 743–746. <https://doi.org/10.1130/G35657.1>
- Derbyshire E., Owen L.A. 2018. Glacioaeolian Processes, Sediments, and Landforms. In: Past Glacial Environments. Elsevier: 273–308. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-8.00008-7>
- Field J.P., Breshears D.D., Whicker J.J. 2009. Toward a More Holistic Perspective of Soil Erosion: Why Aeolian Research Needs to Explicitly Consider Fluvial Processes and Interactions. Aeolian Research, 1(1–2): 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2009.04.002>
- Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., Manley W.F., Lokrantz H. 2002. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, Western Yamal Peninsula, Russia. Quaternary Research, 57(3): 355–370. <https://doi.org/10.1006/qres.2002.2322>
- Goudie A.S. 2013. Arid and Semi-Arid Geomorphology. New York, Cambridge University Press, 467 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511794261>
- Huang H.Q., Nanson G.C. 2000. Hydraulic Geometry and Maximum Flow Efficiency as Products of the Principle of Least Action. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25(1): 1–16. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200001\)25:1<1::AID-ESP68>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200001)25:1<1::AID-ESP68>3.0.CO;2-2)

- Kalińska-Nartša E., Woronko B., Ning W. 2017. Microtextural Inheritance on Quartz Sand Grains from Pleistocene Periglacial Environments of the Mazovian Lowland, Central Poland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 28(4): 741–756. <https://doi.org/10.1002/ppp.1943>
- Kutuzov S., Legrand M., Preunkert S., Ginot P., Mikhaleko V., Shukurov K., Poliukhov A., Toropov P. 2019. History of Desert Dust Deposition Recorded in the Elbrus Ice Core. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19: 11105–11126. <https://doi.org/10.5194/acp-19-11105-2019>
- Lancaster N., Sherman D.J., Baas A.C.W. 2013. Aeolian Geomorphology. In: *Treatise on Geomorphology*. Rotterdam, Elsevier, 11: 439.
- Lancaster N. 2023. *Geomorphology of Desert Dunes*. London, Cambridge University Press, 361 p. <https://doi.org/10.1017/9781108355568>
- Livingstone I., Warren A. 2019. *Aeolian Geomorphology. A new introduction*. Oxford, John Wiley & Sons, 336 p. <https://doi.org/10.1002/9781118945650>
- McKee E.D. 1979. *A Study of Global Sand Seas*. Vol. 1052. US Government Printing Office, 429 p. <https://doi.org/10.3133/pp1052>
- Nazarov D.V., Nikolskaia O.A., Zhigmanovskiy I.V., Ruchkin M.V., Cherezova A.A. 2022. Lake Yamal, an Ice-Dammed Megalake in the West Siberian Arctic During the Late Pleistocene, ~60–35 ka. *Quaternary Science Reviews*, 289: 107614. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107614>
- Phillips J.D. 2021. *Landscape Evolution: Landforms, Ecosystems, and Soils*. Amsterdam, Elsevier, 356 p. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02719-3>
- Pye K., Tsoar H. 2009. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin, Springer, 464 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85910-9>
- Seppälä M. 2004. *Wind as a Geomorphic Agent in Cold Climates*. Cambridge, Cambridge University Press, 358 p.
- Sizov O. 2021. Predictive Mapping of Glacial and Fluvioglacial Landforms in the Nadym River Basin (North of West Siberia) with TanDEM-X DEM. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14: 5656–5666. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3077474>
- Sizov O., Fedorov R., Pechkina Y., Kuklina V., Michugin M., Soromotin A. 2022. Urban Trees in the Arctic City: Case of Nadym. *Land*, 11(4): 531. <https://doi.org/10.3390/land11040531>
- Sizov O., Konstantinov A., Volvakh A., Molodkov A. 2020. Timing and Sedimentary Record of Late Quaternary Fluvio-Aeolian Successions of the Tura-Pyshma Interfluve (SW Western Siberia, Russia). *Geosciences*, 10(10): 396. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100396>
- Von Bertalanffy L. 1950. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. *Science*, 111(2872): 23–29. <https://doi.org/10.1126/science.111.2872.23>

References

- Armand A.D. 1963. Obratnaya svyaz' i samorazvitie rel'efa [Feedback and Self-Development of Relief]. In: *Voprosy geografii. Sbornik 63. Kolichestvennye metody v geomorfologii* [Questions of Geography. Collection 63. Quantitative Methods in Geomorphology]. Moscow, Publ. Geografgiz: 49–63.
- Aseev A.A. 1987. Geomorfologicheskie korrelyatsii: nastoyashchee i budushchее [Geomorphological Correlations: Present and Future]. *Geomorfologiya*, 1: 17–21.
- Astakhov V.I. 1999. Poslednee oledenie arkticheskikh ravnin Rossii (Stroenie osadochnogo kompleksa i geokhronologiya) [The Last Glaciation of the Arctic Plains of Russia (Structure of the Sedimentary Complex and Geochronology)]. Diss. ... Dr. Geol.-Min. Sci. St. Petersburg, 384 p.
- Astakhov V.I., Nazarov D.V. 2010. Stratigrafiya verkhnego neopleystotsena severa Zapadnoy Sibiri i ee geokhronometricheskoe obosnovanie [Stratigraphy of the Upper Neopleistocene of the North of Western Siberia and Its Geochronometric Justification]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 43: 36–47.
- Velichko A.A., Timireva S.N. 2005. Western Siberia – a Great Late Ice Age Desert. *Priroda*, 5(1077): 54–63 (in Russian).
- Voskresenskiy K.S. 2001. Sovremennye rel'efoobrazuyushchie protsessy na ravninakh Severa Rossii [Modern Relief-Forming Processes on the Plains of Northern Russia]. Moscow, Publ. Faculty of Geography, Moscow State University, 262 p.

- Zherebyateva N.V., Sizov O.S. 2022. Peculiarities of Species Diversity and Structure of Vegetation Cover on Aeolian Relief Forms in the Nadym River Valley. *Geographical Environment and Living Systems*, 2: 6–24 (in Russian). <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-2-6-24>
- Zemtsov A.A. 1962. Razvevaniye peskov na severo Zapadno-Sibirskoy nizmennosti [Sand Deflation in the North of the West Siberian Lowland]. In: *Voprosy geografii Sibiri. Vypusk 4* [Questions of Geography of Siberia. Issue 4]. Tomsk, Publ. Tomsk University: 81–90.
- Zemtsov A.A. 1976. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny: Severnaya i tsentral'naya chasti* [Geomorphology of the West Siberian Plain: Northern and Central Parts]. Tomsk, Publ. Tomsk University, 343 p.
- Zykina V.S., Zykin V.S., Volvach A.O., Ovchinnikov I.Yu., Sizov O.S., Soromotin A.V. 2017. Upper Quaternary Deposits of the Nadym ob Area: Stratigraphy, Cryogenic Formations, and Deposition Environments. *Earth's Cryosphere*, 21(6): 14–25 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6\(14-25\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-6(14-25))
- Zykina V.S., Zykin V.S., Malikova E.L. 2023. Aeolian Relief of Western Siberia. In: XXXVII Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy. All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Irkutsk, 5–10 September 2023. Irkutsk, Publ. Institute of the Earth's Crust SB RAS: 134–138 (in Russian).
- Kapitonova O.A., Selivanov A.E., Kapitonov V.I. 2017. Structure of Plant Communities in the Early Succession Stages on Anthropogenic Sandy Outcrops of the Forest Tundra and Northern Taiga of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 24(6): 651–663 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1995425517060063>
- Kashmenskaya O.V. 1980. *Teoriya sistem i geomorfologiya* [Systems Theory and Geomorphology]. Novosibirsk, Publ. Nauka. Siberian Branch, 119 p.
- Koronatova N.G., Milyaeva E.V. 2011. Plant Community Succession in Post-Mined Quarries in the Northern-Taiga Zone of West Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 4(5): 513–518 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1995425511050109>
- Larionov G.A. 1993. *Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye otsenki* [Soil Erosion and Deflation: Basic Patterns and Quantitative Assessments]. Moscow, Publ. Moscow State University, 200 p.
- Lobotrosova S.A. 2014. Vegetation Recovery on Eolian Relief Forms in the Northern Taiga of West Siberia. *Earth's Cryosphere*, 18(1): 83–87 (in Russian).
- Lungersgauzen G.F. 1955. Nekotorye itogi aerogeologicheskikh issledovaniy v Zapadnoy Sibiri (Ocherk noveyshikh tektonicheskikh dvizheniy) [Some Results of Aerogeological Studies in Western Siberia (Essay on the Latest Tectonic Movements)]. Sovetskaya geologiya, 45: 52–77.
- Moskalenko N.G. 1999. *Antropogennaya dinamika rastitel'nosti ravnin kriolitozony Rossii* [Anthropogenic Dynamics of Vegetation in the Plains of the Cryolithozone of Russia]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 280 p.
- Sizov O.S. 2015. *Geoekologicheskie aspekty sovremennoy eolovykh protsessov severotaezhnoy podzony Zapadnoy Sibiri* [Geoecological Aspects of Modern Aeolian Processes in the Northern Taiga Subzone of Western Siberia]. Novosibirsk, Publ. Academic "Geo", 124 p.
- Sizov O.S. 2025a. Features of Development of Technogenic Disturbance in the North of Western Siberia in Connection with Oil and Gas Production and Transportation. *Ecology and Industry of Russia*, 29(3): 58–65 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2025-3-58-65>
- Sizov O.S. 2025b. Cartographic Assessing the Morphometric and Morphodynamic Characteristics of the Largest Blowout Depressions in the West Siberian North. *Geodesy and cartography*, 1019(5): 28–38 (in Russian). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2025-1019-5-28-38>
- Sizov O.S., Lobotrosova S.A., Soromotin A.V. 2017. Lichen Pine Forests of Northern Taiga of West Siberia as an Indicator of Glacial Relief Formation Conditions. *Regional Environmental Issues*, 2: 60–68 (in Russian).
- Sizov O.S., Fedorov R.Yu., Soromotin A.V. 2023. Assessment of the Effectiveness of Measures for Wind Protection for the Population of Nadym. *Ecology of urban areas*, 3: 93–102 (in Russian).
- Simonov Yu.G., Konishchev V.N., Lukashov A.A., Myslivets V.I., Nikiforov L.G., Rychagov G.I. 1998. Uchenie o morfolitogeneze i ego mesto v geograficheskoy nauke. Istoricheskie aspekty [The Doctrine of Morphotogenesis and Its Place in Geographical Science. Historical Aspects]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 4: 41–48.

- Targulyan V.O. 2019. Theory of Pedogenesis and Soil Change in Time. Moscow, Publ. GEOS, 295 p. (in Russian)
- Timofeev D.A. 1972. O nekotorykh geomorfologicheskikh zakonakh [On Some Geomorphological Laws]. Geomorfologiya, 2: 3–12.
- Florensov N.A. 1978. Ocherki strukturnoy geomorfologii [Essays on Structural Geomorphology]. Moscow, Publ. Nauka, 237 p.
- Chichagov V.P. 2011. Problems of Arid Geomorphology. Geomorfologiya, 2: 13–23 (in Russian).
- Brodzikowski K., van Loon A.J. 1990. Glacigenic Sediments (Developments in Sedimentology, Volume 49). New York, Elsevier Science, 673 p.
- Chorley R.J. 1962. Geomorphology and General Systems Theory. US Government Printing Office. Professional Paper, 500-B: 1–10. <https://doi.org/10.3133/pp500B>
- Courrech du Pont S., Narteau C., Gao X. 2014. Two Modes for Dune Orientation. Geology, 42(9): 743–746. <https://doi.org/10.1130/G35657.1>
- Derbyshire E., Owen L.A. 2018. Glacioaeolian Processes, Sediments, and Landforms. In: Past Glacial Environments. Elsevier: 273–308. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-8.00008-7>
- Field J.P., Breshears D.D., Whicker J.J. 2009. Toward a More Holistic Perspective of Soil Erosion: Why Aeolian Research Needs to Explicitly Consider Fluvial Processes and Interactions. Aeolian Research, 1(1–2): 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2009.04.002>
- Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., Manley W.F., Lokrantz H. 2002. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, Western Yamal Peninsula, Russia. Quaternary Research, 57(3): 355–370. <https://doi.org/10.1006/qres.2002.2322>
- Goudie A.S. 2013. Arid and Semi-Arid Geomorphology. New York, Cambridge University Press, 467 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511794261>
- Huang H.Q., Nanson G.C. 2000. Hydraulic Geometry and Maximum Flow Efficiency as Products of the Principle of Least Action. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25(1): 1–16. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200001\)25:1<1::AID-ESP68>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200001)25:1<1::AID-ESP68>3.0.CO;2-2)
- Kalińska-Nartisz E., Woronko B., Ning W. 2017. Microtextural Inheritance on Quartz Sand Grains from Pleistocene Periglacial Environments of the Mazovian Lowland, Central Poland. Permafrost and Periglacial Processes, 28(4): 741–756. <https://doi.org/10.1002/ppp.1943>
- Kutuzov S., Legrand M., Preunkert S., Ginot P., Mikhalev V., Shukurov K., Poliukhov A., Toropov P. 2019. History of Desert Dust Deposition Recorded in the Elbrus Ice Core. Atmospheric Chemistry and Physics, 19: 11105–11126. <https://doi.org/10.5194/acp-19-11105-2019>
- Lancaster N., Sherman D.J., Baas A.C.W. 2013. Aeolian Geomorphology. In: Treatise on Geomorphology. Rotterdam, Elsevier, 11: 439.
- Lancaster N. 2023. Geomorphology of Desert Dunes. London, Cambridge University Press, 361 p. <https://doi.org/10.1017/9781108355568>
- Livingstone I., Warren A. 2019. Aeolian Geomorphology. A new introduction. Oxford, John Wiley & Sons, 336 p. <https://doi.org/10.1002/9781118945650>
- McKee E.D. 1979. A Study of Global Sand Seas. Vol. 1052. US Government Printing Office, 429 p. <https://doi.org/10.3133/pp1052>
- Nazarov D.V., Nikolskaia O.A., Zhigmanovskiy I.V., Ruchkin M.V., Cherezova A.A. 2022. Lake Yamal, an Ice-Dammed Megalake in the West Siberian Arctic During the Late Pleistocene, ~60–35 ka. Quaternary Science Reviews, 289: 107614. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107614>
- Phillips J.D. 2021. Landscape Evolution: Landforms, Ecosystems, and Soils. Amsterdam, Elsevier, 356 p. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02719-3>
- Pye K., Tsoar H. 2009. Aeolian Sand and Sand Dunes. Berlin, Springer, 464 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85910-9>
- Seppälä M. 2004. Wind as a Geomorphic Agent in Cold Climates. Cambridge, Cambridge University Press, 358 p.
- Sizov O. 2021. Predictive Mapping of Glacial and Fluvioglacial Landforms in the Nadym River Basin (North of West Siberia) with TanDEM-X DEM. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14: 5656–5666. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3077474>
- Sizov O., Fedorov R., Pechkina Y., Kuklina V., Michugin M., Soromotin A. 2022. Urban Trees in the Arctic City: Case of Nadym. Land, 11(4): 531. <https://doi.org/10.3390/land11040531>



- Sizov O., Konstantinov A., Volvakh A., Molodkov A. 2020. Timing and Sedimentary Record of Late Quaternary Fluvio-Aeolian Successions of the Tura-Pyshma Interfluve (SW Western Siberia, Russia). *Geosciences*, 10(10): 396. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100396>
- Von Bertalanffy L. 1950. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. *Science*, 111(2872): 23–29. <https://doi.org/10.1126/science.111.2872.23>

Поступила в редакцию 13.08.2025;
поступила после рецензирования 28.09.2025;
принята к публикации 21.10.2025;

Received August 13, 2025;
Revised September 28, 2025;
Accepted October 21, 2025;

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сизов Олег Сергеевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Oleg S. Sizov, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for Integrated Geo-Geophysical Studies of Continental Shelf Hydrocarbon Development, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Методология исследования геосистем Methodology of Geosystems Research

УДК 631.4:502.55:665.6

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-8

EDN NHBEVH

Токсикологическая оценка загрязнения почв под товарными водами нефтяных месторождений

Дзюба Е.А., Мельникова С.Д.

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15
aea_eco@mail.ru, sveta.melnikova.03.03@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты по токсикологической оценке под товарных вод (ПНВ) нефтяных месторождений. Исследование проводилось с ПНВ, отобранными на Южном и Северном месторождениях Пермского края. В ходе исследования были использованы три тест-объекта: водоросль *Chlorella vulgaris*, ракчи *Daphnia magna* и кress-салат *Lepidium sativum*. Гидрохимический анализ ПНВ выявил высокие минерализацию, содержание хлоридов, нефтепродуктов, железа, сухого остатка и АПАВ. В статье особое внимание уделяется сравнению токсичности ПНВ Южного и Северного месторождений. Результаты показали, что ПНВ Южного месторождения обладают более выраженным токсическим эффектом, что вероятно, связано с повышенным содержанием АПАВ. Биотестирование на *Chlorella vulgaris* показало ингибирующее действие ПНВ даже при минимальных концентрациях (0,6 %), при этом острая токсичность наблюдалась при концентрациях от 11 % для Южного, и от 16,7 % для Северного месторождений. По реакции *Daphnia magna* так же получено ингибирующее действие ПНВ, особенно для Южного месторождения, где летальный эффект отмечен при концентрации ПНВ 2,5 %. Для Северного месторождения критической оказалась концентрация 8,35 %. Фитотестирование на *Lepidium sativum* выявило значительное снижение всхожести семян и морфометрических показателей растений при загрязнении почвы ПНВ. Получено, что растения, высаженные в предварительно загрязненную почву, демонстрируют большую устойчивость по сравнению с теми, которые подвергались загрязнению после прорастания. Это указывает на возможность адаптации растений к хроническому загрязнению, но также подчеркивает высокую уязвимость растений к резким выбросам ПНВ. Отмечено, что равномерное распределение загрязнителя в почве может снижать его негативное воздействие, тогда как резкое загрязнение приводит к более выраженным токсическим эффектам. Это имеет важное практическое значение для разработки мер по рекультивации загрязненных территорий. В заключении статьи подчеркивается необходимость дальнейших исследований для классификации ПНВ по их физико-химическим свойствам и токсикологическим эффектам. Рекомендуется включить мониторинг АПАВ в программы экологического контроля нефтедобывающих предприятий, так как эти вещества могут играть значимую роль в усилении токсичности ПНВ.

Ключевые слова: под товарные нефтепромысловые воды, токсичность, биотестирование, фитотестирование, нефтяное месторождение

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края № 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025>

Для цитирования: Дзюба Е.А., Мельникова С.Д. 2025. Токсикологическая оценка загрязнения почв под товарными водами нефтяных месторождений. Региональные геосистемы, 49(4): 753–767.
DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-8 EDN: NHBEVH



Toxicological Assessment of Soil Contamination by Oilfield Produced Water

Ekaterina A. Dziuba, Svetlana D. Melnikova

Perm State University,
15 Bukirev St., Perm 614068, Russia
aea_eco@mail.ru, sveta.melnikova.03.03@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of a toxicological assessment of sub-surface waters from oil fields. The research was conducted using produced water samples collected from the Southern and Northern fields in the Perm Territory. Three test objects were used in the study: the algae Chlorella vulgaris, the crustacean Daphnia magna, and the watercress Lepidium sativum. Hydrochemical analysis of the oilfield produced water (OFPW) revealed a high mineralization degree, presence of chloride, petroleum products, iron, dry residue, and anionic surfactants. The article particularly focuses on comparing the toxicity of OFPW from the Southern and Northern fields. The study reveals a more pronounced toxic effect of the produced water from the Southern field, which is probably due to the increased content of anionic surfactants. Biotesting on Chlorella vulgaris showed an inhibitory effect of OFPW even at minimal concentrations (0.6 %), with acute toxicity observed at concentrations of 11 % for the Southern field and 16.7 % for the Northern field. The reaction of Daphnia magna also revealed an inhibitory effect of OFPW, especially for the Southern field, where a lethal effect was observed at a OFPW concentration of 2.5 %. For the Northern field, a concentration of 8.35 % proved to be critical. Phytotesting on Lepidium sativum revealed a significant decrease in seed germination and plant morphometric parameters when the soil was contaminated with OFPW. The plants that had been sown into pre-contaminated soil showed greater resistance than those exposed to contamination after germination. This indicates the possibility of plant adaptation to chronic contamination, but also highlights the high vulnerability of plants to sudden OFPW emissions. The study shows that uniform distribution of a pollutant in the soil can reduce its negative impact, while sudden contamination leads to more pronounced toxic effects. This has important practical significance for the development of measures for the reclamation of contaminated areas. The article concludes by emphasising the need for further research to classify OFPWs according to their physical and chemical properties and toxicological effects. It is recommended that anionic surfactants be included in the environmental monitoring programmes of oil production enterprises, as these substances can play a significant role in enhancing the toxicity of OFPW.

Keywords: produced water, toxicity, biotesting, phytotesting, oil field

Acknowledgements: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Perm Territory No. 24- 17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025>

For citation: Dziuba E.A., Melnikova S.D. 2025. Toxicological Assessment of Soil Contamination by Oilfield Produced Water. Regional Geosystems, 49(4): 753–767 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-8 EDN: NHBEVH

Введение

Нефть является одним из важнейших топливных ресурсов России и входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья [Государственный доклад..., 2022]. Нефтедобыча активно ведётся на обширной территории и оказывает негативное воздействие на окружающую среду путём загрязнения углеводородами и побочными продуктами технологического процесса. Подтоварная нефтепромысловая вода (ПНВ) – один из таких вторичных продуктов, она относится к категории производственных сточных вод и образуется в результате отстаивания извлечённой на поверхность обводнённой нефти [Мещурова, Ходяшев, 2018; ГОСТ Р 58623-2019, 2019].

ПНВ понимается как «слой, состоящий из подземных вод, поступающих в выработку-ёмкость, и воды, выделившейся из хранимого продукта, который образовывается

в шахтных резервуарах в породах с положительной температурой» [Мещурова, Ходяшев, 2018]. Главным отличием ПНВ от пластовой, например, является причина её появления во внешней среде. ПНВ образуются на этапе подготовки товарной нефти.

Попадание высокоминерализованной жидкости, насыщенной токсичными и взрывоопасными веществами, а также нефтью в атмо-, гидро- и педосферу может привести к трансформации экосистем. Для регионов с развитой нефтедобычей остается актуальной проблема засоления почв, вследствие загрязнения ПНВ. В результате выделяются реакции растений на воздействия: снижается рост, общая биологическая продуктивность, фотосинтетическая активность, интенсивность дыхания и транспирации. Загрязнение атмосферного воздуха происходит в большей мере от резервуаров-отстойников (испаряются углеводороды и сероводород) [Мещурова, Ходяшев, 2018]. В научной литературе достаточно много исследований, посвящённых влиянию нефтяного загрязнения на компоненты окружающей среды, но практически отсутствуют данные о влиянии ПНВ. При этом загрязнения ПНВ на объектах нефтедобычи случаются чаще.

Существуют разные методы мониторинга качества окружающей среды, однако биотестирование отличается тем, что может в короткие сроки показать, как совокупное токсическое действие влияет на самые чувствительные живые компоненты биогеоценозов. Биотестирование основано на оценке изменения параметров организмов, популяций и сообществ таких, как скорость роста, уровень биомассы, ферментативная активность, которые культивируются в лабораторных условиях и интродуцируются в исследуемый образец [Дзюба, 2014; Даянов, Юмагулова, 2017; Валиуллина, 2020].

В исследовании с целью установления токсичности подтоварных нефтепромысловых вод в качестве тест объектов Н.В. Маячкина с соавторами [2024] используют дафний (*Daphnia magna* Straus), зелёную одноклеточную водоросль (*Chlorella vulgaris* Beijer) и мальков рыб. Результаты показали, что сильноминерализованные воды являются остро токсичными для всех исследуемых организмов. Стоит учитывать, что в биотестах с использованием хлореллы можно наблюдать активный прирост культуры, что не всегда обусловлено вредным воздействием загрязняющих веществ. Однако это может говорить о том, что в системе нарушен экологический баланс [Дзюба, 2014; Даянов, Юмагулова, 2017].

А.В. Хаматова [2023] в исследовании вод р. Каменки наблюдала стимулирующее воздействие на рост водоросли. С.А. Бузмаков с соавторами [2021] (по увеличению биомассы хлореллы более чем на 30 %) делали вывод о токсическом действии водных вытяжек из нефтезагрязнённых почв, несмотря на стимулирующий эффект. Л.С. Кучин и Е.А. Немчинова [2023] судили о росте степени токсичности вод р. Ива и её притоков по снижению оптической плотности водоросли. В биотестах по исследованию степени негативного воздействия нефтезагрязнённых сред помимо хлореллы использовались раки дафний (*Daphnia magna* Straus). Учёными установлена низкая чувствительность теста на их выживаемость [Бузмаков и др., 2021; Buzmakov et al., 2021; Хаматова, 2023].

В.В. Александрова и В.И. Цыганова в своей работе [2021] определили токсичность почв, загрязнённых ПНВ в разное время, с помощью раков цериодрафнии (*Ceriodaphnia Affinis*) и пришли к выводу, что степень токсичности почвы имеет определённую зависимость от давности разлива и достигает максимальных значений на участках с наиболее давним сроком загрязнения.

Исследование К.А. Романовой [2021] показывает, что ПНВ негативно оказывается на функциональных особенностях растительных тест-объектов: свеклы (*Beta vulgaris* L.), гороха (*Pisum sativum* L.) и овса (*Avena sativa* L.). Выявлена прямая зависимость снижения большинства изученных параметров растений от увеличения концентрации ПНВ в почве, которая свидетельствует о токсичности среды.

В качестве растительных тест-объектов в фитотестах использовались пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), кress-салат (*Lepidium sativum* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), загрязнение нефтью разных

типов почв оказало негативное влияние на длину корней во всех исследуемых образцах [Бузмаков и др., 2021; Buzmakov et al., 2021]. Сельскохозяйственные культуры кress-салат и пшеница выделяются как более устойчивые к низкому уровню загрязнения по сравнению с таёжным деревом сибирской ели.

Целью данного эксперимента стало установление токсичности ПНВ методами биотестирования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются ПНВ и почвы, отобранные в границах Южного и Северного нефтяных месторождений Пермского края (рис. 1). Был проведен гидрохимический анализ. Токсичность определяли методом биотестирования с использованием тест-объектов *Chlorella vulgaris* Beijer, *Daphnia magna* Straus, *Lepidium sativum* L.

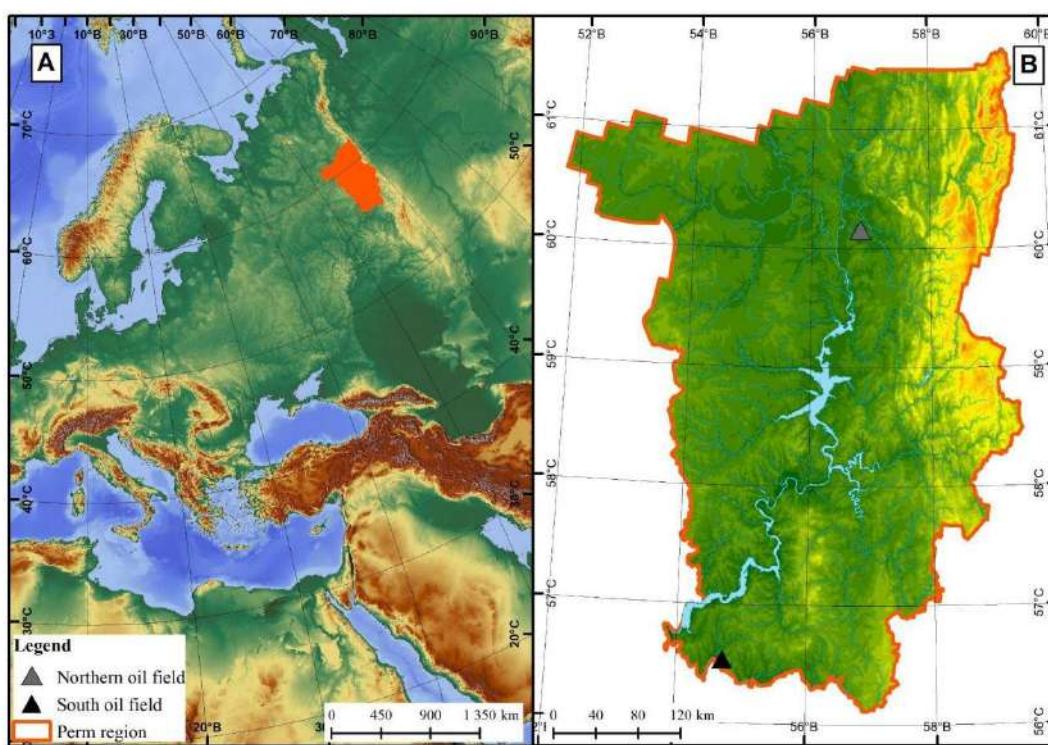


Рис. 1. Исследуемые месторождения на карте Пермского края
Fig. 1. Investigated deposits on the map of the Perm Territory

Биотестирование на тест-объектах *Chlorella vulgaris* и *Daphnia magna* проводились согласно аттестованным методикам [ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, 2014; ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06; 2014]. По результатам исследований на тест-объекте *Chlorella vulgaris* принималось, что критерием токсичности пробы является снижение на 20 % и более (подавление роста) или стимулирование на 30 % и более. Острое токсическое действие – угнетение на 50 % и более. По результатам исследований делался вывод, что ПНВ не оказывает токсического действия, при числе погибших в тестируемой пробе дафний менее 10 %, при гибели от 10 до 50 % – фиксировали токсическое действие, которое не было отнесено к острому, при смертности выше 50 % считали, что наблюдается острое токсическое действие. [ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, 2014; ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06, 2014]. Биотестирование на тест-объекте *Lepidium sativum* проводили согласно аттестованной методике [ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06, 2014; Сергеев, Давыденко, 2016]. В основу лег хронический вегетационный эксперимент [ГОСТ Р ИСО 22030-2009, 2009]. Степень влияния ПНВ определяли по всхожести семян, массе проростков,

а также надземной и подземной части растения, длине побега и корня. Схема разбавлений и внесения ПНВ по концентрациям выглядела следующим образом:

- для *Chlorella vulgaris* и *Daphnia magna* (%): 0,6, 1,2, 1,9, 3,7, 5,6, 11, 16,7, 33, 50, 100 (дополнительные концентрации для Южного месторождения: 2,35, 2,5, 2,8, 3,25 %; для Северного месторождения – 7, 8,35, 9,7 %);
- для *Lepidium sativum* (%): 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 20, 25, 30.

В зависимости от результатов опыта субстратам присваивают один из четырёх уровней загрязнения [Кучин, Немчанинова, 2023]: загрязнение отсутствует (при всхожести семян 90–100 %); слабое загрязнение (при всхожести 60–90 %); среднее загрязнение (при всхожести 20–60 %); сильное загрязнение (при всхожести семян < 20 %).

По полученным результатам были построены графики, рассчитаны уравнения регрессии и коэффициенты достоверности аппроксимации.

Анализ ПНВ проводился в аккредитованной лаборатории гидрохимического анализа геологического факультета ПГНИУ, определялись следующие показатели: водородный, аммоний-ион, хлорид-ион, сульфат-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, массовая концентрация фосфат-ионов, АПАВ, массовая концентрация нефтепродуктов, массовая концентрация общего железа, массовая концентрация сухого остатка. Определение проводилось для не разбавленных проб. Определяемые параметры выбраны исходя из возможного токсического воздействия на растения и гидробионты. Нефтепродукты и АПАВ наиболее часто определяются при загрязнении почв ПНВ; аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион – при повышенных концентрациях вызывают эвтрофикацию, нарушают метаболизм растений и гидробионтов; хлорид-ион и сульфат-ион – являются индикаторами минерализации и коррозионной активности вод, являются частыми загрязнителями при нефтедобыче; общее железо является маркером коррозии трубопроводов и оборудования; сухой остаток показывает общую минерализацию, что позволяет оценить общее засоление почв в результате загрязнения; фосфаты свидетельствуют о применении реагентов в системе поддержания пластового давления. Данный перечень позволяет выявить причины загрязнения, оценить вклад отдельных загрязнителей в общий результат токсичности.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты по определению физико-химических свойств подтоварных вод (в пробах без разбавления).

Таблица 1
Table 1

Физико-химические свойства подтоварных вод
Physico-chemical properties of produced water

| Наименование показателя | Северное месторождение | Южное месторождение |
|--|------------------------|---------------------|
| Водородный показатель, ед. pH | 6,61 | 6,68 |
| Аммоний, мг/дм ³ | < 0,5 | < 0,5 |
| Хлорид-ион, мг/дм ³ | > 20 000 | > 20 000 |
| Сульфат-ион, мг/дм ³ | 457 | 451 |
| Нитрит-ион, мг/дм ³ | < 0,20 | < 0,20 |
| Нитрат-ион, мг/дм ³ | < 0,20 | < 0,20 |
| Массовая концентрация фосфат-ионов, мг/дм ³ | < 0,05 | < 0,05 |
| АПАВ, мг/дм ³ | 0,153 | 0,300 |
| Массовая концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³ | 4,18 | 1,56 |
| Массовая концентрация общего железа, мг/дм ³ | 7,66 | 5,27 |
| Массовая концентрация сухого остатка, мг/дм ³ | > 35 000 | > 35 000 |

ПНВ с Северного и Южного нефтяных месторождений имеют сходный состав, характеризуются нейтральной реакцией среды, высоким содержанием хлоридов и железа. ПНВ Северного месторождения отличаются большей концентрацией железа и нефтепродуктов и меньшим содержанием анионных поверхностных активных веществ (АПАВ) по сравнению с водами Южного месторождения. Преобладание анионов хлора характерно для химического состава ПНВ, однако по усредненным данным, полученными С.А. Алиевым и В.Н. Тюриным [2020] его значение примерно в 2 раза меньше (9400 мг/дм³), чем в исследуемых пробах. Среднее значение содержания хлоридов в поверхностных и болотных водах в 200 раз меньше.

Массовая концентрация нефтепродуктов в ПНВ Северного месторождения превышена почти в 84 раза, в ПНВ Южного – в 11 раз. Содержание АПАВ превосходит нормативное значение в Северной ПНВ в 1,5 раза, а в Южной ПНВ оно равно 3 ПДК. Концентрация хлоридов в изучаемых ПНВ более, чем в 57 раз больше ПДК для химических веществ в воде. Накопление железа в ПНВ Северной залежи в 26 раз выше значения ПДК, а в водах Южной – в 18. Массовая аккумуляция сухого остатка в 23 раза больше значения ПДК. Значения водородного показателя, аммония, сульфатов, нитритов и нитратов находятся в пределах утвержденных нормативов [ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013, 2013; СанПиН 1.2.3685-21, 2021].

ПНВ с таким химическим составом, насыщенная хлоридами и железом, будет негативно сказываться на состоянии экосистем. Помимо возрастающей общей минерализации, происходит изменение ионного состава в сторону доминирования ионов хлора, хотя в болотных водах, например, характерно преобладание гидрокарбонатов и ионов щелочноземельных металлов (магния и кальция) [Алиева, Тюрин, 2020].

Результаты биотестирования на тест-объекте *Chlorella vulgaris* представлены в табл. 2. Можно отметить, что все результаты более чем на 20 % меньше относительно контрольной пробы, ПНВ в концентрациях от 0,6 % до 100 % оказывают угнетающее действие на тест-объект.

Таблица 2
Table 2Результаты биотестирования на тест-объекте *Chlorella vulgaris*
Results of biotesting on the *Chlorella vulgaris* test object

| Концентрация ПНВ в пробе, % | Северное месторождение | | Южное месторождение | |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| | Оптическая плотность | % отклонения от контроля | Оптическая плотность | % отклонения от контроля |
| Контроль (дист.вода) | 0,137 | 0 | 0,137 | 0 |
| 100 | 0,021 | 84,67 | 0,017 | 87,59 |
| 50 | 0,024 | 82,48 | 0,014 | 89,78 |
| 33 | 0,013 | 90,51 | 0,028 | 79,56 |
| 16,7 | 0,069 | 49,64 | 0,026 | 81,02 |
| 11 | 0,081 | 40,88 | 0,025 | 81,75 |
| 5,6 | 0,076 | 44,53 | 0,093 | 32,12 |
| 3,7 | 0,08 | 41,61 | 0,084 | 38,69 |
| 1,9 | 0,065 | 52,55 | 0,107 | 21,90 |
| 1,2 | 0,175 | 27,74 | 0,096 | 29,93 |
| 0,6 | 0,097 | 29,20 | 0,071 | 48,18 |

Острой токсичностью характеризуются пробы с содержанием подтоварных вод от 16,7 до 100 % для Северного месторождения. Значения от 0,6 до 11 % определяются как токсичные. ПНВ Южного месторождения остро токсичны при процентном содержании от 11 до 100 %, от 0,6 до 5,6 % – ПНВ токсичны. ПНВ Южного месторождения оказывают

более существенное токсическое воздействие, возможно из-за большего содержания АПАВ (в 2 раза выше, чем Северных ПНВ).

Результаты биотестирования на тест-объекте *Daphnia magna* представлены в табл. 3. Рачки *Daphnia magna* Straus начинают погибать при концентрации Северной ПНВ в 7 %. Предельная граница для дафний – 8,35 %. При дальнейшем увеличении содержания ни одна из десяти особей не выживала.

Таблица 3
Table 3Результаты биотестирования ПНВ на тест-объекте *Daphnia magna*
Results of biotesting of produced water on the *Daphnia magna* test object

| Концентрация, % | Северное месторождение | | | | Южное месторождение | | | |
|-------------------------|------------------------|--------|--------|-------|---------------------|--------|--------|-------|
| | 1 пов. | 2 пов. | 3 пов. | Сред. | 1 пов. | 2 пов. | 3 пов. | Сред. |
| Контроль (дист.вода) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 9 | 9 | 8,7 |
| 2,35 | — | — | — | — | 9 | 7 | 5 | 7 |
| 2,5 | — | — | — | — | 0 | 1 | 0 | 0,3 |
| 2,8 | — | — | — | — | 0 | 1 | 0 | 0,3 |
| 3,25 | — | — | — | — | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3,7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5,6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 10 | 8 | 10 | 9,3 | — | — | — | — |
| 8,35 | 6 | 6 | 7 | 6,3 | — | — | — | — |
| 9,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | — |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Дафнии начинают погибать в пробах с концентрацией Южной ПНВ 2,35 % и Серверной ПНВ 8,35 % (предел), дальнейшее увеличение содержания приводит к летальному исходу. Для Южных ПНВ острой токсичностью характеризуются почвы с процентным содержанием загрязнителя от 1,9 до 100 %, от 0,6 до 1,2 % – пробы характеризуются как безвредные. Для Северных ПНВ остро токсичными считаются проценты от 8,35 до 100 %, при 7 % пробы характеризуются как токсичные, от 0,6 до 5,6 % – безвредные. По результатам биотестирования на тест-объекте *Daphnia magna* также более токсичными оказались ПНВ Южного месторождения.

Результаты биотестирования на тест-объекте *Lepidium sativum* представлены в табл. 4–7. В некоторых пробах семена кress-салата не взошли. Кресс-салат не вырос на почве, изначально загрязнённой Южной ПНВ в концентрациях 10 % и выше, а также в почве, загрязнённой через неделю 7,5 % этой ПНВ и выше. Тест-объект не выжил и в контейнерах, в которые ПНВ Северного месторождения была внесена через неделю после посадки в количестве 25 %.

Таблица 4
Table 4

Результаты измерений кress-салата, посаженного в предварительно загрязнённую ПНВ почву
с Северного нефтяного месторождения

Measurement results for cress planted in soil pre-contaminated with produced water from the Northern oilfield

| Концентрация ПНВ, % | Длина корня, см | Длина стебля, см | Масса корня, г | Масса стебля, г |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0 | 4,31 | 5,51 | 0,00645 | 0,0242 |
| 1 | 4,42 | 4,76 | 0,001 | 0,0276 |
| 2,50 | 4,01 | 6,47 | 0,0017 | 0,039 |
| 5 | 4,8 | 6,47 | 0,0038 | 0,0304 |
| 7,50 | 4,78 | 6,63 | 0,0042 | 0,0303 |
| 10 | 4,48 | 3,27 | 0,0009 | 0,0339 |
| 12,50 | 4,24 | 3,96 | 0,0021 | 0,0309 |
| 15 | 7,51 | 3,01 | 0,0013 | 0,023 |
| 20 | 5,03 | 2,21 | 0,0031 | 0,0155 |
| 25 | 3,12 | 1,68 | 0,0044 | 0,0167 |
| 30 | 2,22 | 1,5 | 0,0063 | 0,0158 |
| Уравнение регрессии | $y = -4,1796x +$ 4,9355 | $y = -17,07x +$ 6,1277 | $y = 0,006x +$ 0,0025 | $y = -0,0584x +$ 0,0329 |
| R | 0,1025 | 0,7593 | 0,0893 | 0,5564 |

Таблица 5
Table 5

Результаты измерений кress-салата, посаженного в предварительно загрязнённую ПНВ почву
с Южного нефтяного месторождения

Measurement results for cress planted in soil pre-contaminated with produced water from the Southern oilfield

| Концентрация ПНВ, % | Длина корня, см | Длина стебля, см | Масса корня, г | Масса стебля, г |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0 | 5,27 | 5,29 | 0,00895 | 0,02271 |
| 1 | 2,68 | 5,67 | 0,0167 | 0,03839 |
| 2,50 | 3,21 | 4,24 | 0,0093 | 0,03716 |
| 5 | 5,39 | 2,47 | 0,00475 | 0,01628 |
| 7,50 | 0,52 | 1,81 | 0,037 | 0,01193 |
| Уравнение регрессии | $y = -35,038x +$ 4,5352 | $y = -53,997x +$ 5,6239 | $y = 0,2567x +$ 0,0071 | $y = -0,2749x +$ 0,0341 |
| R | 0,2808 | 0,9381 | 0,3722 | 0,487 |

Таблица 6
Table 6

Результаты измерений кress-салата, выращенного в почве,
загрязнённой через неделю ПНВ с Северного нефтяного месторождения
Measurement results for cress planted in soil contaminated with produced water
from the Northern oilfield one week after

| Концентрация ПНВ, % | Длина корня, см | Длина стебля, см | Масса корня, г | Масса стебля, г |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0 | 4,31 | 5,51 | 0,00645 | 0,0242 |
| 1 | 3,97 | 4,06 | 0,0031 | 0,0324 |
| 2,50 | 2,61 | 3,27 | 0,0025 | 0,0316 |
| 5 | 3,79 | 3,51 | 0,0019 | 0,0389 |
| 7,50 | 3,03 | 3,07 | 0,0132 | 0,0298 |
| 10 | 3,08 | 3,99 | 0,0107 | 0,0195 |
| 12,50 | 1,84 | 4,09 | 0,0051 | 0,0211 |
| 15 | 2,33 | 3,77 | 0,0027 | 0,0178 |
| 20 | — | — | — | — |
| 25 | 1,07 | 3,1 | 0,0025 | 0,0141 |
| 30 | 0,85 | 2,6 | 0,0001 | 0,0062 |
| Уравнение регрессии | $y = -10,733x +$ 3,8525 | $y = -4,9306x +$ 4,232 | $y = -0,0141x +$ 0,0063 | $y = -0,0831x +$ 0,0326 |
| R | 0,8383 | 0,3823 | 0,1157 | 0,7336 |

Таблица 7
Table 7

Результаты измерений кress-салата, выращенного в загрязнённой
через неделю почве подтоварными водами с Южного нефтяного месторождения
Measurement results for cress grown in soil contaminated
with produced water from the Southern oilfield one week after

| Концентрация ПНВ, % | Длина корня, см | Длина стебля, см | Масса корня, г | Масса стебля, г |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0 | 5,27 | 5,29 | 0,00895 | 0,02271 |
| 1 | 3,5 | 5,42 | 0,00162 | 0,0347 |
| 2,50 | 3,79 | 4,31 | 0,00197 | 0,0233 |
| 5 | 3,99 | 3,23 | 0,00712 | 0,0151 |
| Уравнение регрессии | $y = -15,815x + 4,4736$ | $y = -45,366x + 5,5265$ | $y = 0,0026x + 0,0049$ | $y = -0,2477x + 0,0292$ |
| R | 0,1938 | 0,9407 | 0,0002 | 0,4446 |

Наибольшая длина корня (7,5 см) отмечается в контейнерах с концентрацией в 15 %, при дальнейшем увеличении доли ПНВ в пробах показатели длины снижаются до наименьшей (2,2 см) (см. табл. 4). Длина стебля и масса корня растут с увеличением содержания до 7,5 %. Масса корня падает до минимальной (0,0009 г) при 10 %, после чего возрастает с повышением доли загрязнителя до максимальной (0,0063 г). Стебель набирает массу на промежутке от 1 до 2,5 %, после чего постепенно её теряет с увеличением поллютанта в почве. По рассчитанным уравнениям регрессии и коэффициенту аппроксимации достоверно описан процесс воздействия загрязнения ПНВ на длину стебля ($R = 0,76$), близки к достоверному данным по массе корня.

Максимальная длина корня (5,4 см) наблюдается при предельной концентрации в 7,5 % (см. табл. 5). Длина стебля, масса корня и стебля имеют наибольшие значения (5,7 см, 0,0167 г и 0,0384 г соответственно) при 2,5 %, наименьшие – при 7,5 %. По рассчитанным уравнениям регрессии и коэффициенту аппроксимации достоверно описан процесс воздействия загрязнения ПНВ на длину стебля ($R = 0,94$).

Длина корня уменьшается с увеличением процента ПНВ в пробе от 5 %, а длина стебля от 12,5 % (см. табл. 6). Масса корня уменьшается на промежутке от 1 до 5 %, при 7,5 % она достигает наибольшего значения (0,0132 г), с дальнейшим повышением концентрации она уменьшается до минимального (0,0001 г). Масса стебля имеет такую же тенденцию падения значений, как и масса корня, однако максимальное значение отмечается в пробе с 5 %. По рассчитанным уравнениям регрессии и коэффициенту аппроксимации достоверно описаны процессы воздействия загрязнения ПНВ на длину корня ($R = 0,84$) и массу стебля ($R = 0,73$).

Результаты, отраженные в табл. 7, говорят о росте длины корня и массы стебля с увеличением доли ПНВ в пробах, в то время как масса корня и длина стебля имеют обратную зависимость. По рассчитанным уравнениям регрессии и коэффициенту аппроксимации достоверно описан процесс воздействия загрязнения ПНВ на длину стебля ($R = 0,94$).

По результатам биотестирования ПНВ с помощью тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer были построены графики (рис. 2, 3).

Можно сделать вывод о том, что существует тенденция снижения оптической плотности водоросли с увеличением содержания ПНВ. Тест-объект негативно реагирует на любые дозы исследуемой ПНВ, вызывая токсическое и острое токсическое воздействие на тест-объект. Биотестирование с использованием дафний показывает, что ПНВ Южного месторождения оказывают большее токсическое действие, чем воды Северного месторождения: предельная концентрация вод Южного месторождения в 4 раза меньше Северного.

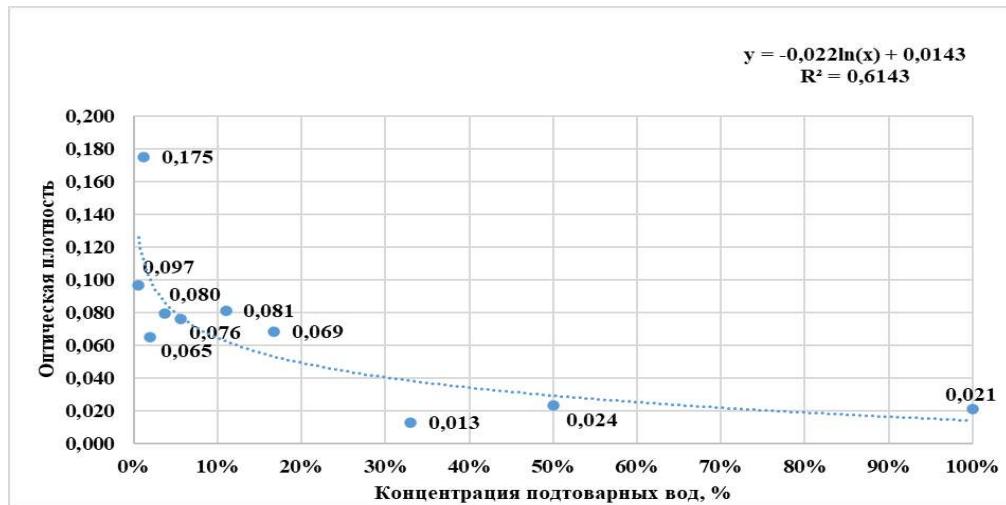


Рис. 2. Оптическая плотность проб с Северного месторождения
Fig. 2. Optical density of samples from the Northern field

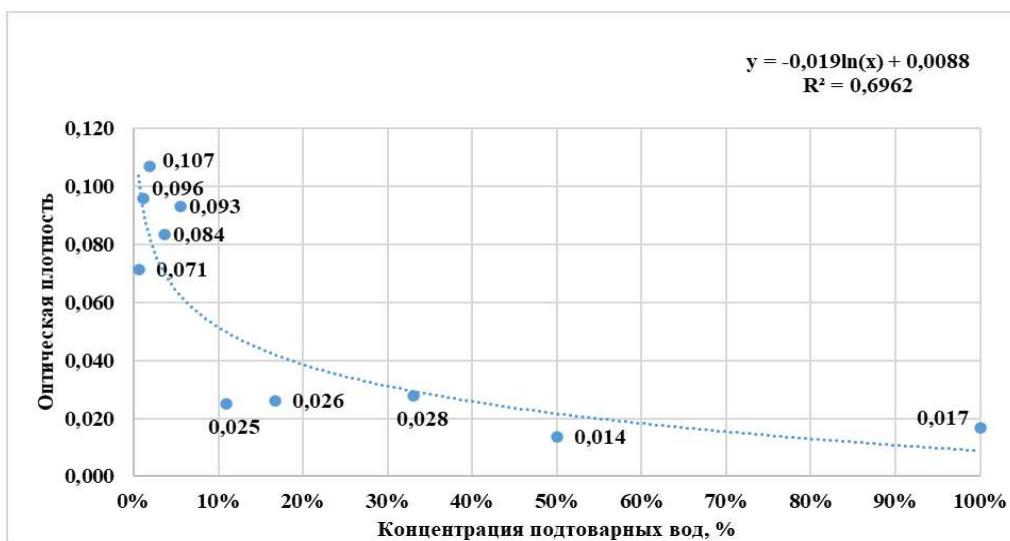


Рис. 3. Оптическая плотность проб с Южного месторождения
Fig. 3. Optical density of samples from the Southern field

Негативное влияние загрязнение ПНВ по результатам фитотестирования с использованием *Lepidium sativum* L. показано на рис. 4–7.

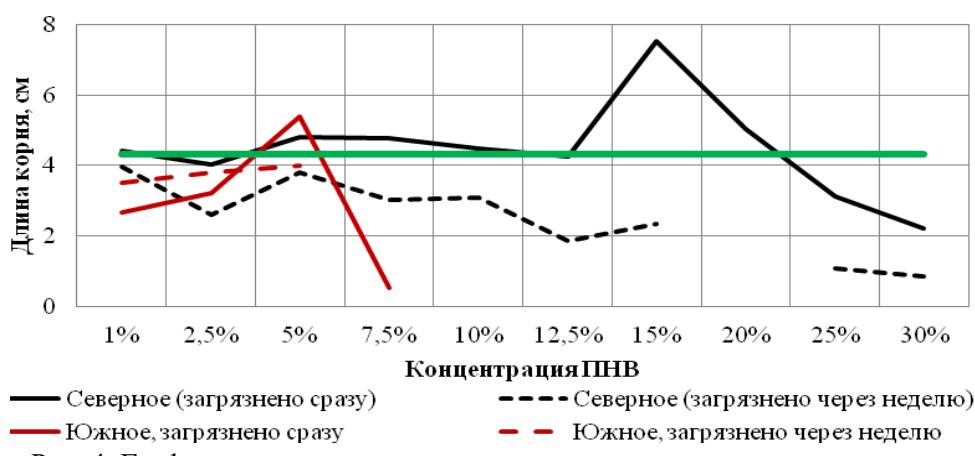


Рис. 4. График зависимости длины корня от концентрации загрязнителя
Fig. 4. Graph of root length dependence on pollutant concentration

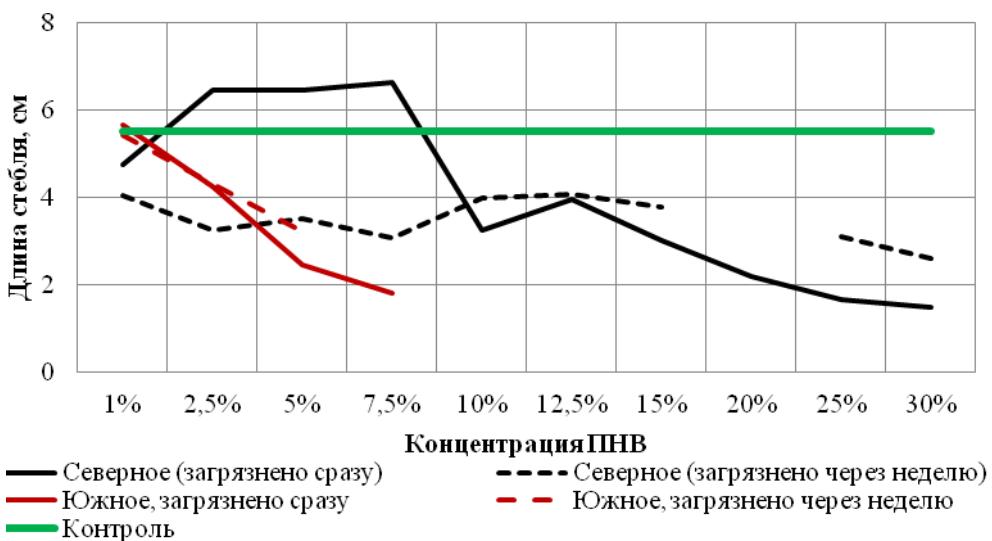


Рис. 5. График зависимости длины стебля от концентрации загрязнителя
Fig. 5. Graph of stem length dependence on pollutant concentration

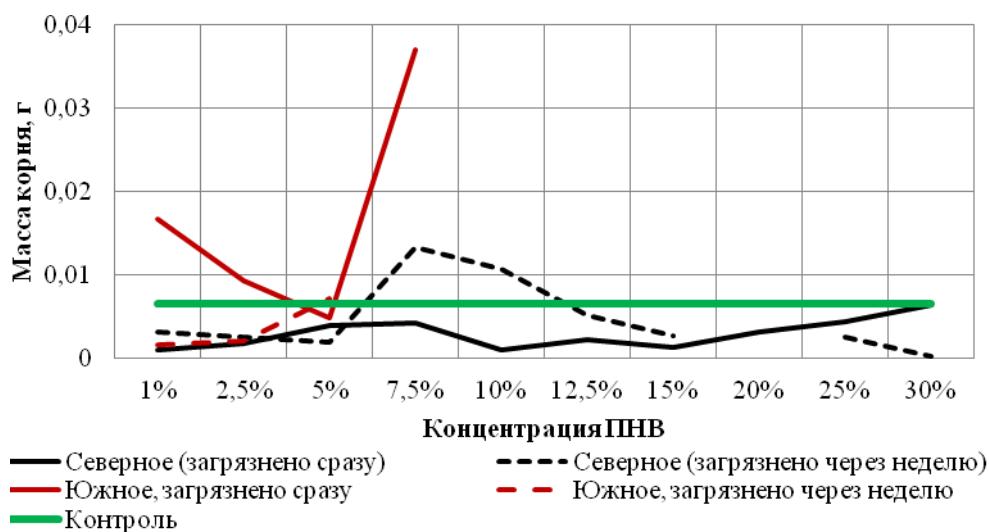


Рис. 6. График зависимости массы корня от концентрации загрязнителя
Fig. 6. Graph of root mass dependence on pollutant concentration

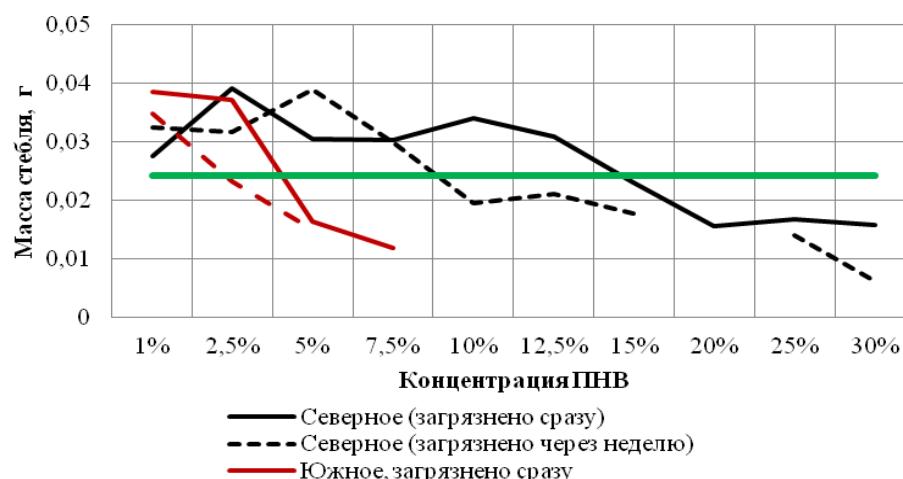


Рис. 7. График зависимости массы стебля от концентрации загрязнителя
Fig. 7. Graph of stem weight dependence on pollutant concentration

В большинстве своём показатели исследуемых проб ниже контрольных, что свидетельствует о негативном влиянии подтоварных вод на ростки. Можно отметить, что растения, высаженные в загрязнённую почву, лучше переносят те же концентрации ПНВ, по сравнению с почвой, в которую ПНВ были внесены через неделю.

Наличие поллютанта способствует росту массы стебля в сравнении с контролем: при концентрации 1 % увеличение показателя наблюдается во всех случаях, при 2,5 % – в пробах, изначально загрязненных ПНВ с Северного и Южного месторождения, от 5 до 7,5 % – в пробах с ПНВ Северного месторождения, а при 10–12,5 % – в пробах, в которые сразу добавили ПНВ с Северного месторождения.

В пробах, с ПНВ Северного месторождения, наблюдается тенденция уменьшения ростовых показателей, и только масса корня увеличивается в пробах, загрязнённых изначально.

В пробах, в которые сразу внесли ПНВ Южного месторождения, в концентрациях от 1 до 5 % наблюдается увеличение длины корня, в то время как его масса уменьшается совместно с длиной и массой стебля.

Наблюдается рост показателей массы и длины корня параллельно с уменьшением показателей массы и длины стебля в пробах, которые загрязнены через неделю водами с Южного месторождения.

Судя по данным, ПНВ Южного месторождения сильнее оказывает токсическое действие на кress-салат: ростки погибают при концентрации в 10 % в изначально загрязнённых почвах и при 7,5 % в почвах, в которые ПНВ внесли через неделю.

Стоит отметить, что для растений, растущих в почве, в которую добавляли Южную ПНВ, есть предел, после которого масса и длина стеблей только стремительно убывает. Тогда как для растений, выросших в почвах с добавлением ПНВ с Северного месторождения, существует тенденция периодического увеличения ростовых показателей стебля. Каждой концентрации ПНВ был присвоен уровень загрязнения субстрата, определённый по всхожести семян. Для ПНВ с Северного месторождения установлено, что при 20 % и выше обеспечивается сильное загрязнение почвы. ПНВ с Южного месторождения оказывают такое воздействие уже при 5 %.

Заключение

В ходе проведённых биотестов были сформированы следующие выводы:

1. Все концентрации ПНВ оказывают негативное влияние на жизнедеятельность водорослей (*Chlorella vulgaris*). По результатам воздействие загрязнения ПНВ характеризуется как токсичное и острое токсичное. Острой токсичностью характеризуются пробы с содержанием подтоварных вод от 16,7 до 100 % для Северного месторождения, и от 11 до 100 % для Южного месторождения.

2. Тест-объект *Daphnia magna* показал большую устойчивость к загрязнению ПНВ. Острая токсичность для Южных ПНВ характеризуется для проб с содержанием от 2,5 до 100 %, для Северных ПНВ от 8,35 до 100 %. От 0,6 до 1,2 % для Южных ПНВ и от 0,6 до 5,6 % для Северных ПНВ – пробы характеризуются как безвредные.

3. Анализ всхожести кress-салата (*Lepidium sativum L.*) выявил, что сильное загрязнение достигается при концентрации ПНВ Южного месторождения в 5 %, в пробах с ПНВ Северного месторождения такая степень достигается при 20 %.

4. ПНВ Южного нефтяного месторождения токсичнее вод с Северного месторождения, что подтверждают биотесты на всех тест-объектах. Биотесты на *Chlorella vulgaris* оказались чувствительнее к загрязнению ПНВ. Вероятно, такая токсичность Южных ПНВ обусловлена высоким содержанием АПАВ (в два раза больше, чем Северных).

5. Параметр выживаемости кress-салата (*Lepidium sativum L.*) выше при его посадке в предварительно загрязнённую почву (возможно на это влияет то, что распределение

ПНВ происходит равномерно по всей пробе, часть веществ могут сорбироваться, переходить в более безвредные формы). Внесение ПНВ в пробы через неделю после высадки приводит к существенному снижению предельных концентраций выживаемости (так как растения получают резкое загрязнение на поверхности, которое не успевает равномерно распространиться). В данном случае это говорит о том, что при попадании ПНВ в экосистемы, растения будут реагировать остро, но если высаживать растения на загрязнённые ранее территории, то они могут прижиться.

6. Содержание АПАВ в ПНВ предположительно оказывает влияние на токсичность. Необходимо в дальнейших экспериментах более детально исследовать эту гипотезу, и при репрезентативных результатах рекомендовать измерение содержания АПАВ в пробах воды и почвы на территориях месторождений в рамках экологического мониторинга наряду с нефтепродуктами и хлоридами.

7. Загрязнение ПНВ оказывает острое токсическое действие на живые организмы, но при этом исследуется значительно реже, чем загрязнение нефтью. В дальнейшем необходимо проводить исследования с ПНВ разных физико-химических свойств, классифицировав их. Применяемые в данном исследовании тест-объекты подходят для дальнейшего изучения токсичности ПНВ. Вероятно, стоит увеличить число тест-объектов из числа высших растений, а также провести измерения их биохимических параметров.

Список источников

- ГОСТ Р 58623-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные. Правила технической эксплуатации. 2019. М., Стандартинформ, 75 с.
- ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. 2009. М., Стандартинформ, 16 с.
- Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году. 2022. М., 626 с.
- ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. 2014. М., Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 36 с.
- ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06. Методика прямого подсчета *Daphnia magna* для определения токсичности питьевых, пресных, природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. 2014. М., Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 38 с.
- ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян крестоцветных (*Lepidium sativum*). 2013. М., Стерлитамак, 28 с.
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. М., Министерство здравоохранения Российской Федерации, 987 с.

Список литературы

- Александрова В.В., Цыганова В.И. 2021. Оценка токсичности почв загрязнённых подтоварной водой на тест-объекте *Ceriodaphnia Affinis*. Заметки ученого, 8: 460–466.
- Алиева С.А., Тюрин В.Н. 2020. Физико-химические свойства подтоварных вод (южная часть Сургутской низины Западной Сибири). В кн.: Безопасный Север – чистая Арктика. III Всероссийская научно-практическая конференция, Сургут, 11–12 ноября 2020. Сургут, Сургутский государственный университет: 145–149.
- Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., Дзюба Е.А., Шестаков И.Е., Куокина М.С., Елькин А.А., Егорова Д.О., Хотяновская Ю.В. 2021. Реакция разных тест-объектов на

- экспериментальное загрязнение почв нефтью. Экология, 4: 254–262.
<https://doi.org/10.31857/S0367059721040053>
- Валиуллина А.М. 2020. Биотестирование как метод экологического мониторинга. Научно-практические исследования, 8–3(31): 32–34.
- Даянов Д.И., Юмагулова Э.Р. 2017. Биохимические особенности растений в условиях влияния подтоварных вод. В кн.: Биология. Экология. География. Картография. Безопасность жизнедеятельности. Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело. XIX Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, 04–05 апреля 2017. Нижневартовск, Нижневартовский государственный университет: 348–351.
- Дзюба Е.А. 2014. Биотестирование как метод мониторинга экологических систем. Антропогенная трансформация природной среды, 1: 46–50.
- Кучин Л.С., Немчинова Е.А. 2023. Биотестирование реки Ивы и ее притоков методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Антропогенная трансформация природной среды, 9(1): 46–53. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-1-46-53>
- Маячкина Н.В., Бакина Л.Г., Брянцев А.В., Явид Е.Я., Мязин В.А., Горохов С.А., Лашков Р.А. 2024. Опыт оценки токсичности пластовой (подтоварной) воды ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» для окружающей среды. Экология и промышленность России, 28(3): 38–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-3-38-43>
- Мещурова Т.А., Ходяшев М.Б. 2018. К вопросу о пластовой и подтоварной воде. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства, 4: 68–71. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-14068>
- Романова К.А. 2021. Влияние солевого загрязнения на биологическую продуктивность и морфологию растений в модельных опытах. В кн.: Научный потенциал молодёжных исследований. V Международная научно-практическая конференция, Петрозаводск, 11 ноября 2021. Петрозаводск, Международный центр научного партнерства «Новая Наука»: 525–532.
- Сергеев М.А., Давыденко Л.В. 2016. Биотестирование почв на проростках семян кress-салата. Юный ученый, 5(8): 68–71.
- Хаматова А.В. 2023. Оценка качества вод и донных отложений р. Каменка методом биотестирования. Антропогенная трансформация природной среды, 9(1): 54–64. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-1-54-64>
- Buzmakov S.A., Egorova D.O., Khotyanovskaya Y.V., Andreev D.N., Dziuba E.A., Shestakov I.E., Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Elkin A.A., Nazarov A.V. 2021. Ecological Criteria for Assessing the Content of Petroleum Hydrocarbons in the Main Soils of Coniferous-Deciduous Forests and Forest Steppe. Environmental geochemistry and health, 43: 5099–5118. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00998-9>

References

- Aleksandrova V.V., Tsyanova V.I. 2021. Otsenka toksichnosti zagryazneniykh podtovarnoy vody na test-ob'yekte Ceriodaphnia Affinis [Evaluation of the Toxicity of Soils Contaminated with Produced Water on the Test Object Ceriodaphnia Affinis]. Zametki uchenogo, 8: 460–466.
- Alieva S.A., Tyurin V.N. 2020. Physical and Chemical Properties of Produced Waters (Southern Part of the Surgutsk Bottom of Western Siberia). In: Safe North – Clean Arctic. III All-Russian Scientific and Practical Conference, Surgut, 11–12 November 2020. Surgut, Pabl. Surgutskiy gosudarstvennyy universitet: 145–149 (in Russian).
- Buzmakov S.A., Andreev D.N., Nazarov A.V., Dzyuba E.A., Shestakov I.E., Kuyukina M.S., El'kin A.A., Egorova D.O., Khotyanovskaya Y.V. 2021. Responses of Different Test Objects to Experimental Soil Contamination with Crude Oil. Russian Journal of Ecology, 52(4): 267–274 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1067413621040056>.
- Valiullina A.M. 2020. Biotestirovaniye kak metod monitoringa okruzhayushchey sredy [Biotesting as a Method of Environmental Monitoring]. Nauchno-prakticheskiye issledovaniya, 8–3(31): 32–34.
- Dayanov D.I., Yumagulova E.R. 2017. Biokhimicheskiye osobennosti rasteniy v usloviyakh podtovarnoy vody [Biochemical Peculiarities of Plants Under the Influence of Backwaters]. In: Biologiya. Ekologiya. Geografiya. Kartografiya. Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. Energetika. Elektrotehnika. Neftegazovoye delo [Biology. Ecology. Geography. Cartography. Life safety. Power engineering. Neftegazovoye delo] [Biology. Ecology. Geography. Cartography. Life safety. Power engineering. Neftegazovoye delo].

- Electrical engineering. Oil and gas engineering]. XIX All-Russian Student Scientific and Practical Conference of Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, 4–5 April 2017. Nizhnevartovsk, Pabl. Nizhnevartovskiy gosudarstvenny universitet: 348–351.
- Dzyuba E.A. 2014. A Bioassay as the Method of Ecological Systems Monitoring. Anthropogenic Transformation of Nature, 1: 46–50 (in Russian).
- Kuchin L.S., Nemchaninova E.A. 2023. Biotesting of the Iva River and Its Tributaries by Measuring the Optical Density of Chlorella vulgaris Beijer. Anthropogenic Transformation of Nature, 9(1): 46–53 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-1-46-53>
- Maiachkina N.V., Bakina L.G., Briantsev A.V., Yavid E.Ya., Myazin V.A., Gorokhov S.A., Lashkov R.A. 2024. Experience in Assessing the Toxicity of Formation (Produced) Water of the LUKOIL-Ukhtaneftegaz RPC for the Environment. Ecology and Industry of Russia, 28(3): 38–43 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-3-38-43>
- Meshchurova T.A., Khodiashev M.B. 2018. To Question about Stratified and Subcommodity Water. Ekologicheskaya bezopasnost' stroitel'stva i gorodskogo khozyaystva, 4: 68–71 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-14068>
- Romanova K.A. 2021. The Effect of Salt Pollution on Biological Productivity and Morphology of Plants in the Model Experiment. In: Scientific Potential of Youth Research. V International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, 11 November 2021. Petrozavodsk, Pabl. Mezhdunarodnyy tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka»: 525–532 (in Russian).
- Sergeyev M.A., Davydenko L.V. 2016. Biotestirovaniye pochv na prorostkakh semyan kress-salata [Biotesting of Soils on Seedlings of Watercress Seeds]. Yunyy uchenyy, 5(8): 68–71.
- Khamatova A.V. 2023. Assessment of the Quality of Waters and Bottom Sediments of the Kamenka River by Biotesting. Anthropogenic Transformation of Nature, 9(1): 54–64 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-1-54-64>
- Buzmakov S.A., Egorova D.O., Khotyanovskaya Y.V., Andreev D.N., Dziuba E.A., Shestakov I.E., Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Elkin A.A., Nazarov A.V. 2021. Ecological Criteria for Assessing the Content of Petroleum Hydrocarbons in the Main Soils of Coniferous-Deciduous Forests and Forest Steppe. Environmental geochemistry and health, 43: 5099–5118. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00998-9>

Поступила в редакцию 17.03.2025;
поступила после рецензирования 09.08.2025;
принята к публикации 03.07.2025

Received March 17, 2025;
Revised June 09, 2025;
Accepted July 03, 2025

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дзюба Екатерина Алексеевна, кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Мельникова Светлана Денисовна, студент, лаборант лаборатории эколого-геоинформационных систем кафедры биогеоценологии и охраны природы географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Dziuba, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Biogeocenology and Nature Conservation, Faculty of Geography, Perm State National Research University, Perm, Russia

Svetlana D. Melnikova, student, Laboratory Assistant at the Laboratory of Ecological and Geoinformation Systems, Department of Biogeocenology and Nature Protection, Faculty of Geography, Perm State National Research University, Perm, Russia



УДК 9.91.33.338
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-9
EDN NRZCEA

Wind Energy Suitability Mapping in Azerbaijan through GIS -Based Spatial Analysis

Nijat Imamverdiyev

Institute of Geography, Ministry of Science and Education of Azerbaijan
131 H. Javid Ave. Baku AZ1073, Azerbaijan
imamverdiyev.nicat@gmail.com

Abstract. This study applies an integrated geospatial modelling framework to evaluate Azerbaijan's wind energy potential and identify optimal locations for wind power plant deployment. Long-term meteorological records (1981–2020) from 84 stations, MERRA-2 satellite observations, and Global Wind Atlas data were combined within a GIS-based multi-criteria analysis. The results reveal that 10.7 % of the national territory (9,200 km²), primarily along the Caspian Sea coast and the Absheron Peninsula, exhibits average annual wind speeds of 5.6–8.5 m/s and power densities of 390–975 W/m² at 50 m hub height. The estimated technical potential is 800 MW, equivalent to 2.4 billion kWh/year, or 8.6 % of Azerbaijan's 2022 electricity production. Performance modelling of 2 MW and 3.45 MW turbines indicates annual generation of 3.4–4.96 million kWh per unit, with hub heights of 100 m increasing yields by up to 38.5 %. Despite the current utilization of only 2.2 % of the technically exploitable 3,000 MW potential, large-scale deployment could raise this share to 20 % within the next decade, significantly reducing fossil fuel dependency and avoiding substantial CO₂ emissions. The integrated methodology – combining multi-source wind datasets, altitude-specific wind mapping, and turbine performance simulations – offers a replicable decision-support tool for sustainable energy planning in Azerbaijan and similar regions.

Keywords: wind energy potential, GIS-based spatial analysis, renewable energy, Azerbaijan, MERRA-2, Global Wind Atlas

For citation: Imamverdiyev N. 2025. Wind Energy Sustainability Mapping in Azerbaijan through GIS-Based Spatial Analysis. Regional Geosystems, 49 (4): 768–781. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-9 EDN: NRZCEA

Картографирование пригодности ветроэнергетики в Азербайджане посредством пространственного анализа на основе ГИС

Имамвердиев Н.

Институт географии Министерства науки и образования Азербайджана
Азербайджан, AZ1073, Баку, Проспект Г. Джавида, 131
imamverdiyev.nicat@gmail.com

Аннотация. В данном исследовании применяется интегрированная структура геопространственного моделирования для оценки ветроэнергетического потенциала Азербайджана и определения оптимальных мест для размещения ветряных электростанций. Многолетние метеорологические данные (1981–2020 гг.) с 84 станций, спутниковые наблюдения MERRA-2 и данные Глобального атласа ветров были проанализированы с применением ГИС-технологий. Результаты показывают, что на 10,7 % территории страны (9200 км²), в основном вдоль побережья Каспийского моря и Апшеронского полуострова, наблюдается среднегодовая скорость ветра 5,6–8,5 м/с и удельная мощность ветрового потока 390–975 Вт/м² на высоте 50 м. Расчетный технический потенциал со-

© Nijat Imamverdiyev, 2025

ставляет 800 МВт, что эквивалентно 2,4 млрд кВт·ч/год, или 8,6 % от производства электроэнергии в Азербайджане в 2022 году. Моделирование производительности турбин мощностью 2 МВт и 3,45 МВт показывает годовую выработку от 3,4 до 4,96 млн кВт·ч на единицу, при этом высота ступицы 100 м увеличивает выработку до 38,5 %. Несмотря на то, что в настоящее время используется лишь 2,2 % технически реализуемого потенциала в 3000 МВт, крупномасштабное внедрение может увеличить эту долю до 20 % в течение следующего десятилетия, снизив зависимость от ископаемого топлива и избежав значительных выбросов CO₂. Интегрированная методология, объединяющая наборы данных о ветре из разных источников, использование картографического материала и моделирование производительности турбин, предлагает воспроизводимый инструмент поддержки принятия решений для планирования устойчивой энергетики в Азербайджане и аналогичных регионах.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, производство энергии, ГИС–анализ, устойчивое развитие, пространственный анализ ГИС, MERRA–2.

Для цитирования: Имамвердиев Н. 2025. Картографирование пригодности ветроэнергетики в Азербайджане посредством пространственного анализа на основе ГИС. Региональные геосистемы, 49(2): 768–781. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-9 EDN: NRZCEA

Introduction

Wind energy is among the fastest-growing renewable energy sources globally, offering significant potential for reducing greenhouse gas emissions and decreasing dependence on fossil fuels. The global technical wind energy potential was estimated at approximately 170×10^{18} kWh, although only about 4 % is currently exploitable due to technical, environmental, and land-use constraints. Maximizing this resource requires accurate, location-specific assessments that integrate wind regime analysis with topographic and infrastructural considerations.

In Azerbaijan, several studies have investigated wind resources from meteorological, technical, and economic perspectives. Eyyubov [1997] examined the climate and wind regime of the Absheron Peninsula, focusing on prevailing wind directions and their influence on human health. Salmanova F.A. [2012] analyzed the combined use of solar and wind power to improve rural living conditions. Salmanov O.M. [2009] assessed the country's wind energy resources and their utilization possibilities, and Rzayeva et al. [2003] developed simple wind and solar devices suitable for local conditions. Khammadov [2012] evaluated the feasibility of hybrid photovoltaic–wind systems in Azerbaijan, and Huseynov examined public acceptance of wind energy. Chuvarli and Jesman [2003] studied the conversion and utilization of wind and solar energy in the national context. More recently, Pashayev [2022] analyzed the development prospects of the “green economy” in the Karabakh and East Zangezur economic regions, and Abdullayev et al. [2018] proposed technological improvements for vertical-axis magnetic levitation wind turbines.

Internationally, advanced spatial decision-making tools have been applied to wind energy suitability analysis. Georgopoulou et al. [1997] used the Analytic Hierarchy Process (AHP) to classify Greek islands according to wind potential. Watson and Hudson [2015] applied *GIS-based* multi-criteria evaluation (MCDM) to assess regional suitability for wind and solar farms. Janke [2010] modeled wind and solar farm locations in Colorado using *GIS*, while Jianu and Rosen [2012] investigated noise pollution mitigation for wind turbines. Berken [2009] used *GIS* to analyze turbine siting within utility service areas, and Perkins and Everett [2011] examined offshore wind power development.

Despite these contributions, most previous Azerbaijani studies relied on limited temporal datasets or single-source measurements, lacking integration of long-term, multi-source wind observations with high-resolution *GIS* zoning and turbine performance simulations. This gap constrains the accuracy of site selection and hinders alignment between technical assessments and strategic renewable energy planning.



Azerbaijan's geographical location – bordering the Caspian Sea with diverse terrain ranging from coastal plains to high mountain ranges – produces distinct wind patterns and strong spatial variability. Absheron and certain offshore areas experience some of the highest average wind speeds in the country, exceeding 6 m/s at 50 m hub height, with more than 270 windy days per year [Geography Atlas, 2014]. Yet, despite an estimated 3,000 MW of technically usable potential, only 64 MW (2.2 %) is currently operational, contributing 0.39 % of national electricity production [Energy of Azerbaijan, 2023].

To address these limitations, this study integrates:

1. Long-term meteorological observations (1981–2020) from 84 stations (MERRA-2 satellite reanalysis data)
2. Global Wind Atlas datasets;
3. GIS-based multi-criteria spatial analysis and wind turbine performance modelling.

The novelty of this research lies in producing the first high-resolution, altitude-specific wind potential maps for Azerbaijan (10, 50 and 100 m) and directly linking wind resource assessment with capacity factor estimations for modern turbine models. The results aim to provide policymakers, engineers, and investors with a scientifically grounded, location-specific framework for wind energy development – maximizing technical output while minimizing environmental and economic risks.

Materials and methods

This study employs a geospatial modelling approach to assess the wind energy potential of Azerbaijan and to identify optimal locations for wind power plant (WPP) development. The methodology integrates multiple datasets and computational tools to analyze wind patterns and their interaction with the country's diverse topography.

The research database comprises:

1. Long-term meteorological observations – Wind speed, direction, and intensity data from national meteorological stations (1981–2020).
2. Global Wind Atlas (GWA) – High-resolution wind resource maps and power density data [GWA, 2025].
3. MERRA-2 satellite reanalysis – NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (1981–2022).
4. Field measurements – Conducted within the framework of this study for validation and comparison.

These datasets provide both temporal and spatial coverage, enabling a comprehensive understanding of wind characteristics.

The Absheron region was selected as the primary model area for ArcGIS-based wind flow assessment, due to its complex terrain and high wind potential. The integration of ArcGIS spatial analysis tools with GWA data allowed for precise evaluation of wind resources in relation to Azerbaijan's relief characteristics.

Key analytical steps included:

- GIS-based spatial analysis and overlay modelling – Combining wind regime and wind speed distribution data from MERRA-2 with topographic features such as elevation, slope, and surface roughness.
- Cartographic methods – Assessing the influence of mountainous areas, valleys, and coastal zones on wind direction and intensity.
- Multi-criteria classification – Applying GIS-based multi-criteria evaluation (MCE) techniques to integrate GWA and NASA Power datasets, producing a suitability index for potential WPP sites.

By combining wind resource data with physical and environmental constraints, this approach ensures that wind energy projects are located in areas with: optimal wind conditions for

electricity generation; minimal environmental and land-use conflicts; and high economic feasibility for long-term operation.

This methodology provides a replicable framework for renewable energy site selection in Azerbaijan and similar geographic contexts.

Results and discussion

Wind Energy Potential in Azerbaijan

Analysis of meteorological and satellite datasets reveals that only 10.7 % of Azerbaijan's territory (approximately 9,200 km²) meets the technical criteria for wind power plant (WPP) installation. These optimal zones exhibit average annual wind speeds of 5.6–8.5 m/s and power densities of 390–975 W/m² at a 50 m hub height. The highest potential areas are concentrated along the Caspian Sea coastline, particularly on the Absheron Peninsula, including Sitalchay, Yeni Yashma, Shurabad, and Pirallahi Island.

Wind speed analysis for 1981–2020 indicates that:

- Areas with > 6.5 m/s winds are primarily located along the eastern coastal strip.
- Wind speeds at 50 m height are approximately 20 % higher than at 10 m, while speeds at 100 m are on average 38.5 % higher than at 50 m.
- Pirallahi Island records the highest average wind speed (9.67 m/s), while Gabala experiences the lowest (1.68 m/s).

These findings align with earlier localized observations [Eyyubov, 1997; Geography Atlas, 2014] but provide higher spatial resolution through the integration of multi-source datasets. The wind energy potential of Azerbaijan was determined by calculating the possible intervals and correlation coefficients based on the wind speed indicators received from meteorological stations. The wind speed and power density were calculated at relative heights of 10, 50, and 100 meters, with weak, medium, and high. After analyzing the wind speed data of meteorological observation stations at a height of 50 meters, we determined that only 10.7 %, or 9,200 km² of the country's territory (5.5 m/s and above), is suitable for the placement of wind turbines (Fig. 1). In the mentioned areas, the average annual wind speed is 5.6 m/s, and the average power density is 390 W/m² [GWA, 2025]. According to these indicators, the wind potential was calculated as 800 MW, depending on the geographical location, natural conditions, and economic infrastructure of the country. Based on a power factor of 18 % for 10 meters-high turbines in Azerbaijan, the potential electricity generation would be 2.4 billion kWh. This is equivalent to 8.6 % of the 29.04 billion kWh of electricity generated in 2022.

The average annual wind speed indicators in Azerbaijan for the years 1981–2020 were analyzed by us using a spatial analysis tool in GIS and divided into eight parts, and the size of wind energy potential areas was calculated [NASA Power Data, 2024]. Thus, the area of areas with wind speeds of 2.5–3.5 m/s for the placement of wind turbines is three thousand km² (3 %) and 13.5 thousand km² (16 %) for divisions I and II, respectively. Areas with weak power (3.51–4.5 m/s) energy production potential are grouped within divisions III and IV and are calculated as 20 thousand km² (23 %) and 16 thousand km² (18 %) separately. The area of medium power areas in divisions V and VI, with wind speeds between 4.51 and 5.5 m/s, is 8 thousand km² (9 %) and 17 thousand km² (20 %), respectively. The areas of the territories within the VII and VIII divisions with high wind power reserves (5.51–6.5 m/s) and technical potential for the construction of wind power plants are 5.1 thousand (6 %) and 4.1 thousand km² (5 %) (Fig. 2). The potential areas, which total 9.2 thousand km², are considered the most suitable areas for the construction of WPPs, mainly covering the coast of the Caspian Sea, including Sitalchay, Yeni Yashma, Shurabad, etc. Figure 1 indicates that wind speeds above 6.5 m/s are concentrated along the Caspian coastline, highlighting its suitability for high-capacity turbines.

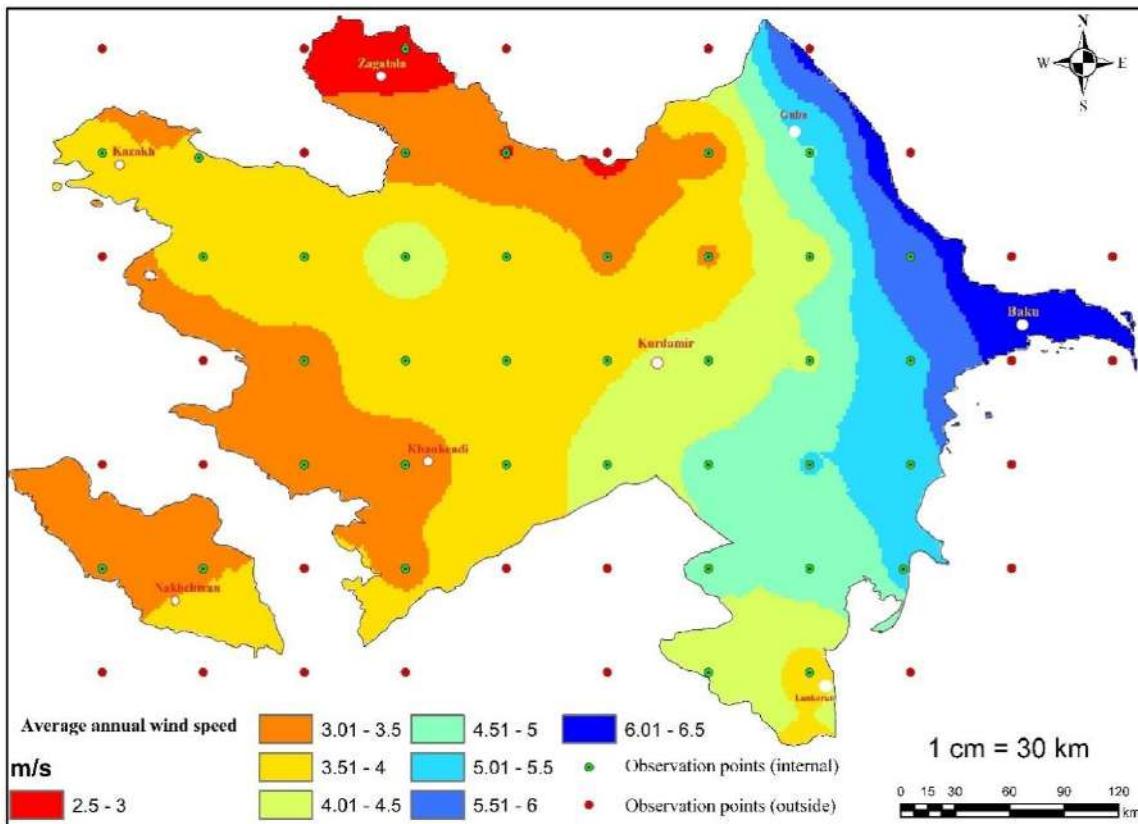


Fig. 1. Wind speed distribution in the Republic of Azerbaijan (50 m relative altitude)

Рис. 1. Распределение скорости ветра в Азербайджанской Республике (относительная высота 50 м)

A wind speed map was prepared by comparative analysis of the data of existing measurement observation stations in Azerbaijan, the Global Wind Atlas, MERRA-2 satellites, the Climate Atlas, the Ecological Atlas, and the Geographic Atlas of the Republic of Azerbaijan. Based on the MERRA-2 satellite database, wind speed data for 1981–2020 were analyzed for 84 stations in the country, and the average annual wind speed was determined to be 4.41 m/s. As can be seen from the dynamics given in Fig. 2, although an increase of 0.1 m/s was observed in the average annual wind speed (from 4.4 to 4.5), the speed remained stable in comparison with the overall period [NASA Power Data, 2024]. In addition, the maximum average speed in the country was 9.67 m/s on Pirallahi Island, and the minimum speed was 1.68 m/s in the Gabala district [Ecological Atlas, 2009].

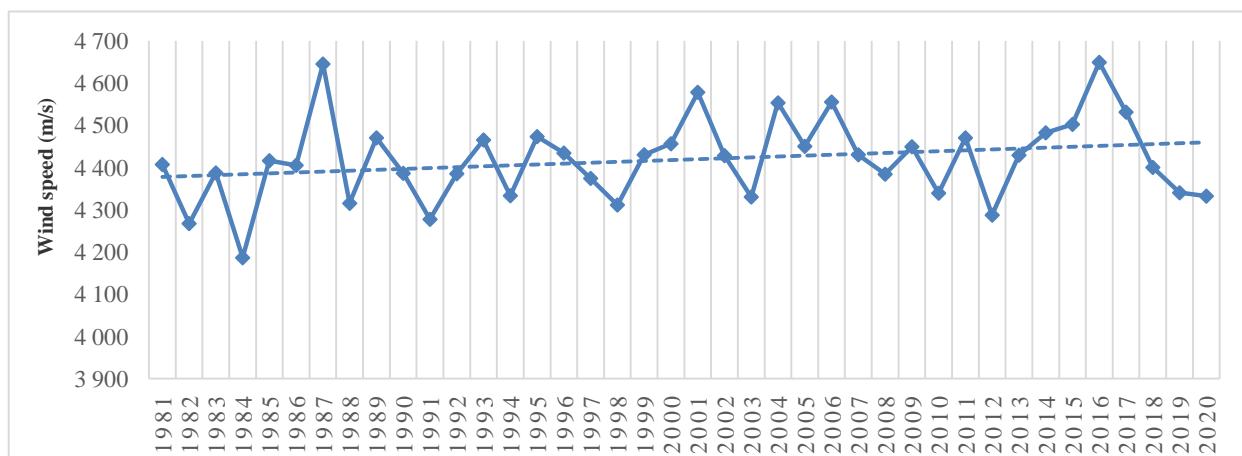


Fig. 2. Average annual wind speed in Azerbaijan for 1981–2020 [NASA Power Data, 2024]

Рис. 2. Среднегодовая скорость ветра в Азербайджане за 1981–2020 гг.

In meteorological observation data, the average annual minimum wind speed was calculated as 1.95 m/s, the maximum as 5.6 m/s, and the average as 3.6 m/s [GWA, 2025]. Areas with an average wind speed higher than 3.5 m/s mainly cover the Absheron Peninsula (Fig. 1). As a result of the analysis of this data, it was determined that the wind speed measured by satellite is 0.81 m/s lower than the data from the existing observation points. For this purpose, the wind energy potential was studied based on the basic data of another source, the Global Wind Atlas. The height of modern wind turbines with blades is 50 meters and above. For this purpose, we based the wind speed measurement data at a relative height of 50 m (Fig. 3 and 4), and prepared a wind speed map. Because of the analysis of wind speed data at a relative height of 10 m and 50 m, it was determined that the speed at a relative height of 50 meters is 20 % higher [GWA, 2025]. When wind turbines are placed at a height of 50 m, energy production will be correspondingly higher. As can be seen, the total area of areas with an average annual wind speed of more than 6.0 m/s in the republic is 5.5 thousand km² (Fig. 3 and 4).

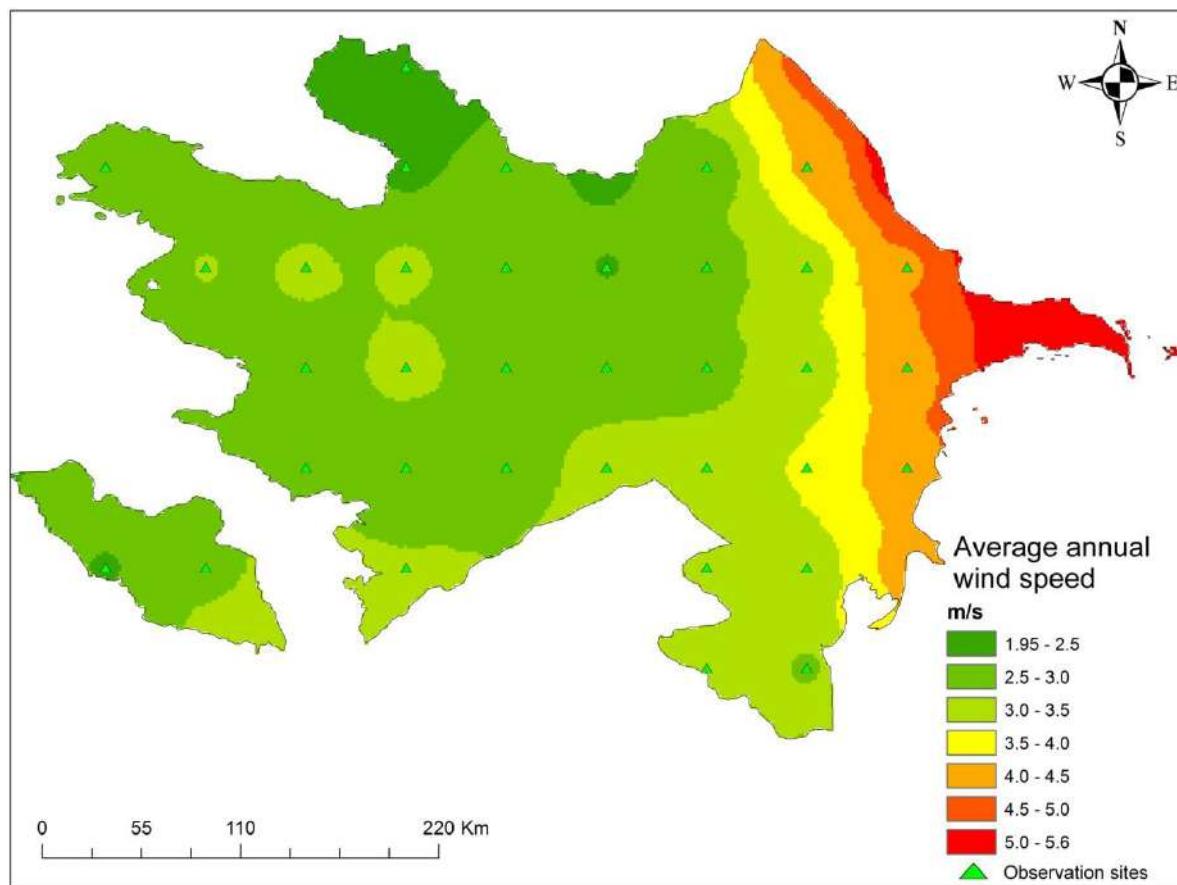


Fig. 3. Wind speed at 10 m relative heights in Azerbaijan
Рис. 3. Скорость ветра на относительных высотах 10 м в Азербайджане

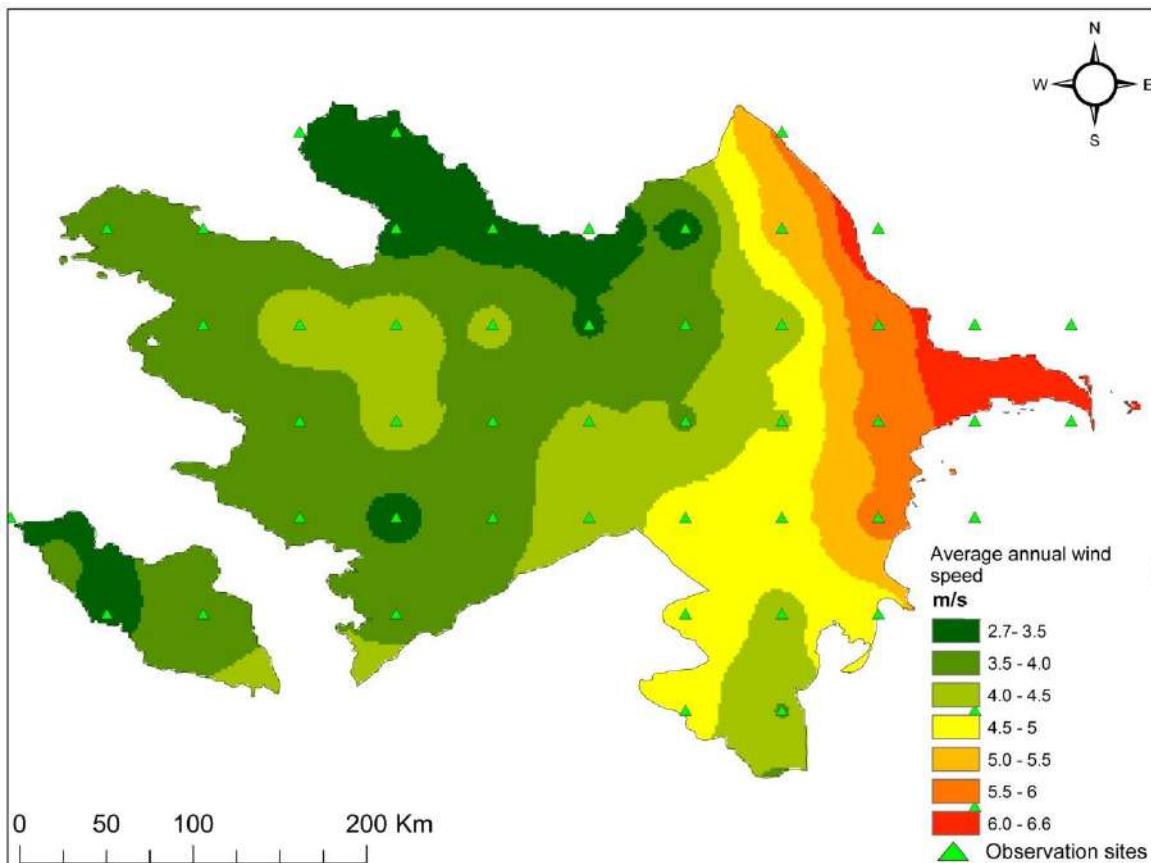


Fig. 3. Wind speed at 50 m relative heights in Azerbaijan
Рис. 3. Скорость ветра на относительных высотах 50 м в Азербайджане

The amount of energy production in the country according to the wind speed was calculated using the Wind pro program using a 2 MW wind turbine of the “Camesa G90” type as an example according to the following graph [Imamverdiyev, 2020]. The amount of energy production varies depending on the duration of windy hours, with wind speeds between 3 and 21 m/s. For this purpose, the dependence of wind energy production on wind speed and duration is analyzed in Fig. 5.

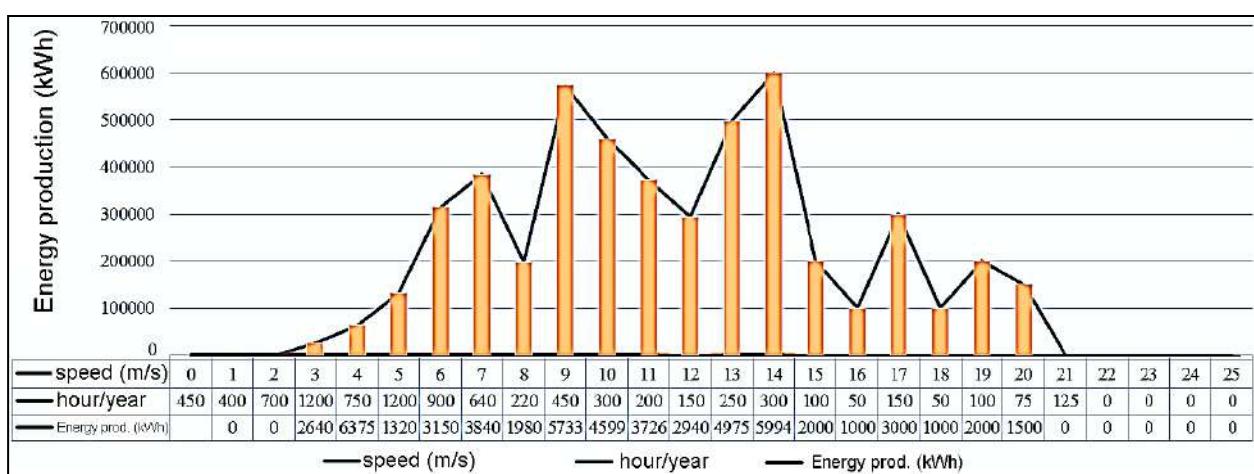


Fig. 5. Dependence of wind energy production on wind speed and duration
Рис. 5. Зависимость выработки ветровой энергии от скорости и продолжительности ветра

As can be seen from the graph, in areas with a high wind speed of 6 m/s, the annual duration will be 1200 hours and the amount of energy production will be 132 thousand kWh. In areas with a stable wind speed of 8–12 m/s, energy production is considered optimal for the construction of turbines with an average capacity of 2000 kW. In this case, as an example of areas with favorable wind speeds in the country, the maximum annual energy production of 2000 kW KES will be 4.96 million kWh (EFI 18 %).

Technical Potential and Energy Yield

Using WindPRO simulations for selected turbine models:

- *Gamesa G90 – 2 MW*: Annual generation of 3.4–4.96 million kWh per unit (capacity factor: ~18 %).
- *Generic 3.45 MW – IEC Class 2*: Annual generation of up to 3.4 million kWh in high-potential areas (capacity factor: ~28 %).

Pirallahi Island alone could accommodate 118 turbines of 2 MW capacity, producing 260 million kWh/year. With 9.5 MW Vestas V-164 turbines, potential output could reach 1.3 billion kWh/year. In areas with efficiency indicators in the selection of wind power plants, the average wind speed at a relative height of 50 m is 6.82 m/s, and the power density is 572 W/m² [GWA, 2025]. The total area of the areas with the highest wind potential, with an average annual wind speed of 8.5 m/s at a height of 50 meters and a power density of 975 W/m², is 5400 km². For example, by installing a “Generic 3.45 MW–IEC Class 2” type wind turbine in these areas, it is possible to obtain 3.4 million kWh/year (EFI 28 %). When comparing the height indicators and capital cost of wind turbines, it was determined that the optimal height in the area is between 50 and 100 meters. These areas are the Absheron Peninsula and the Caspian Sea coast, where the maximum number of windy days is 270/year [Ahmadov, Novruzova, 2019]. Examples of these areas include Pirallahi, Bina, Jilov Island, and Neft Dashlari, where the average annual wind speed is between 6 and 7 m/s. However, the wind speed indicators decrease towards the west of the peninsula. Thus, in the areas of Gizil Burun, Khizi, Gobustan, etc., the average annual wind speed drops to 4–4.6 m/s [Geography Atlas, 2014; Mammadova, 2015].

Wind speed indicators at a relative height of 100 meters in the republic were studied, and the average speed in potential areas was determined to be 7.8 m/s-year, and the wind power was determined to be 702 W/m. This is 2.5 m/s, or 38.5 % more than at a height of 50 meters [GWA, 2025]. In areas with an average annual wind speed of 7.8 m/s, it is possible to produce 1.3 million kWh of energy per year with a turbine with a diameter of 90 m of 2 MW blades. At this power, 6.4 thousand m² of land is needed for each turbine. Theoretically, it is possible to build 118 wind turbines of this type outside the restrictive areas on Pirallahi Island (17.6 km²), which has the highest potential in the country, which is equal to a total energy production of 260 million kWh (14 % of the FIE). If 9.5 MW Vestas V-164 wind turbines are installed in the same area, energy production will be 1.3 billion kWh.

The areas with average wind speed indicators are the Sharur, Julfa, and Ordubad districts of the Nakhchivan Autonomous Republic. In this region, only 560 km² of land at a relative height of 50 meters has wind potential. The average annual wind speed of Nakhchivan varies between 3 and 3.5 m/sec, which is weaker than that of the Absheron region [Mammadova, 2015]. The geographical position of the NAR allows it to be affected by the movement of two interacting airflows (cold air of arctic origin from the north and warm air mass of tropical origin from the south), which creates a high pressure in the Julfa and Ordubad districts, causing medium-strength winds.

In the Ganja-Dashkasan zone, the average annual wind speed is 3–3.5 m/s, and the number of windy days is 95 [Ahmadov, Novruzova, 2019]. Winds of 2–5 m/s are observed in the plain part of Ganja-Kazakh, and winds of 6–10 m/s on certain days at the foothill part. There is also sufficient wind energy potential in the southeastern coastal areas of the Mingachevir reservoir. In the mountainous areas of the Greater Caucasus, winds of 0–1 and 2.5 m/s in the northeast and southwest directions account for 80–85 %. Although strong and hurricane-like winds are rare in these areas, their speed does not exceed 20 m/s. In Lankaran-Astara, due to breeze and mountain-valley circulation,



westerly and southeastern winds with speeds of 0–1 and 2–5 m/s (80 %) prevail. In the Lerik-Kelvez zone, the wind speed at a relative height of 50 m is 5.5–6.5 m/s [Aliyev, 2015]. It should be noted that, since the 1930s, a decreasing trend has been observed in both wind speed and the number of windy days. The average annual wind speed in the country decreased by 12 % in 1961–1990 compared to climate norms. The decrease in speed is observed more in the Kura-Araz lowland (47 %), coastal areas (22 %), and foothill and low mountainous zones (9 %). The number of strong windy days (15 m/s and more) has increased more than 2 times in most stations (81 %) compared to the norms before 1960, and in other stations (19 %) it has decreased by an average of 12 % [Geography Atlas, 2014]. The number of days with strong winds is 52 days/year, the highest in Absheron (Pirallahi – 129 days), the lowest in the Lankaran lowland (6 days), and the Kura-Araz (10–64 days).

The technical energy potential in the republic, depending on the wind speed, is 1500 MW. 70 % of this (1050 MW) falls on the Caspian Sea coast, mainly on the Absheron peninsula. Here, northern, northwestern and southern winds are observed, while winds from other directions are a minority. The speed of the prevailing winds in Absheron is 6–19 m/s, and in rare cases, winds of 2–5 m/s blow. Strong and hurricane-like winds blow from the north and northwestern on the peninsula, their speed sometimes reaches 30–40 m/s [Geography Atlas, 2014]. Taking these factors into account, it is imperative to choose structures that are more resistant to strong winds when placing turbines.

The prevailing wind direction in the Absheron region is mainly from the north, with 65 % of the year. The physical and geographical conditions of the coastal strip influence the wind speed in the area. Here, the speed is typically between 0.5 and 12 m/s, with only 30 % of the winds being greater than 8 m/s. Days with wind speeds exceeding 15 m/s on the peninsula are observed more often in winter. Strong windy days (21 m/s) are observed 35 days in Baku, 37 in Sumgait, and 40 in Pirallahi. Northern winds prevail here, and on certain days the speed reaches 30–40 m/s [Geography Atlas, 2014]. In winter, solar radiation is significantly reduced due to the influence of cold air masses. Thus, the number of days above 25°C in Baku is 50, and the number of days above 20 is 120. The number of days with an annual temperature between –5 and 10 is 5, the number of days between –5 and 0 is 3, and the number of days above 35 is 16 [Geography Atlas, 2014].

Seasonal and Regional Variability

Meteorological records covering 1981–2020 reveal that wind intensity across Azerbaijan changes noticeably with the seasons. The strongest winds occur in winter, particularly from December to February, when mean speeds along the Absheron Peninsula and the Caspian shore often exceed 6.5 m/s at a 50 m height. In these months, many modern turbines can achieve efficiency levels of 25–30 %, making this period the most productive for electricity generation from wind. During summer, however, inland regions typically see weaker winds, averaging 4.0–4.5 m/s, which limits output to roughly 12–18 % of installed capacity. Spring and autumn tend to be more balanced, with speeds of 5.0–5.8 m/s providing steady but moderate production [NASA Power Data, 2024; GWA, 2025]. This seasonal cycle means that wind power plants contribute more to meeting electricity demand in colder months, while solar plants become the main renewable source in summer. The complementary nature of these patterns can improve the stability of Azerbaijan's overall renewable energy supply. This seasonal complementarity supports hybrid renewable energy systems, with wind generation dominating in winter and solar in summer.

Seasonal analysis shows distinct wind patterns:

- Winter (Dec–Feb): Strongest winds (> 6.5 m/s in coastal Absheron), yielding capacity factors of 25–30 % for modern turbines.
- Summer (Jun–Aug): Inland areas experience weaker winds (4.0–4.5 m/s), reducing capacity factors to 12–18 %.
- Spring & Autumn: Moderate, steady production potential (5.0–5.8 m/s).

Current Utilization and Development Prospects

As of 2023, Azerbaijan's installed wind capacity is 64 MW, representing only 2.2 % of the technically exploitable 3,000 MW potential. The share of wind in total electricity generation is

0.39 % [Energy of Azerbaijan, 2023]. The government aims to expand wind capacity to 20 % of total generation within the next decade, supported by domestic and foreign investment in both onshore and offshore projects. In 2022, the total production capacity of 7 stations built for the use of wind energy was 64 MW and the electricity production was 83.3 million kWh [Energy of Azerbaijan, 2023]. This is 2.2 % of the technically usable wind energy potential of 3000 MW. Currently, the share of wind power plants in the country's total energy production is 0.39 % (table 1).

Table 1
Таблица 1Wind power plants in Azerbaijan (2023)
Ветряные электростанции в Азербайджане (2023)

| Station | Construction date | Capacity, MW | Location | Implementing organization | Million kWh | Turbine type and number |
|---------------|-------------------|--------------|---------------------------------|---|-------------|-------------------------------|
| Yeni Yashma | 2009 (2018) | 50 | Khizi (Yeni Yashma) | Caspian management systems and Aztrog LLC | 109 | Fuhrlander FL 2500 (20 units) |
| Yasma Baglari | 2009 | 3,6 | Khizi district Shurabad village | “Caspian Technology” | 7 | Vestas V90 (4 units) |
| Shurabad | 2009 | 1,7 | Shurabad sett. (Khizi) | Berlin Wind | 11.6 | Vestas V90 (2 units) |
| Hokmali | 2011 | 8 | Hokmali sett. | “Alten Group” LLC | 17.5 | Gamesa G78 (4 units) |
| Gobustan HPP | 2011 | 2.7 | Gobustan district | AREA | 5.9 | PowerWind 56 (H. 60 m) |
| Julfa HES | 2021 | 0.3 | Julfa | “Gamigaya Holding” | 0.26 | China “ANE” 10 units |

Prepared based on data from the State Agency for Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan.

The locations of renewable power plants in the Republic of Azerbaijan, including wind power plants, can be clearly seen on the map we have prepared. This map provides a visual representation of the current distribution of these facilities across the country, highlighting the regions where renewable energy generation is already in operation (Fig. 6). In total, there are 46 stations of various sizes, seven of which are dedicated to wind energy.

Although wind energy production in the republic was 22.1 million kWh in 2017, this volume has increased 4 times in 5 years, reaching 83.3 million kWh. Thus, from 2009 to 2020, 164.3 million AZN was invested in wind energy, and 63.6 million AZN in 2014 alone, and a total of 514.4 million kWh of electricity was produced through wind turbines by 2023 [Energy of Azerbaijan, 2023]. It is planned to build 5 more stations over the next 10 years, thereby bringing the share of wind power in total production to 20 %.

Environmental and Economic Benefits

Each 1 MW of installed wind capacity:

- Saves approximately 14,500 tonnes of coal or 46,000 barrels of oil over 10 years;
- Prevents emission of 20,000 tonnes of CO₂, 100 tonnes of SO₂, and 2 tonnes of N₂O;
- Reduces reliance on natural gas, saving an estimated 365 million m³/year if 400 MW of capacity is installed.

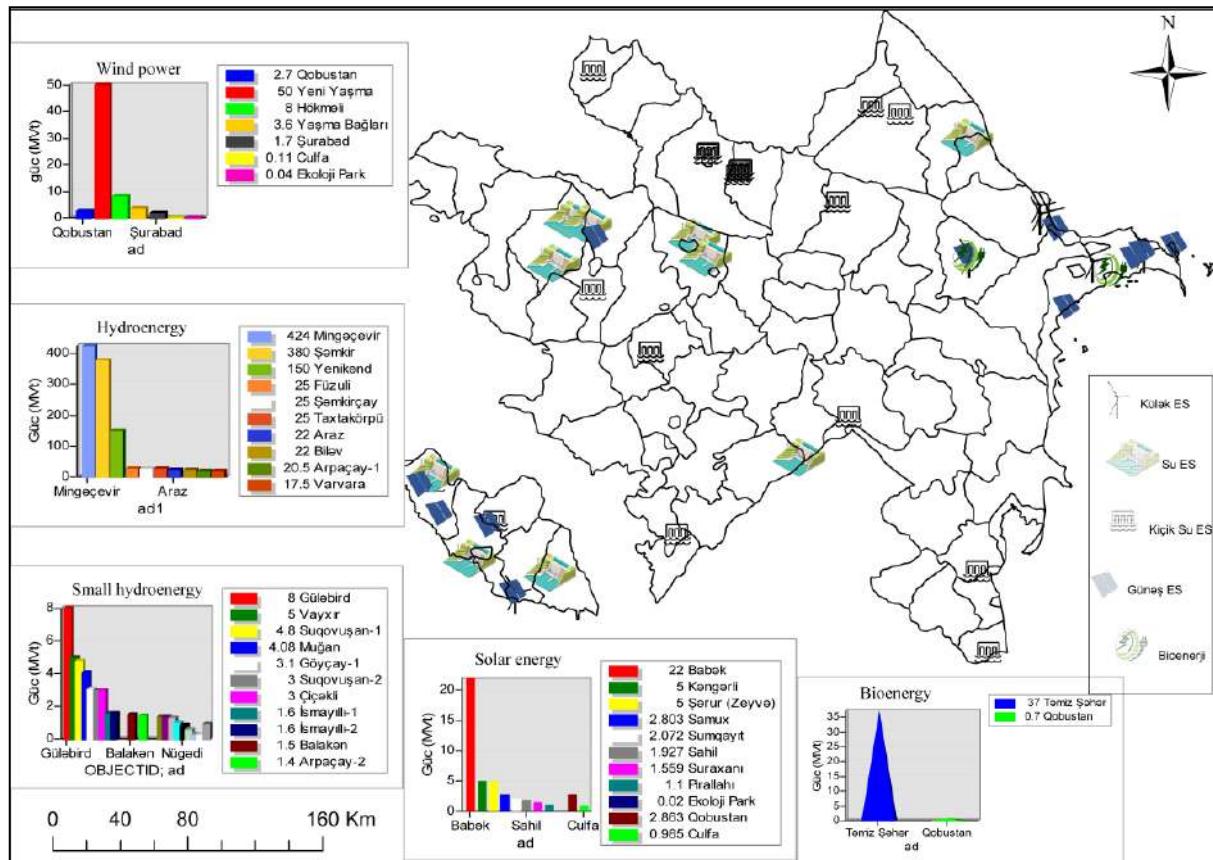


Fig. 6. Areas where renewable energy power plants are located in Azerbaijan

Рис. 6. Районы Азербайджана, где расположены электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии

These benefits align with global trends in decarbonization and enhance Azerbaijan's energy security by diversifying its energy mix. Although the economic benefit of wind power plants in the country is only 7.5 million AZN in terms of energy sales, they also have environmental benefits, such as not polluting the environment and eliminating dependence on hydrocarbon fuels. More precisely, each MW power plant saves 14.5 thousand tons of coal and 46 thousand barrels of oil over 10 years and prevents 20 thousand tons of CO₂, 100 tons of SO₂, and 2 tons of N₂O gases from being emitted into the atmosphere. The main part of the gases that cause the heat effect is carbon dioxide, 57 % of which is generated during the production of traditional energy. In general, 81 % of the electricity in the world is obtained by burning fuels that cause environmental pollution (31 % natural gas, 12 % oil, and 38 % coal). In Azerbaijan, 0.24 m³ of gas is consumed for each kWh of electricity production in thermal power plants. The electricity production of thermal power plants is 26.5 billion kW/h, which is equal to 5.7 billion m³ of gas consumption [Environment in Azerbaijan, 2023]. Thus, as a result of the combustion of 1 m³ of natural gas, 1.78 kg of carbon dioxide is emitted into the atmosphere. In general, as a result of the combustion of hydrocarbon fuels in thermal power plants, a significant amount of polluting gases, 34 % of which are carbon dioxide, are emitted into the atmosphere every year. However, if RES is used efficiently, 427 tons of carbon dioxide emitted into the atmosphere in each million kWh of energy production will be prevented. Also, since renewable energy stations do not require any costs other than annual maintenance, they will pay back the investment amount within an average of 8 years. This makes wind turbines economically viable as a future electricity investment. It will also ensure the return of the investment in the plant and additional profit over the 25-year operation period.

The capital cost of one MW of a wind turbine in Azerbaijan is 3 million US dollars. The wind energy was calculated based on the average annual wind speed and the area of optimal areas, and it was determined that there are many suitable areas in the country for building stations with a capacity of 400 MW. These stations can generate 1.5 billion kWh of electricity per year, as well as save 365 million m³ of natural gas. The following table was prepared based on data from the Geographic Atlas of the Republic of Azerbaijan (2018) and the Global Wind Atlas (2021) (table 2).

Table 2
Таблица 2

Area of potential areas suitable for wind power generation in Azerbaijan
Площадь потенциальных территорий, пригодных для ветрогенерации в Азербайджане

| Regions | Wind power | Average annual wind speed (m/s) | Occupied area (thousand km ²) | Usable areas (thousand km ²) |
|-----------------------|------------|---------------------------------|---|--|
| Absheron Peninsula | High | 5–6 | 3.9 | 0.34 |
| Caspian Coastal Areas | High | 6–7.5 | 2.3 | 0.2 |
| Gobustan | Medium | 3.5–5 | 2.5 | 0.5 |
| Samur-Shabran | Medium | 4.5–5 | 1.7 | 0.3 |
| Ganja-Gazakh | Weak | 2.6–4.2 | 2.8 | 0.46 |
| Nakhchivan AR | Weak | 2.5–3.1 | 5.5 | 0.275 |

With the development of wind turbine manufacturing technologies and the competitiveness of new manufacturing facilities, the cost of offshore wind energy production will decrease by 35 % and onshore by 26 % by 2025, to US \$0.07 per kWh.

The analyses conducted in this study clearly demonstrate that Azerbaijan possesses significant wind energy resources, particularly along the Caspian coastal regions and the Absheron Peninsula. The integration of meteorological data, GIS-based spatial analysis, and energy modelling provides a scientific basis for identifying optimal locations for wind turbine deployment. Despite the current underutilization of this renewable energy source, the technical, environmental, and economic indicators all point to a strong potential for future development.

Practical Significance and Novelty

In this research, Azerbaijan's wind energy potential was evaluated in detail through a combination of long-term meteorological records (1981–2020) and MERRA-2 satellite data, interpreted within a GIS environment. The work has direct practical value as it offers a location-based assessment of where wind power plants could be most effective, taking into account both wind speed and terrain conditions. These results can be used by energy planners, engineers, and investors to select suitable sites, choose appropriate turbine heights, and estimate production capacity with greater accuracy. The findings show that 10.7 % of the national territory – primarily along the Caspian Sea coast and the Absheron Peninsula – has the potential to produce around 2.4 billion kWh of electricity each year, significantly reducing fossil fuel demand and preventing thousands of tons of carbon emissions.

Comparative Analysis with Previous Studies

Compared to earlier works [Salmanov, 2009; Khammadov, 2012], this study offers:

1. Higher spatial resolution in wind mapping (250 m grid from GWA data).
2. Altitude-specific wind potential mapping (10, 50, 100 m).
3. Integrated turbine performance modelling for site-specific yield estimation.

The methodology replicability allows for application in other Caspian Basin countries with similar climatic and topographic conditions. What sets this study apart is its integrated approach: satellite observations, ground measurements, and cartographic sources were combined to generate detailed wind maps for different altitudes (10, 50 and 100 m). The analysis also links



wind speed patterns with technical capacity factors for different turbine models, offering insights not covered in earlier studies. This makes the methodology transferable to other regions with similar physical and climatic characteristics.

Conclusion

The primary aim of this study was to identify the most suitable territories for wind power plant deployment in Azerbaijan, fully aligned with the country's renewable energy transition long-term goals. By integrating long-term meteorological records (1981–2020) from 84 stations with MERRA-2 satellite data, Global Wind Atlas information, and field measurements into a GIS-based spatial analysis and wind turbine performance modelling framework, the research successfully achieved all stated objectives. The results showed that 10.7 % of the national territory (9.2 thousand km²), concentrated mainly along the Caspian coastline and the Absheron Peninsula, offers optimal technical and environmental conditions for wind turbine installation. These areas exhibit average annual wind speeds of 5.6–8.5 m/s and power densities of 390–975 W/m² at 50 m hub height. The technical potential is estimated at 800 MW, which is approximately 2.4 billion kWh per year. This is equivalent to 8.6% of Azerbaijan's electricity production in 2022. Performance modelling of 2 MW and 3.45 MW turbines indicated annual generation capacities of 3.4–4.96 million kWh per unit, while increasing hub height to 100 m improve yields by up to 38.5 %. Pirallahi Island alone could host 118 turbines generating 260 million kWh/year, or 1.3 billion kWh/year with 9.5 MW units.

Despite this significant resource base, only 2.2 % (64 MW) of the technically exploitable 3000 MW potential is currently utilized. Large-scale deployment is projected to raise this share to 20 % within the next decade, offering substantial environmental and economic benefits. Each 1 MW of installed capacity could save 14,500 tonnes of coal and 46,000 barrels of oil, while preventing 20,000 tonnes of CO₂ emissions over a 10-year period.

The integrated methodology applied here – combining multi-source datasets, altitude-specific wind mapping, and turbine performance modelling – offers a transferable decision-support tool for policymakers, engineers, and investors. Its application can guide strategic renewable energy planning not only in Azerbaijan but also in other regions with similar climatic and topographic conditions.

References

- Abdullayev Y.R., Karimzadeh O.O., Huseynov G.A., Mamma-dova G.V., Karimzadeh G.S. 2018. Improvement of a Vertical Axis Magnetic Levitation Wind Generator. Problems of Energy, 3: 78–86.
- Ahmadov Sh.A., Novruzova S.N. 2019. Use of Alternative Energy Sources and Energy Production of a Modern Biogas Plant. News of the Azerbaijan Engineering Academy, 11(4): 124–128.
- Aliyev R.N. 2015. Alternative Energy and Ecology. Baku, Pabl. Teknur, 368 p.
- Berken J.T. 2009. Using GIS to Analyse Wind Turbine Sites within the Shakopee Public Utilities Electric Service Territory Shakopee. Papers in Resource Analysis, 11: 1–11.
- Chuvarli Ch.M., Jesman V.I. 2003. Wind and Solar Energy, Its Conversion and Use. Baku, Elm Publishing House, 213 p.
- Ecological Atlas. 2009. Baku, Baku Cartography Factory, 103 p.
- Energy of Azerbaijan. 2023. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku, Statistical Bulletin, 164 p.
- Environment in Azerbaijan. 2023. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku, Statistical Bulletin, 139 p.
- Eyyubov A.C. 1997. Climate and Human Health of Baku and the Absheron Peninsula. Baku, Azernashr, 124 p.
- Geography Atlas. 2014. Geography of the Republic of Azerbaijan. Baku, European Publishing House, 530 p.

- Georgopoulou E., Lalas D. Papagiannakis L. 1997. A Multicriteria Decision Making Approach for Energy Planning Problems, the Case of a Renewable Energy Option. European Journal of Operational Research, 1(103): 38–54. <https://doi.org/10.1016/S0377-2217>.
- GWA. 2025. The Global Wind Atlas: Azerbaijan and regions. Electronic resource. URL: <https://globalwindatlas.info/area/Azerbaijan> (date of access 21.03.2025).
- Imamverdiyev N.S. 2020. Determining Wind Energy Potential Areas in Azerbaijan by Using the GIS Multi-Criteria Decision Analysis Method. ANAS Transactions Earth Sciences, 1: 44–53.
- Janke J.R. 2010. Multicriteria GIS Modelling of Wind and Solar Farms in Colorado. Renewable Energy, 35(10): 2228–2234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.014>.
- Jianu O., Rosen M.A., Naterer G. 2012. Noise Pollution Prevention in Wind Turbines: Status and Recent Advances. Sustainability, 4(6): 1104–1117. <https://doi.org/10.3390/su4061104>.
- Khammadov A.M. 2012. The Possibility of Using Hybrid Photovoltaic Generators and Wind Turbines in the Republic of Azerbaijan. Journal of Energy Problems, 2: 53–68.
- Mammadova Z.M. 2015. Electric Power Industry: Geography of the Republic of Azerbaijan, Economic, social and political geography. Baku, European Publishing House, 328 p.
- NASA Power Data. 2024. MERRA-2 Data, POWER Data Access Viewer v2.0.0, Prediction of Worldwide Energy Resource. Electronic resource. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (date of access 01.12.2024).
- Pashayev N.A. 2022. Development Prospects of Territorial Organization of the “Green Economy” in the Karabakh and East Zangezur Economic Regions. Materials of the scientific-practical conference on the organization and management of natural-economic systems in the Karabakh and East Zangezur economic regions. Baku, 26 May 2022. Baku: 28–39.
- Perkins S.D., Everett M.A. 2011. Offshore Wind Power. New York, Nova, 246 p.
- Rzayev P.F., Gurbanov M.A., Rzayeva M.P. 2003. Simple Solar and Wind Devices. Baku, Ekoil scientific-ecological association, 30 p.
- Salmanov O.M. 2009. Wind Energy Resources of Azerbaijan and Possibilities of Their Use. Problems of Energy, 2: 56–67.
- Salmanova F.A. 2012. Hot Water Supply of a Village (Garden) House Based on Solar and Wind Energy in the Natural Conditions of the Absheron and Caspian Coastal Strip. Abstract dis. ... doc. philos. sciences. Baku, 27 p.
- Watson J.J., Hudson, M.D. 2015. Regional Scale wind power plant and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. Landscape and Urban Planning, 138: 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>.

Received June 26, 2025;

Revised August 08, 2025;

Accepted October 27, 2025

Поступила в редакцию 26.06.2025;

поступила после рецензирования 08.08.2025;

принята к публикации 27.10.2025

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

Nijat Imamverdiyev, Senior Researcher at the Department of Azerbaijan Economic and Political Geography, Institute of Geography, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Имамвердиев Нижат, старший научный сотрудник отдела политической и политической географии Азербайджана, Институт географии, Министерства образования и науки Азербайджана, Баку, Азербайджан



УДК 504.45(470.324)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-0
EDN OKCNCM

Оценка экологических рисков для здоровья населения Воронежской области в результате химического загрязнения питьевой воды

Прожорина Т.И., Суханов П.А., Боева А.С.

Воронежский государственный университет

Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

sukhanov.1990@bk.ru

Аннотация. Цель исследования – анализ воздействия химических загрязнителей в питьевой воде, поступающей через централизованные системы водоснабжения, на здоровье жителей Воронежской области в контексте оценки экологических (неканцерогенных) рисков. В рамках работы определены приоритетные загрязняющие вещества и территории, представляющие наибольшую опасность для жителей региона. В исследовании использованы данные лабораторного мониторинга питьевой воды за 2024 год и первое полугодие 2025 года, полученные от Управления Роспотребнадзора по Воронежской области. Были изучены показатели 2100 проб, отобранных из систем централизованного водоснабжения в 32 муниципальных районах и одном городском округе региона. Основное внимание уделялось содержанию ключевых химических загрязнителей и их влиянию на здоровье населения. Результаты показали, что в 45,9 % исследуемых территорий зафиксировано превышение нормативов по общей жесткости воды. Расчет вероятных рисков, основанный на средних и максимальных концентрациях вредных веществ, позволил установить, что из-за потребления некачественной воды около 0,27 % взрослых и 0,63 % детей в области могут столкнуться с повышенной вероятностью развития различных заболеваний.

Ключевые слова: централизованные системы водоснабжения, экологические риски, питьевая вода, санитарно-гигиенические требования, химическое загрязнение, здоровье населения

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00219, <https://rscf.ru/project/25-17-00219/>

Для цитирования: Прожорина Т.И., Суханов П.А., Боева А.С. 2025. Оценка экологических рисков для здоровья населения Воронежской области в результате химического загрязнения питьевой воды. Региональные геосистемы, 49(4): 782–793. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-0
EDN: OKCNCM

Assessment of Environmental Risks to Public Health in the Voronezh Region as a Result of Chemical Contamination of Drinking Water

Tatiana I. Prozhorina, Pavel A. Sukhanov, Anastasia S. Boeva

Voronezh State University

1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia

sukhanov.1990@bk.ru

Abstract. The purpose of the study is to analyze the effects of chemical pollutants in drinking water flowing through centralized water supply systems on the health of residents of the Voronezh region in the context of assessing environmental (non-carcinogenic) risks. As part of the work, priority pollutants and territories that pose the greatest danger to residents of the region have been identified. The study uses data

from laboratory monitoring of drinking water for 2024 and the first half of 2025 obtained from the Department of Rospotrebnadzor in the Voronezh region. We studied the indicators of 2,100 samples taken from centralized water supply systems in 32 municipal districts and one urban district of the region. The main focus was on the content of key chemical pollutants and their impact on public health. The results showed that 45.9 % of the studied territories exceeded the standards for total water hardness. The calculation of the likely risks, based on the average and maximum concentrations of harmful substances, allowed us to establish that due to the consumption of low-quality water, about 0.27 % of adults and 0.63 % of children in the region may face an increased likelihood of developing various diseases.

Keywords: centralized water supply systems, environmental risks, drinking water, sanitary and hygienic requirements, chemical pollution, public health

Acknowledgements: The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-17-00219, <https://rscf.ru/project/25-17-00219/>

For citation: Prozhorina T.I., Sukhanov P.A., Boeva A.S. 2025. Assessment of Environmental Risks to Public Health in the Voronezh Region as a Result of Chemical Contamination of Drinking Water. Regional Geosystems, 49(4): 782–793 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-0
EDN: OKCNCM

Введение

Регулирование качества питьевой воды сохраняет свою актуальность как ключевое направление охраны здоровья населения и повышения уровня жизни в Российской Федерации. Несмотря на реализацию федеральных и региональных программ, направленных на улучшение водоснабжения, сохраняются риски, способные привести к ухудшению качества воды, поступающей потребителям [Рахманин, Онищенко, 2022].

Обеспечение населения безопасной питьевой водой является критически важным аспектом охраны здоровья и устойчивого развития территорий. Химическое загрязнение источников водоснабжения представляет серьезную угрозу для здоровья населения, требуя комплексной оценки экологических рисков.

Теоретическая значимость исследования заключается в комплексном применении и адаптации утвержденной методики оценки риска к специфике конкретного региона, что вносит вклад в развитие экологической эпидемиологии и гигиены окружающей среды.

Практическая значимость работы состоит в создании научной основы для: принятия управлеченческих решений; оптимизации водоохраных мероприятий; разработки адресных профилактических программ; применения в природоохранной деятельности.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют о глобальном характере проблемы химического загрязнения питьевой воды. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 2 млрд человек в мире потребляют воду, не соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам [Guidelines for drinking-water ..., 2022]. Особую тревогу вызывает тот факт, что, по результатам исследований с использованием современных систем оценки качества воды (*CCMEWQI – Water Quality Index* Канадского совета министров окружающей среды и *MDWQI* – модифицированного индекса качества питьевой воды), до 30 % проанализированных проб воды не удовлетворяют установленным требованиям [Corso et al., 2018; Levêque et al., 2018; Eslami et al., 2019]. Прогнозируется дальнейшее ухудшение качества поверхностных водоисточников вследствие комплексного воздействия следующих факторов: увеличения антропогенной нагрузки загрязняющими веществами; изменения режимов водопользования; трансформации гидрологических характеристик, обусловленных как климатическими изменениями, так и социально-экономическим развитием [Jones et al., 2023].

В Российской Федерации ситуация с качеством питьевой воды остается напряженной. Гигиенические исследования свидетельствуют о значительном химико-биологическом за-

грязнении поверхностных водоисточников, что требует: совершенствования технологий очистки сточных вод; оптимизации систем очистки атмосферных выбросов; усиления экологического мониторинга [Рахманин и др., 2017]. Основными источниками загрязнения водных объектов, используемых для централизованного водоснабжения, являются предприятия жилищно-коммунального хозяйства, на долю которых приходится до 54,7 % общего объема загрязнения [Девягова и др., 2015]. Особую озабоченность вызывает негативное влияние загрязненной питьевой воды на здоровье населения. По данным современных исследований, этот фактор может занимать ведущее место среди экологических рисков для здоровья человека [Константинова, 2022]. При этом следует отметить, что в Российской Федерации регулярный контроль качества питьевой воды осуществляется лишь в 10 % водопроводных систем [Новикова и др., 2020], что значительно ниже рекомендуемых международных стандартов и требует совершенствования системы мониторинга.

По данным на начало 2025 года, в Воронежской области насчитывается 2,26 млн жителей, с выраженным преобладанием городского населения (68,5 %) над сельским (31,5 %) [Численность населения ..., 2025]. Анализ данных Роспотребнадзора Воронежской области выявил значительную диспропорцию в обеспечении населения централизованным водоснабжением: средний показатель по региону – 61,3 %; в городских поселениях – 95,4 %; в сельской местности – лишь 58 %.

Будучи важным промышленно-аграрным регионом, Воронежская область испытывает значительную антропогенную нагрузку на водные ресурсы. Многочисленные экспертные оценки свидетельствуют о систематическом нарушении санитарно-гигиенических нормативов качества питьевой воды в различных населенных пунктах, что создает потенциальную угрозу для здоровья жителей [Стёпкин и др., 2012; Механтьев и др., 2020; 2021]. Так для взрослого населения Воронежской области риск от воздействия нитратов, содержащихся в питьевой воде, находится на приемлемом уровне, а для детей в возрасте до 6 лет установлено наличие неприемлемого (опасного) уровня риска [Прожорина, Куролап, 2020; Боева, 2023].

Проводимое исследование направлено на комплексную оценку неканцерогенных рисков, обусловленных химическим составом питьевой воды в системах централизованного водоснабжения. Особое внимание уделяется:

- выявлению приоритетных загрязнителей;
- определению территорий с повышенной экологической нагрузкой;
- разработке научно обоснованных рекомендаций по минимизации рисков.

Такой подход позволяет не только констатировать существующие проблемы, но и разрабатывать адресные решения для улучшения ситуации в наиболее проблемных районах области.

Объекты и методы исследования

В исследовании использовались официальные данные ведомственного мониторинга, полученные от территориального управления Роспотребнадзора Воронежской области. Анализ проводился на основе лабораторных исследований проб воды, отобранных из систем централизованного водоснабжения в период с января 2024 по июнь 2025 года. Общее количество мониторинговых точек (далее м.т.) – 229. По типам источников м.т. распределены следующим образом: подземные водоисточники – 54 м.т. (включая 3 м.т. в г. Воронеже и 51 м.т. в районах области); разводящие сети водоснабжения – 175 м.т. (16 м.т. в г. Воронеже и 159 м.т. в районах).

В каждой контрольной точке ежемесячно осуществлялся отбор проб с последующим анализом на содержание приоритетных загрязняющих веществ. Минимальная периодичность контроля составляла 1 исследование в месяц, что обеспечивало репрезентативность получаемых данных.

Настоящее исследование выполнено с применением современных подходов к определению потенциальной опасности химического загрязнения питьевой воды для здоровья населения [Куролап и др., 2020; Механтьев, 2020, Куролап и др., 2021]. В работе использована утвержденная методическая база в соответствии с актуальными нормативными документами, в частности Руководством Р 2.1.10.3968-23 [2023].

Для статистической обработки данных и расчета рисков использовали программное обеспечение *Microsoft Excel* (анализ концентраций).

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования зафиксированы случаи превышения гигиенических нормативов по следующим показателям (табл. 1):

- общая жесткость (превышение средних и максимальных концентраций);
- железо (превышение максимальных и единичных случаев средних концентраций);
- бор, марганец, фтор (единичные случаи превышения максимальных концентраций);
- нитраты (единичные случаи превышения средних и максимальных концентраций).

Таблица 1
Table 1

Территориальная дифференциация превышений ПДК в системах централизованного водоснабжения
Territorial differentiation of MPC exceedances in centralized water supply systems

| Муниципальное образование Воронежской области | Макс. превышение ПДК (ср.знач), раз | Макс. превышение ПДК (макс. знач), раз | Муниципальное образование Воронежской области | Макс. превышение ПДК (ср.знач), раз | Макс. превышение ПДК (макс. знач), раз |
|---|-------------------------------------|--|---|-------------------------------------|--|
| <i>Жесткость</i> | | | <i>Железо</i> | | |
| Аннинский | 1,12 | 1,51 | Таловский | – | 1,57 |
| Бутурлиновский | 1,54 | 2,14 | Эртильский | – | 1,23 |
| Таловский | 1,80 | 3,24 | Новохопёрский | – | 2,57 |
| Эртильский | – | 1,03 | Терновский | 1,95 | 3,93 |
| Поворинский | 1,60 | 2,39 | Бобровский | – | 4,40 |
| Калачеевский | 1,39 | 1,50 | Каширский | – | 3,00 |
| Воробьевский | 1,14 | 1,37 | Новоусманский | – | 2,40 |
| Петропавловский | – | 1,14 | Верхнекавский | – | 5,67 |
| Лискинский | – | 1,23 | Россошанский | – | 1,27 |
| Бобровский | – | 1,00 | Ольховатский | 1,00 | 13,00 |
| Каширский | 1,13 | 1,34 | Кантемировский | – | 4,00 |
| Новоусманский | – | 1,16 | Семилукский | – | 6,70 |
| Подгоренский | 1,34 | 1,77 | Хохольский | – | 2,60 |
| Семилукский | 1,02 | 1,14 | г. Воронеж | – | 2,03 |
| Павловский | 1,18 | 1,41 | <i>Марганец</i> | | |
| Россошанский | 1,05 | 1,10 | Калачеевский | – | 2,20 |
| Ольховатский | 1,50 | 1,91 | Семилукский | – | 2,10 |
| Кантемировский | 2,16 | 2,86 | г. Воронеж | – | 1,40 |
| Панинский | 1,29 | 1,47 | <i>Нитраты</i> | | |
| Рамонский | 1,08 | 1,26 | Рамонский | – | 2,04 |
| Репьёвский | – | 1,00 | Петропавловский | 1,36 | 3,11 |
| Хохольский | – | 1,07 | <i>Фтор</i> | | |
| <i>Бор</i> | | | Репьёвский | – | 4,61 |
| Семилукский | – | 1,24 | Рамонский | – | 1,33 |
| | | | Воробьевский | – | 1,47 |
| | | | Поворинский | – | 3,33 |

Проведенные исследования выявили, что в 13 муниципальных образованиях области (45,9 % от общей территории) зафиксированы стабильно высокие показатели жесткости воды, превышающие установленные нормативы. Регулярное потребление воды с такими характеристиками ассоциировано с повышенной вероятностью развития мочекаменной болезни и различных дерматологических патологий [Куролап, Клепиков, 2013; Прожорина и др., 2020; Механтьев и др., 2021].

Оценка потенциальных рисков для здоровья проводилась согласно методическим рекомендациям Р.2.1.10.3968-23 [2023], предусматривающим последовательное выполнение четырех основных этапов анализа. На первом этапе исследования было выявлено шесть основных загрязняющих веществ в питьевой воде: железо, бор, фтор, марганец, нитраты и общая жесткость. Несмотря на отсутствие канцерогенных свойств у данных элементов, полученные результаты указывают на потенциальный риск возникновения различных неонкологических заболеваний при хроническом потреблении воды с превышением их концентрации [Рахманин и др., 2017; Боева, 2023]. На рис. 1 представлена диаграмма с указанием долей проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам по конкретному веществу.

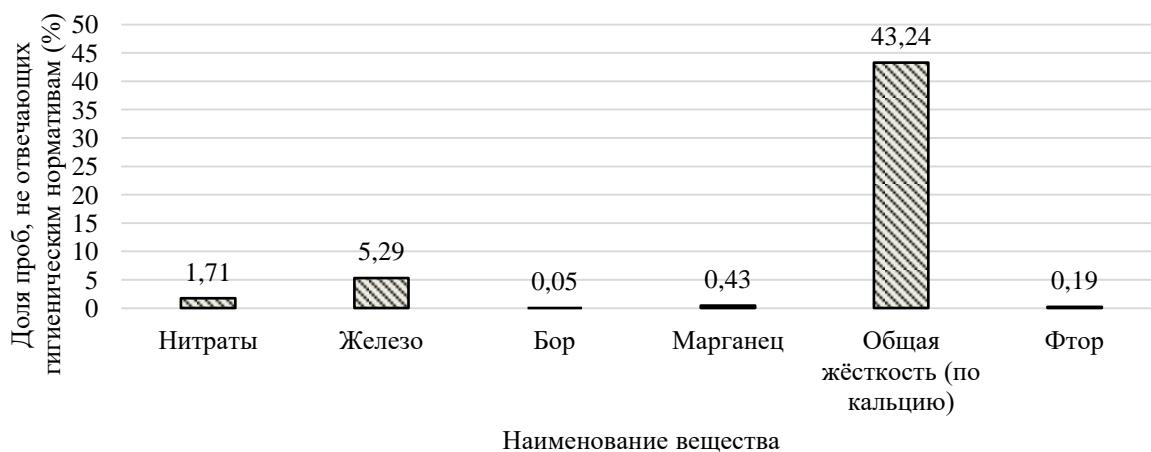


Рис. 1. Диаграмма долей проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам по конкретному веществу

Fig. 1. Diagram of the proportions of water samples that do not meet hygiene standards for a specific substance

Анализ диаграммы (см. рис. 1) выявил три вещества по количеству несоответствий санитарным нормам: нитраты, железо и общая жесткость воды. Следует отметить, что общая жесткость, представляющая собой комплексный показатель, оценивалась по концентрации доминирующего элемента – кальция [Трофимович и др., 2019; Сазонова и др., 2021].

Методика оценки рисков включала определение среднесуточных доз (средних и максимальных значений) для разных возрастных групп населения (дети/взрослые) с учетом: факторов экспозиции; путей поступления загрязняющих веществ.

На основании полученных данных проведен расчет:

- Показателей индивидуального неканцерогенного риска (HQ), представленных в табл. 2;
- Индексов опасности (HI) для системы кроветворения (при кумулятивном воздействии);
- Популяционных рисков (PHQ) для групп населения, подверженных воздействию.

Оценка численности населения, потребляющего воду ненадлежащего качества, проводилась только для территорий с опасным и предельно допустимым уровнем риска (преимущественно по фтору, нитратам и общей жесткости).

Таблица 2
 Table 2

Показатели индивидуального неканцерогенного риска для населения Воронежской области, обусловленных качеством питьевой воды

Indicators of individual non-carcinogenic risk for the population of the Voronezh region due to the quality of drinking water

| Административные территории (количество и % от территории региона) | | | | | |
|--|--|---|--|---|------------|
| Фтор | | Нитраты | | Общая жёсткость (по Са) | |
| дети | взрослые | дети | взрослые | дети | взрослые |
| <i>Диапазон неканцерогенных рисков (HQ) от 0,8 до 1,0 (пределенно допустимый) по средним дозам</i> | | | | | |
| — (0 %) | — (0 %) | Верхнемамонский (0,84) Нижнедевицкий (0,82) 2 территории (4,8 %) | — (0 %) | Бутурлиновский(0,83) Таловский (0,97) Поворинский (0,86) Ольховатский (0,81) 4 территории(11,2 %) | — (0 %) |
| <i>Диапазон неканцерогенных рисков (HQ) более 1,0 (опасный) по средним дозам</i> | | | | | |
| — (0 %) | — (0 %) | Петропавловский (2,45) Новоусманский(1,15) Рамонский (1,49) 3 территории (8,0 %) | Петропавловский (1,05) 1 территория (3,0 %) | Кантемировский (1,17) 1 территория (4,2 %) | - (0 %) |
| <i>Диапазон неканцерогенных рисков (HQ) от 0,8 до 1,0 (пределенно допустимый) по максимальным дозам</i> | | | | | |
| Лискинский (0,91) Бобровский (0,87) Верхнекахавский(0,87) Ольховатский (0,86) 4 территории (12,4 %) | Воробьевский (1) Рамонский (0,91) 2 территории (4,8 %) | Бутурлиновский(0,99) Острогожский (0,85) Богучарский (0,83) Верхнемамонский(0,88) 4 территории (13,1 %) | — (0 %) | Аннинский (0,82) Калачеевский (0,81) Подгоренский (0,96) 3 территории (9,9 %) | — (0 %) |
| <i>Диапазон неканцерогенных рисков (HQ) более 1,0 (опасный) по максимальным дозам</i> | | | | | |
| Бутурлиновский (1,03) Поворинский (5,33) Воробьевский (2,34) Рамонский (2,13) Кантемировский (1,02) Репьёвский (7,36) 6 территорий (16,2 %) | Поворинский (2,28) Репьёвский (3,16) 2 территории (4,6 %) | Аннинский (1,69) Воробьевский (1,1) Петропавловский (5,59) Лискинский (1,2) Новоусманский (1,55) Рамонский (3,68) Павловский (1,26) Кантемировский (1,74) Подгоренский (1,79) Нижнедевицкий (1,18) г. Воронеж (1,35) 12 территорий (32,2 %) | Петропавловский (2,4) Рамонский (1,58) 2 территории (5,5 %) | Бутурлиновский (1,16) Таловский (1,75) Поворинский (1,29) Ольховатский (1,03) Кантемировский (1,54) 5 территорий (15,4 %) | — (0 %) |

Анализ потенциальных неканцерогенных эффектов, связанных с пероральным поступлением железа, марганца и бора через питьевую воду, показал, что уровни индивидуального риска в большинстве случаев не превышают допустимых значений:

1. Железо:

- Дети – $HQ = 0,011\text{--}0,428$ (за исключением Ольховатского района, где максимальный риск достигал 0,831, что соответствует предельно допустимому уровню).
- Взрослые – $HQ = 0,005\text{--}0,356$.

2. Марганец:

- Дети – $HQ = 0,002\text{--}0,100$.
- Взрослые – $HQ = 0,001\text{--}0,043$.

3. Бор:

- Дети – $HQ = 0,032\text{--}0,198$.
- Взрослые – $HQ = 0,014\text{--}0,085$.

Наибольшую опасность с точки зрения неканцерогенных эффектов представляют нитраты и общая жесткость воды ($HQ \geq 1$). При оценке по средним дозам превышения зафиксированы:

1. Нитраты:

- Дети – $HQ = 1,15\text{--}2,45$ (3 района).
- Взрослые – $HQ = 1,05$ (1 район).

2. Общая жесткость:

- Дети – $HQ = 1,17$ (1 район).

При расчете по максимальным дозам ситуация ухудшается:

1. Нитраты:

- Дети – $HQ = 1,10\text{--}5,59$ (11 районов и 1 городской округ).
- Взрослые – $HQ = 1,58\text{--}2,40$ (2 района).

2. Фтор:

- Дети – $HQ = 1,02\text{--}7,36$ (6 районов).
- Взрослые – $HQ = 2,28\text{--}3,16$ (2 района).

3. Общая жесткость:

- Дети – $HQ = 1,03\text{--}1,75$ (5 районов).

Риски, связанные с максимальными концентрациями, носят эпизодический характер, однако при увеличении частоты воздействия они могут представлять значительную угрозу для здоровья населения [Механтьев, 2020].

При одновременном пероральном поступлении марганца, железа и нитратов – веществ одностороннего действия, влияющих на кроветворную систему, был рассчитан индекс опасности (HI) (рис 2.).

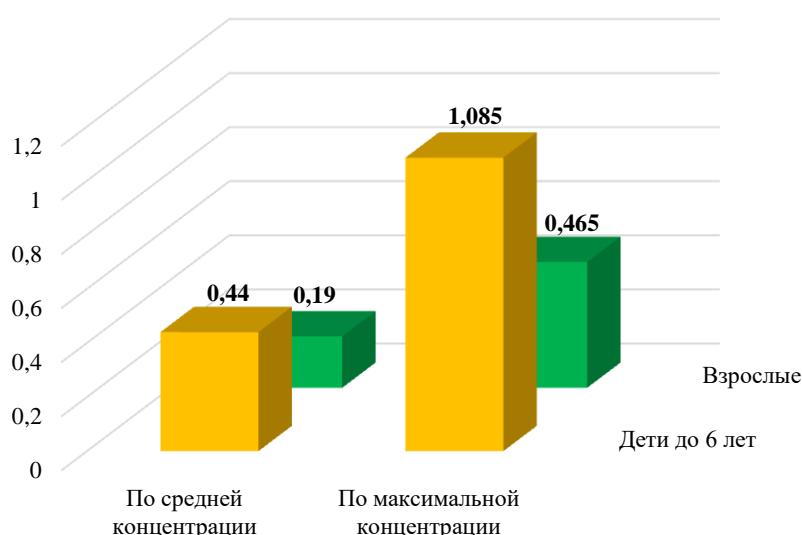


Рис. 2. Диаграмма индекса опасности (HI) при одновременном пероральном поступлении марганца, железа и нитратов

Fig. 2. Diagram of the hazard index (HI) with simultaneous oral intake of manganese, iron, and nitrates

По средним концентрациям:

- Взрослые – $HI = 0,19$ (допустимый уровень, < 1).
- Дети – $HI = 0,44$ (допустимый уровень, < 1).

По максимальным концентрациям:

- Дети – $HI = 1,085$ (незначительное превышение допустимого уровня, > 1).
- Взрослые – $HI = 2,71$ (существенное превышение, > 1 , что указывает на потенциальный риск).

Проведенные расчеты указывают на потенциальную опасность для детского населения Воронежской области при регулярном воздействии максимальных концентраций загрязняющих веществ в питьевой воде. Наибольшую угрозу представляют соединения, влияющие на кроветворную систему, что требует особого внимания при мониторинге водных ресурсов.

Для разработки эффективных управленческих решений проведен расчет популяционного риска (RHQ), отражающего вероятность развития заболеваний или токсических синдромов среди населения. В исследовании учитывались:

- Общая численность жителей Воронежской области, потребляющих воду ненадлежащего качества.

- Распределение риска между детской (0–14 лет) и взрослой группами населения.

Согласно проведенным расчетам общее количество жителей, находящихся в зоне риска составляет 5 282 человека, из них:

- Дети (0–14 лет) – 1 601 (0,63 % от детского населения региона).
- Взрослые – 3 680 (0,27 % от взрослого населения).

Заключение

По анализу данных гидрохимического мониторинга систем централизованного водоснабжения за период 2024 года и первого полугодия 2025 года выявлено три преобладающих вещества по количеству проб, несоответствующих санитарным нормам: нитраты, железо и общая жесткость воды. Особую озабоченность вызывает ситуация с общей жесткостью воды, где превышения допустимых значений зарегистрированы на 45,9 % исследуемых территорий, что позволяет отнести эти районы к зоне экологического риска.

Проведенная оценка рисков потенциального воздействия на здоровье населения показала, что около 5,3 тыс. жителей региона регулярно употребляют воду ненадлежащего качества. Среди общей численности населения Воронежской области доля детей, подверженных риску, составляет – 0,63 %, взрослых – 0,27 %. Указанные группы населения подвержены повышенной вероятности развития заболеваний, этиологически связанных с качеством потребляемой воды. Наибольшие риски отмечаются в районах с устойчивым превышением нормативов по ключевым показателям водопотребления, обусловленных недостаточным уровнем очистки воды перед ее подачей потребителю.

В качестве мероприятий, направленных на минимизацию рисков для здоровья населения, на основании выявленной структуры загрязнения рекомендуется: модернизация сооружений водоподготовки на водозаборных узлах с упором на технологии умягчения (например, реагентное умягчение, ионный обмен или нанофильтрация для снижения концентраций кальция и магния) и обезжелезивания (аэрация с последующей фильтрацией, использование каталитических загрузок); замена старых водопроводных сетей, усиление контроля за локальными источниками водоснабжения.

Проведенные исследования служат основой для выбора эффективных технологий очистки, предоставляя следующую информацию: целевые загрязнители (нитраты, соли жесткости, железо); география внедрения (картирование рисков позволяет адресно и экономически обоснованно планировать инвестиции в модернизацию).



Список источников

Численность населения Воронежской области на 1 января 2025 года. Электронный ресурс. URL: <https://36.rosstat.gov.ru/naselenie> (дата обращения: 21.06.2025).

Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». 2023. Москва, Роспотребнадзор, 301 с.

Список литературы

- Боева А.С. 2023. Оценка экологических рисков для здоровья населения Воронежской области, связанных с качеством питьевой воды в источниках децентрализованного водопользования. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 3: 90–97. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/90-97>
- Девятова Т.А., Божко С.Н., Яблонских Л.А., Чувычkin А.Л. 2015. Влияние отраслей народного хозяйства Центрального Черноземья на загрязнение водных объектов. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 54–58.
- Константинова Н.А. 2022. Загрязнение вод как фактор экологической медицины. Авиакосмическая и экологическая медицина, 56(6): 16–22. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2022-56-6-16-22>
- Куролап С.А., Клепиков О.В. 2013. Интегральное медико-экологическое зонирование как основа региональной стратегии устойчивого развития Воронежского региона. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 18(2): 516–519.
- Куролап С.А., Механтьев И.И., Клепиков О.В., Баскакова А.Г. 2021. Оценка риска для здоровья населения, связанного с качеством питьевой воды и безопасностью систем водоснабжения. В кн.: Оценка экологических рисков водопользования на территории крупного урбанизированного региона. Воронеж, Цифровая полиграфия: 5–19.
- Куролап С.А., Клепиков О.В., Прожорина Т.И., Клевцова М.А., Виноградов П.М., Умывакин В.М., Сарычев Д.В. 2020. Современные подходы к оценке экологических рисков для населения крупных промышленных городов (региональная урбоэкодиагностика). В кн.: Региональная экологическая диагностика состояния воздушной среды промышленных городов. Воронеж, Цифровая полиграфия: 6–35.
- Механтьев И.И. 2020. Риск здоровью населения Воронежской области, обусловленный качеством питьевой воды. Здоровье населения и среда обитания, 4(325): 37–42. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42>
- Механтьев И.И., Клепиков О.В., Куролап С.А., Попова Л.В. 2021. Современные гигиенические проблемы питьевого водоснабжения населения Воронежской области. Тенденции развития науки и образования, 79(1): 28–32. <https://doi.org/10.18411/trnio-11-2021-09>
- Механтьев И.И., Клепиков О.В., Масайлова Л.А., Баскакова А.Г. 2020. Проблема нитратного загрязнения в отдельных источниках питьевого водоснабжения Воронежской области. В кн.: Региональная геоэкологическая диагностика состояния хозяйствственно-питьевого и рекреационного водопользования. Воронеж, Цифровая полиграфия: 36–46.
- Новикова Ю.А., Мясников И.О., Ковшов А.А., Тихонова Н.А., Башкетова Н.С. 2020. Методические подходы к организации программ мониторинга качества питьевой воды. Здоровье населения и среда обитания, 10(331): 4–8. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-4-8>
- Прожорина Т.И., Куролап С.А. 2020. Оценка экологических рисков для здоровья населения города Павловска вследствие загрязнения источников питьевого водоснабжения. Естественные и технические науки, 10(148): 109–115.
- Прожорина Т.И., Куролап С.А., Преснякова Ю.А. 2020. Геоэкологическая оценка качества источников хозяйствственно-питьевого водоснабжения урбанизированных и сельских территорий Воронежской области. Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле, 30(1): 53–63. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-1-53-63>
- Рахманин Ю.А., Мельцер А.В., Киселев А.В., Ерастова Н.В. 2017. Гигиеническое обоснование управлеченческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности. Гигиена и санитария, 96(4): 302–305. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305>
- Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г. 2022. Гигиеническая оценка питьевого водообеспечения населения Российской Федерации: проблемы и пути рационального их решения. Гигиена и санита-

- рия, 101(10): 1158–1166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166>
- Сазонова О.В., Сергеев А.К., Чупахина Л.В., Рязанова Т.К., Судакова Т.В. 2021. Анализ риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды (опыт Самарской области). Анализ риска здоровью, 2: 41–51. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.04>
- Стёпкин Ю.И., Мамчик Н.П., Платунин А.В., Колнет И.В., Русин В.И. 2012. Оценка риска здоровью населения Воронежской области, связанная с загрязнением питьевой воды химическими веществами. Гигиена и санитария, 91(5): 105–106.
- Трофимович Е.М., Недовесова С.А., Айзман Р.И. 2019. Экспериментальная гигиеническая оценка содержания кальция, магния в питьевой воде и уровня её жёсткости. Гигиена и санитария, 98(8): 811–819. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-811-819>
- Corso M, Galey C, Seux R, Beaudeau P. 2018. An Assessment of Current and Past Concentrations of Trihalomethanes in Drinking Water throughout France. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(8): 1669. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081669>
- Eslami F., Yaghmaeian K., Mohammadi A., Salari M., Faraji M. 2019. An Integrated Evaluation of Groundwater Quality Using Drinking Water Quality Indices and Hydrochemical Characteristics: a Case Study in Jiroft, Iran. Environmental Earth Sciences, 78: 314. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8321-1>
- Jones E.R., Bierkens M.F.P., van Puijenbroek P.J.T.M., van Beek L.(R.)P.H., Wanders N., Sutanudjaja E.H. van Vliet M.T.H. 2023. Sub-Saharan Africa will increasingly become the dominant hotspot of surface water pollution. Nature Water, 1: 602–613. <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00105-5>
- Levêque J.G., Burns R.C. 2018. Drinking Water in West Virginia (USA): Tap Water or Bottled Water – What is the Right Choice for College Students? Water and Health, 16(5): 827–838. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.129>
- Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). 2022. Geneva, World Health Organization, 515 p.

References

- Boeva A.S. 2023. Assessment of Environmental Risks to Public Health Associated with the Quality of Drinking Water from Fecentralised Water Sources in the Voronezh Region. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 3: 90–97 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/90-97>
- Devyatova T.A., Bozhko S.N., Yablonskikh L.A., Chuvychkin A.L. 2015. Influence of Branches of a National Economy of the Central Chernozem Region on Pollution of Water Objects. Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy, 1: 54–58 (in Russian).
- Konstantinova N.A. 2022. Water Pollution as a Factor of Environmental Medicine. Aerospace and Environmental Medicine, 56(6): 16–22 (in Russian). <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2022-56-6-16-22>
- Kurolap S.A., Klepikov O.V. 2013. Integral Health-Ecological Zoning as Basis of Regional Strategy for Sustainable Development of Voronezh Region. Tambov University Reviews. Series Natural and Technical Sciences, 18(2): 516–519 (in Russian).
- Kurolap S.A., Mekhantyev I.I., Klepikov O.V., Baskakova A.G. 2021. Otsenka risika dlya zdorov'ya naseleniya, svyazannogo s kachestvom pit'evoy vody i bezopasnost'yu sistem vodosnabzheniya [Assessment of Population Health Risks Associated with Drinking Water Quality and Water Supply System Safety]. In: Otsenka ekologicheskikh riskov vodopol'zovaniya na territorii krupnogo urbanizirovannogo regiona [Assessment of Environmental Risks of Water Use in a Large Urbanized Region]. Voronezh, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 5–19.
- Kurolap S.A., Klepikov O.V., Prozhorina T.I., Klevtsova M.A., Vinogradov P.M., Umyvakin V.M., Sarychev D.V. 2020. Sovremennye podkhody k otsenke ekologicheskikh riskov dlya naseleniya krupnykh promyshlennykh gorodov (regional'naya urbokodiagnostika) [Modern Approaches to Assessing Environmental Risks for Population of Large Industrial Cities (Regional Urban Ecodiagnostics)]. In: Regional'naya ekologicheskaya diagnostika sostoyaniya vozdushnoy sredy promyshlennykh gorodov [Regional Environmental Diagnostics of the Air Quality in Industrial Cities]. Voronezh, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 6–35.
- Mehantiev I.I. 2020. Health Risks for the Population of the Voronezh Region Related to Drinking Water Quality. Public Health and Life Environment, 4(325): 37–42 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42>

- Mehantiev I.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A., Popova L.V. 2021. Sovremennye gigienicheskie problemy pit'evogo vodosnabzheniya naseleniya Voronezhskoy oblasti [Modern Hygienic Problems of Drinking Water Supply for Voronezh Region Population]. Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya, 79(1): 28–32. <https://doi.org/10.18411/trnio-11-2021-09>
- Mehantiev I.I., Klepikov O.V., Masaylova L.A., Baskakova A.G. 2020. Problema nitratnogo zagryazneniya v otdel'nykh istochnikakh pit'evogo vodosnabzheniya Voronezhskoy oblasti [Problem of Nitrate Pollution in Separate Drinking Water Sources of Voronezh Region]. In: Regional'naya geoekologicheskaya diagnostika sostoyaniya khozyaystvenno-pit'evogo i rekreatsionnogo vodopol'zovaniya [Regional Geoecological Diagnostics of the State of Domestic, Drinking and Recreational Water Use]. Voronezh, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 36–46.
- Novikova Yu.A., Myasnikov I.O., Kovshov A.A., Tikhonova N.A., Bashketova N.S. 2020. Methodological Approaches to Organization of Drinking Water Quality Monitoring Programs. Public Health and Life Environment, 10(331): 4–8 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-4-8>
- Prozhorina T.I., Kurolap S.A. 2020. Environmental Health Risk Assessment Population of the City of Pavlovsk from Pollution Sources of Drinking Water Supply. Natural and technical sciences, 10(148): 109–115 (in Russian).
- Prozhorina T.I., Kurolap S.A., Presnyakova Yu.A. 2020. Geoecological Assessment of the Quality of Drinking Water Sources in Urban And Rural Areas of Voronezh Region. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 30(1): 53–63 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-1-53-63>
- Rakhmanin Yu.A., Meltsner A.V., Kiselev A.V., Erastova N.V. 2017. Hygienic Substantiation of Management Decisions with the Use of the Integral Assessment of Drinking Water on Indices of Chemical Harmlessness and Epidemiological Safety. Hygiene and Sanitation, 96(4): 302–305 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305>
- Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G. 2022. Hygienic Assessment of Drinking Water Supply of the Population of the Russian Federation: Problems and the Way Their Rational Decision. Hygiene and Sanitation, 101(10): 1158–1166 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166>
- Sazonova O.V., Sergeev A.K., Chupakhina L.V., Ryazanova T.K., Sudakova T.V. 2021. Analyzing Health Risks Caused by Contaminated Drinking Water (Experience Gained in Samara Region). Health Risk Analysis, 2: 42–52 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.04.eng>
- Stepkin Yu.I., Mamchik N.P., Platonin A.V., Kolnet I.V., Rusin V.I. 2012. Assessment of Risk Associated with the Contamination of Drinking Water with Chemicals to Population Health of the Voronezh Region. Hygiene and Sanitation, 91(5): 105–106 (in Russian).
- Trofimovich E.M., Nedovesova S.A., Aizman R.I. 2019. Experimental Hygienic Estimation of Calcium and Magnesium Concentrations in Drinking Water, and Its Hardness. Hygiene and Sanitation, 98(8): 811–819 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-811-819>
- Corso M., Galey C., Seux R., Beaudeau P. 2018. An Assessment of Current and Past Concentrations of Trihalomethanes in Drinking Water throughout France. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(8): 1669. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081669>
- Eslami F., Yaghmaeian K., Mohammadi A., Salari M., Faraji M. 2019. An Integrated Evaluation of Groundwater Quality Using Drinking Water Quality Indices and Hydrochemical Characteristics: a Case Study in Jiroft, Iran. Environmental Earth Sciences, 78: 314. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8321-1>
- Jones E.R., Bierkens M.F.P., van Puijenbroek P.J.T.M., van Beek L.(R.)P.H., Wanders N., Sutanudjaja E.H. van Vliet M.T.H. 2023. Sub-Saharan Africa will increasingly become the dominant hotspot of surface water pollution. Nature Water, 1: 602–613. <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00105-5>
- Levèque J.G., Burns R.C. 2018. Drinking Water in West Virginia (USA): Tap Water or Bottled Water – What is the Right Choice for College Students? Water and Health, 16(5): 827–838. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.129>
- Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). 2022. Geneva, World Health Organization, 515 p.

Поступила в редакцию 02.07.2025;
поступила после рецензирования 09.08.2025;
принята к публикации 02.10.2025

Received July 02, 2025;
Revised August 09, 2025;
Accepted October 02, 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

Прожорина Татьяна Ивановна, кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Суханов Павел Алексеевич, аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Боева Анастасия Сергеевна, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Prozhorina Tatiana Ivanovna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Sukhanov Pavel Alekseevich, Postgraduate Student of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Boeva Anastasia Sergeevna, Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 911.2

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-1

EDN SRDJCE

Районы потенциальной аккумуляции голубого углерода в российской Арктике, выявляемые по данным Landsat

^{1,2}**Савин И.Ю.,¹Красильников П.В.,²Прудникова Е.Ю.,
^{1,2}Жулидова Д.А.,¹Аветян С.А.,¹Цейц М.А.**

¹МГУ им. М.В. Ломоносова,

Россия, 119991, Москва, ул. Колмогорова, 1

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева,

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2

savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Баланс прибрежного голубого углерода во многом определяется растительностью, процессами, протекающими в прибрежной периодически затапливаемой зоне (ПЗБЗ) и потоками вещества с суши в море в результате водной и ветровой эрозии и разрушения береговой линии. В этом свете важное значение имеет как выделение самой ПЗБЗ, так и оценка ее состояния с точки зрения присутствия растительности и потенциала развития эрозии на прилегающих почвах берегов. С использованием архива спутниковых данных *Landsat 8-9* за период с 2014 по 2024 годы проведен анализ динамики береговой линии российского сектора Северного Ледовитого океана. Выделена территория периодического затопления. Проведена оценка потенциального количества надземной фитомассы в ПЗБЗ и выявлены участки с ее отсутствием и наибольшим содержанием. Анализ смежных прибрежных почв позволил выявить участки, на которых существует высокий потенциал выноса органического вещества на прибрежную территорию в результате эрозии почв и разрушения берегов. Согласно полученным данным площадь ПЗБЗ в российском секторе Северного Ледовитого океана (без учета подобных участков в островной части региона) превышает 46 тыс. км². Всего выявлено 24 наиболее крупных зон, которые распределены по побережью достаточно равномерно. Лишь на самой восточной части побережья они отсутствуют. Учитывая потенциальное поступление углерода с прибрежных почв, было установлено, что наибольшим потенциалом аккумуляции голубого берегового углерода обладают ПЗБЗ в районе Чешской губы, устья Печеры (Баренцево море) и Оби (Карское море), Тазовской губы (Карское море) и устья Колымы (Восточно-Сибирское море). Наименьший потенциал характерен для заливов Фаддея, Терезы Клавенес (Море Лаптевых) и у острова Вайгач (Карское море). Полученные результаты послужат основой для более детального моделирования углеродного баланса береговой зоны территории исследований, а также для определения участков для постоянного мониторинга баланса голубого прибрежного углерода.

Ключевые слова: голубой углерод, *Landsat 8-9*, зона периодического затопления, Северный Ледовитый океан, вегетационный индекс *NDVI*

Благодарности: Исследования выполнены при поддержке проекта «Потенциал поглощения углерода прибрежными водно-болотными угодьями при изменениях климата» в рамках Соглашения с Министерством науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-656 от 11 сентября 2024 г.

Для цитирования: Савин И.Ю., Красильников П.В., Прудникова Е.Ю., Жулидова Д.А., Аветян С.А., Цейц М.А. 2025. Районы потенциальной аккумуляции голубого углерода в российской Арктике, выявляемые по данным *Landsat*. Региональные геосистемы, 49(4): 794–813. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-1 EDN: SRDJCE

Areas of Potential Blue Carbon Accumulation in the Russian Arctic Identified by Landsat Imagery

^{1,2}Igor Yu. Savin, ²Pavel V. Krasilnikov, ¹Elena Yu. Prudnikova,
^{1,2}Darya A. Zhulidova, ¹Sergey A. Avetyan, ¹Mikhail A. Tseits

¹Lomonosov Moscow State University,
1 Kolmogorov St., Moscow 119991, Russia
²V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Pyzhevsky Lane, Moscow 119017, Russia
savin_iyu@esoil.ru

Abstract. The coastal blue carbon budget is largely determined by the vegetation and processes occurring in the periodically flooded coastal zone, as well as the fluxes of matter from land to sea resulting from water and wind erosion and shoreline destruction. In this regard, it appears important to delineate the periodically flooded zone and to assess its condition in terms of the presence of vegetation and the potential for erosion on adjacent shoreline soils. Using the archive of Landsat 8-9 satellite data for the period from 2014 to 2024, we analyzed the dynamics of the coastline of the Russian sector of the Arctic Ocean. Zones that are periodically flooded were identified. We estimated the potential amount of aboveground phytomass in the periodic inundation zone and revealed the areas where the phytomass was absent and where its content was highest. The analysis of the adjacent coastal soils revealed areas with a high potential for organic matter export to the coastal zone as a result of soil erosion and shoreline destruction. According to the data obtained, the area of the periodically flooded coastal zone in the Russian sector of the Arctic Ocean (excluding a similar zone in the island part of the region) exceeds 46 thousand km². We have identified 24 largest zones that are distributed fairly evenly along the coast. The easternmost part of the coast proves to be the only area with no large zones identified. Taking into account the potential carbon input into the coastal zone from coastal soils, we have established that the zones with the greatest potential for blue coastal carbon accumulation are in the area of the Cheshskaya Bay, the mouth of the Pechora (the Barents Sea) and the Ob (the Kara Sea), the Tazovskaya Bay (the Kara Sea) and the mouth of the Kolyma (the East Siberian Sea). The lowest potential is characteristic of the Faddey Bay, the Teresa Klavene Bay (the Laptev Sea), and the area near Vaigach Island (the Kara Sea). The results obtained will serve as a basis for more detailed modeling of the carbon balance in the coastal zone of the study area, as well as for the identification of sites for continuous monitoring of the coastal blue carbon balance.

Keywords: blue carbon, Landsat 8-9, periodic inundation zone, the Arctic Ocean, NDVI

Acknowledgements: The research was carried out with the support of the project “Carbon absorption potential of coastal wetlands under climate change” within the framework of Agreement with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-15-2024-656 dated September 11, 2024.

For citation: Savin I.Yu., Krasilnikov P.V., Prudnikova E.Yu., Zhulidova D.A., Avetyan S.A., Tseits M.A. 2025. Areas of Potential Blue Carbon Accumulation in the Russian Arctic Identified by Landsat Imagery. Regional Geosystems, 49(4): 794–813 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-1 EDN: SRDJCE

Введение

Прибрежный «голубой углерод» (*blue carbon*) включает в себя запасы органического углерода, накопленные прибрежными экосистемами (мангровыми зарослями, мшанками и прибрежной растительностью) [Mcleod et al., 2011]. Из-за преимущественно восстановительных условий и высокой концентрации солей в воде, в прибрежной зоне он слабо трансформируется и в гораздо большей степени накапливается по сравнению с наземными экосистемами [Chmura et al., 2003]. В результате мангровые заросли содержат вдвое больше углерода, чем вечнозеленые

леса, и почти в 10 раз больше, чем его запасы в сухих тропических лесах. Так, согласно IPCC¹ содержание углерода в метровой толще мангров в мире составляют 386 Mg/ha, маршей – 255 Mg/ha, прибрежных водорослях 108 Mg/ha. В то же время, его потери в прибрежных ландшафтах также высоки в результате береговой эрозии [Vonk et al., 2012; Couture et al., 2018]. Различия в накоплении органического углерода в почве и скоростях захоронения органических остатков приводят к различию в потенциале его депонирования прибрежных экосистем мира [Bertram et al., 2021]. Хотя важность мангровых зарослей и маршей для глобального круговорота углерода широко признается [Quevedo et al., 2021], четкое понимание всего его баланса в прибрежных экосистемах мира до сих пор отсутствует [Thomas, 2014]. В России работы по оценке запасов и динамики углерода в прибрежных экосистемах единичны [Матвеева, Лавриненко, 2011; Лавриненко, 2012; Сидорова и др., 2015; Шамрикова и др., 2019]. Также неясно, как прибрежные экосистемы будут реагировать на изменение климата, в том числе на возможное повышение уровня воды из-за таяния ледовых щитов [Lovelock, Reef, 2020].

В изучении динамики углерода как растительности, так и почвенного органического вещества маршей и мангров существуют определенные сложности, поскольку на продуктивность экосистем влияет не столько температурный режим и атмосферные осадки, сколько приливно-отливный режим. Растения и микроорганизмы реагируют на затопление и солевой стресс гораздо активнее, чем на поступление тепла и влаги. Также обычно не учитывается привнос углерода в береговые ландшафты с поверхностными и грунтовыми водами, поступающими со стороны суши, равно как и привнос углерода в береговую зону в результате эрозии. Таким образом, баланс прибрежного синего углерода во многом определяется процессами, протекающими в прибрежной периодически затапливаемой зоне и потоками вещества с суши в море в результате водной и ветровой эрозии и разрушения береговой линии [Шумовская, 2024]. В этом свете важное значение имеет как выделение самой периодически затапливаемой зоны, так и оценка ее состояния с точки зрения присутствия растительности и потенциала развития эрозии на прилегающих почвах берегов.

Спутниковые данные уже давно используются для мониторинга почв и растительности, в том числе и для оценки в них запасов углерода [Zhang et al., 2019; Elmahdy et al., 2020; Suardana et al., 2023] и для изучения мангровых экосистем [Kuenzer et al., 2011; Murray et al., 2012]. Чаще всего используют радарные спутниковые данные, которые позволяют не просто выделить ареалы мангров, но и в некоторых случаях определить структуру их растительности, что помогает оценить в ней запасы углерода [Souza-Filho et al., 2011; Nascimento et al., 2013]. С использованием спутниковых данных был создан в 2010 году «Атлас мангров Мира» [Spalding et al., 2010], а в 2011 году Giri с соавторами создали глобальную карту мангров на основе спутниковых данных Landsat [Giri et al., 2011]. В 2017 году с использованием спутниковых данных и наземных обследований была создана глобальная база данных соленых маршей [Mc Cowen et al., 2017], в которой представлена преимущественно точечная и локальная информация.

Несмотря на то, что уже накоплен достаточно большой опыт использования спутниковых данных для оценки состояния береговых зон, до сих пор их состояние в российской Арктике остается мало изученным. Целью наших исследований была оценка состояния надземной фитомассы береговой зоны Северных морей России с точки зрения потенциального накопления в ней углерода на основе анализа многолетнего архива спутниковых данных Landsat.

¹ IPCC. 2013. Coastal Wetlands. Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva, IPCC, 354 p.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований выступает российский сектор береговой зоны Северного Ледовитого океана (СЛО) и его изображение на спутниковых данных *Landsat*.

СЛО, как известно, является наименьшим по площади (около 15 млн. км², что составляет всего 4 % от площади мирового океана) и самым мелководным (средняя глубина 1225 м) океаном на планете. Кроме того, поверхностный слой воды в океане (25–30 м) имеет относительно невысокую соленость (28–33 ‰) и низкую температуру (−1,5 °C). Главная отличительная особенность СЛО – покрытость льдами, формирующим на полюсе сплошной льдистый покров. Общая протяженность береговой линии СЛО составляет 45 389 км, а его российских берегов – 25 565 км соответственно [Лукьянова и др., 2008].

На территории российской Арктики выделяются шесть морей, сменяющих друг друга с запада на восток: Белое, Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Климат российского побережья арктических морей чрезвычайно суров и отличается крайне низкими среднегодовыми температурами, колеблющимися в диапазоне от −4,3 °C (Белое море) до −15,4 °C (Восточно-Сибирское море), высокой штормовой (в летне-осенний период) и эоловой активностью с преобладанием восточных и северо-восточных ветровых потоков, вплоть до ураганных (более 30 м/с), чаще в зимнее время [Алексеев, 1991]. Наличие полярной ночи и чрезвычайно короткого лета (в среднем около 1,5 месяцев) создают экстремальные условия для развития растительного покрова, ограничивая биоразнообразие и накладывая отпечаток на характер функционирования биоты приморских территорий Арктики [Григорьев и др., 2006].

Несмотря на общие черты, климат арктических побережий, тем не менее, имеет существенные различия в западном и восточном секторах российской Арктики. Более благоприятным для живых организмов он является на побережье Белого и частично Баренцева морей, где преобладающие воздушные массы, поступающие с акватории Атлантического океана, смягчают температурный режим побережья, создавая относительно комфортную среду для флоры и фауны приморских территорий. Со стороны Атлантического океана в Белое и Баренцево моря поступает и приливная волна, обеспечивающая достаточно активный приливно-отливной режим с высотой приливов более 1,5 м в южной части Баренцева моря и в северо-восточной части Белого моря. Центральная и восточная прибрежная Арктика, питающаяся арктической приливной волной, в свою очередь, характеризуется низкими приливными показателями с высотой волны менее 0,5 м. В прибрежной зоне морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского основную роль в динамике развития берегов играют сгонно-нагонные явления, многократно превосходящие по силе и амплитуде колебаний приливно-отливную деятельность океана [Разумов, 2018]. Здесь суточные ритмы, присущие приливам-отливам, сменяются высокой штормовой активностью, импульверизацией в сочетании с частыми ураганными ветрами (до трех раз в месяц), разрушающими берега и выдувающими практически все живое с поверхности литорали [Лукьянова и др., 2008; Огородов, 2010]. По имеющимся данным, ежегодно в океан сносится 130–150 млн т материала, слагающего береговую полосу, что в несколько раз превышает речной сток. В том числе потери органического углерода с суши (а соответственно, и его накопление в прибрежной зоне) могут достигать 4 млн т в год [Разумов, 2010].

Как климатические параметры, так и геоморфологические признаки западного и восточного секторов российской Арктики имеют свои особенности. Если побережья Белого, Баренцева и Карского морей отличаются доминированием денудационно-абразионного рельефа с выраженным клифами, откосами, выходами скальных пород, возвышающимися над узкими пляжами, а ровные, низинные и, местами, дельтовые участки прибрежной суши распространены реже, то для береговой зоны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского отмечается преобладание лагунных и дельтовых

равнин с пологим рельефом и обширными плоскими пространствами, сложенными песчано-суглинистым материалом дельтового аллювия. Таким образом, рассматривая в комплексе влияние климатических, геоморфологических и литологических факторов на формирование ландшафтов арктического побережья, следует подчеркнуть, что, хотя более благоприятная природная среда с геоморфолого-субстратной точки зрения характерна для его восточного сектора, роль климата здесь, несомненно, является ведущей и определяющей значительную долю abiогенной составляющей на побережьях восточных арктических морей. Возникает своего рода парадоксальная ситуация, при которой потенциально более плодородные равнинно-дельтовые территории эстуариев и лагун востока береговой Арктики вследствие суровости климатической обстановки многократно уступают по своей биологической продуктивности аналогичным участкам на западе рассматриваемого региона, зачастую представляя собой бесплодные солончаковые пустоши, в той или иной мере заполненные водой. Распространение маршей в такого рода ландшафтах на побережьях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, в этой связи, существенно ограничено [Sergienko, 2013]. Возможно, в том числе, и по этой причине степень изученности побережья падает с запада на восток, а исследовательский интерес сосредоточен в основном на природных объектах береговой линии Белого и Баренцева морей, где, в свою очередь, приливная деятельность океана, как уже отмечалось, наиболее выражена.

С запада на восток на российском арктическом побережье отмечается выраженное уменьшение доли аккумулятивных пространств, занятых маршрутами. Помимо этого, растительность самих маршей становится все более изреженной, исчезает ее многоуровневность, обедняется разнообразие с одновременной быстрой сменой в пространстве в направлении от моря (в пределах десятков метров) на тундровые сообщества. Если на побережье Белого моря марши могут занимать до 50 % аккумулятивной территории, то на берегах Баренцева моря эта цифра падает до 20 %, Карского – до 5 %, моря Лаптевых и Чукотского моря – практически до 0 % [Sergienko, 2013].

В целом же, в береговых зонах арктических морей в современных условиях преобладает денудация, а ведущими процессами, связанными с изменениями климата, являются термоабразия в сочетании с механической абразией [Арэ, 1985; Каплин и др., 1991; Васильев и др., 2007; Marachtanov, 2019].

Почвенный покров приливно-отливных территорий изучен недостаточно [Губин, Лупачев, 2023; Мартынов, 2024]. Дискуссионной является классификационная принадлежность маршевых почв. Часть исследователей предлагают выделить их в особый тип – талассосолей [Губин, Лупачев, 2023]. Другие же традиционно относят их к засоленным флювисолям [Мартынов, 2024]. В любом случае продуктивность этих почв субаквальных ландшафтов СЛО с учетом специфики арктического климата, гидро-нагонной, штормовой и приливной динамики, а также ледовой обстановки в устьях и дельтах северных рек, крайне мала и падает с запада на восток.

Для анализа всей территории исследований были отобраны изображения, полученные со спутников *Landsat 8-9* за период июль-август (включительно) в 2014–2024 годах с облачностью меньше 25 %. Всего для анализа было отобрано 356 изображений для 22 сцен *Landsat*. В среднем на одну сцену было отобрано 12–15 изображений за разные сроки.

Каждое изображение состоит из 9 спектральных каналов съемки (*Landsat 9* в 14-битном формате, а *Landsat 8* – в 12 битном с масштабированием до 16 бит). Все каналы съемки кроме одного имеют пространственное разрешение 30 метров на местности. Изображения могут быть получены для любой точки земного шара с периодичностью раз в 16 дней. В результате того, что на орбите в настоящий момент работают оба спутника (*Landsat 8* и *Landsat 9*), потенциально с обоих из них для любой территории может быть получено изображение раз в 8 дней.

Использовался продукт *Landsat*, прошедший калибровку, геометрическую и радиометрическую коррекцию (*Level 2 Science Product (L2SP)*). Расчет *NDVI* проведен с использованием 4 и 5 каналов с диапазонами длин волн соответственно 0,630–0,680 мкм и 0,845–0,885 мкм. Также использовался продукт *QA_PIXEL*, сопровождаемый каждой сценой *Landsat*. Он является результатом оценки качества пикселей основных каналов съемки. Для оценки качества используется и информация о том, принадлежит ли пиксель к водной поверхности или к земной на момент съемки. И эта информация внесена в продукт *QA_PIXEL*. Информация получена на основе специально разработанного *Boston University Matrix Laboratory (MATLAB)* алгоритма [Qiu et al., 2019]. Именно этот продукт был использован нами для выделения периодически затапливаемой береговой зоны (ПЗБЗ) на каждой сцене, так как он получен на основе единого глобально отработанного подхода.

На основе данного продукта (*QA_PIXEL*) проводилась классификация пикселей каждой отобранный сцены на два класса: суша и вода. Для каждого пикселя за анализируемый период по всем отобранным сценам подсчитывалось количество случаев с водой и с сушей. К зоне затопления относились пиксели, у которых встречалось 2 и более случая с водой и 2 и более случая с сушей. Для таких пикселей проводилась оценка частоты затопления (менее 25 % случаев, 25–50 % случаев, 50–75 % случаев, более 75 % случаев) и строилась соответствующая карта частоты затопления ПЗБЗ.

Далее в пикселях, относящихся к зоне затопления, на основе индекса *NDVI* оценивалось наличие и состояние растительности.

Индекс *NDVI* рассчитывался стандартно для *Landsat 8-9* ($NDVI = (\text{канал 5} - \text{канал 4}) / (\text{канал 5} + \text{канал 4})$). Для каждого анализируемого пикселя определялся средний многолетний сезонный максимум *NDVI* и среднее многолетнее значение за сезон (июль–август). Затем проводилась классификация пикселей по этим двум показателям и строилась карта пересечения классов, которая затем анализировалась с позиций оценки состояния растительности и углеродного баланса. Использовались следующие шкалы классов *NDVI* (табл. 1).

Таблица 1
Table 1Шкалы классов *NDVI*
Scales of *NDVI* classes

| диапазон значений <i>NDVI</i> | класс сезонного максимума <i>NDVI</i> | класс сезонного среднего <i>NDVI</i> |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| < 0,02 | 10 | 1000 |
| 0,02–0,04 | 20 | 2000 |
| 0,04–0,06 | 30 | 3000 |
| 0,06–0,08 | 40 | 4000 |
| 0,08–0,1 | 50 | 5000 |
| 0,1–0,2 | 60 | 6000 |
| 0,2–0,3 | 70 | 7000 |
| 0,3–0,4 | 80 | 8000 |
| 0,4–0,5 | 90 | 9000 |
| 0,5–0,6 | 100 | 10000 |
| 0,6–0,7 | 110 | 11000 |
| 0,7–0,8 | 120 | 12000 |
| 0,8–0,9 | 130 | 13000 |
| > 0,9 | 140 | 14000 |

Теоретически, связь вегетационного индекса и проективного покрытия зеленой растительностью и надземной фитомассой может быть не устойчива и может не проявляться с использованием узких классов градаций *NDVI* (0,02–0,04, 0,04–0,06 и т.д.). Особенно это может быть выражено именно для региона исследований, где количество зеленой фитомассы и проективное покрытие растительности обычно невелико. Несмотря на это, мы все же решили использовать такие градации для низких значений индекса, так как это не могло оказать значительного влияния на результат анализа, целью которого было выявление именно хорошо выраженных зон с высокими значениями *NDVI*.

После этого карты сезонного максимума *NDVI* и среднего значения индекса были объединены в единую карту с использованием специальной кодовой системы, в которой коды классов суммировались. Например, суммарное значение 1060 в этом подходе означает, что в данном пикселе сезонный максимум *NDVI* находится в диапазоне 0,1–0,2, а среднее значение < 0,02 (см. коды классов в табл. 1).

Таким образом была сделана попытка оценки состояния растительности в ПЗБЗ как с учетом максимального сезонного значения индекса, так и среднего значения за сезон вегетации.

Выделялись следующие базовые классы состояния растительности ПЗБЗ:

1. величина суммарного показателя менее 7000 индицировала отсутствие растительности в зоне затопления.

2. разреженная растительность без четко выраженных пиков вегетации характеризовалась кодами:

7070, 7080, 7090, 8080, 8090

3. разреженная растительность с четко выраженными пиками вегетации характеризовалась кодами:

7100, 7110, 7120, 7130, 7140, 8100, 8110, 8120, 8130, 8140

4. средняя растительность без четко выраженных пиков вегетации характеризовалась кодами:

9090, 9100, 9110, 10100, 10110, 11110

5. средняя растительность с четко выраженными пиками вегетации характеризовалась кодами:

9120, 9130, 9140, 10120, 10130, 10140, 11120, 11130, 11140

6. густая растительность на протяжении всего сезона вегетации характеризовалась кодами со значениями более 12000.

Термины «разреженная», «средняя» и «густая» растительность приняты условно для обозначения классов, по сути, выделяемых по значениям *NDVI*. Связь этого индекса с состоянием растительности давно известна и широко используется при мониторинге растительного покрова в разных регионах мира. Для территории российской Арктики надежных шкал соответствия этого индекса растительности с разной фитомассой и проективным покрытием до сих пор не разработано. Поэтому нами было принято именно такое решение.

Дополнительно с использованием Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [Единый государственный реестр..., 2014] была получена информация о преобладающих почвах для береговой зоны СЛО. Для отражения уровня содержания почвенной органики использовалось разбиение почв на классы: 1 – с высоким содержанием органического углерода (выше 4–5 %); 2 – с низким содержанием органического углерода (менее 4–5 %); 3 – с преобладанием торфяных горизонтов; 4 – с преобладанием перегнойных горизонтов почв.

Каждый класс подразделялся по гранулометрическому составу (грансоставу) на подклассы:

1 – с тяжелым грансоставом (глинистые и суглинистые)

2 – с легким грансоставом (супесчаные, песчаные и на дериватах плотных пород)

Код итогового класса почв складывался из первой цифры, отражающей уровень содержания углерода и последующей цифры, характеризующей грансостав.

Эта информация совмещалась с выделенными классами растительности и использовалась в качестве основы для оценки потенциала ПЗБЗ для депонирования синего берегового углерода с использованием экспериментального решающего правила, представленного в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Классы оценки потенциала депонирования синего берегового углерода*
Classes of blue shore carbon sequestration potential estimation*

| Итоговый класс оценки прибрежных почв | Класс растительности | | | | | |
|--|----------------------|--|---|---|--|--------------------------|
| | Без растительности | С разреженной растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | С разреженной растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | Со средней растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | Со средней растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | С густой растительностью |
| с высоким содержанием органического углерода и тяжелым грансоставом и с низким содержанием органического углерода (классы 11, 2) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| с высоким содержанием органического углерода и легким грансоставом (класс 12) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| с преобладанием торфяных горизонтов (класс 3) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| с преобладанием перегнойных горизонтов (класс 4) | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Примечание: *Чем выше значение, тем выше потенциал

Непосредственный подбор и анализ спутниковых данных, построение карт проводилось с использованием *Google Earth Engine* [Gorelick et al., 2017]. Ввиду существенного размера анализируемой территории, перед скачиванием карт участок делился на 24 части. Для анализа данных тестовых сцен и отработки методов анализа использовалась программа *ILWIS Academic v.3.3*.

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным, площадь ПЗБЗ в российском секторе СЛО (без учета подобной зоны в островной части региона) превышает 46 тыс. км². На рис. 1 показано размещение наиболее крупных из выявленных ПЗБЗ. Из рисунка следует, что наиболее крупные зоны распределены по побережью СЛО достаточно равномерно. Лишь на самой восточной части побережья крупных зон не выявлено.

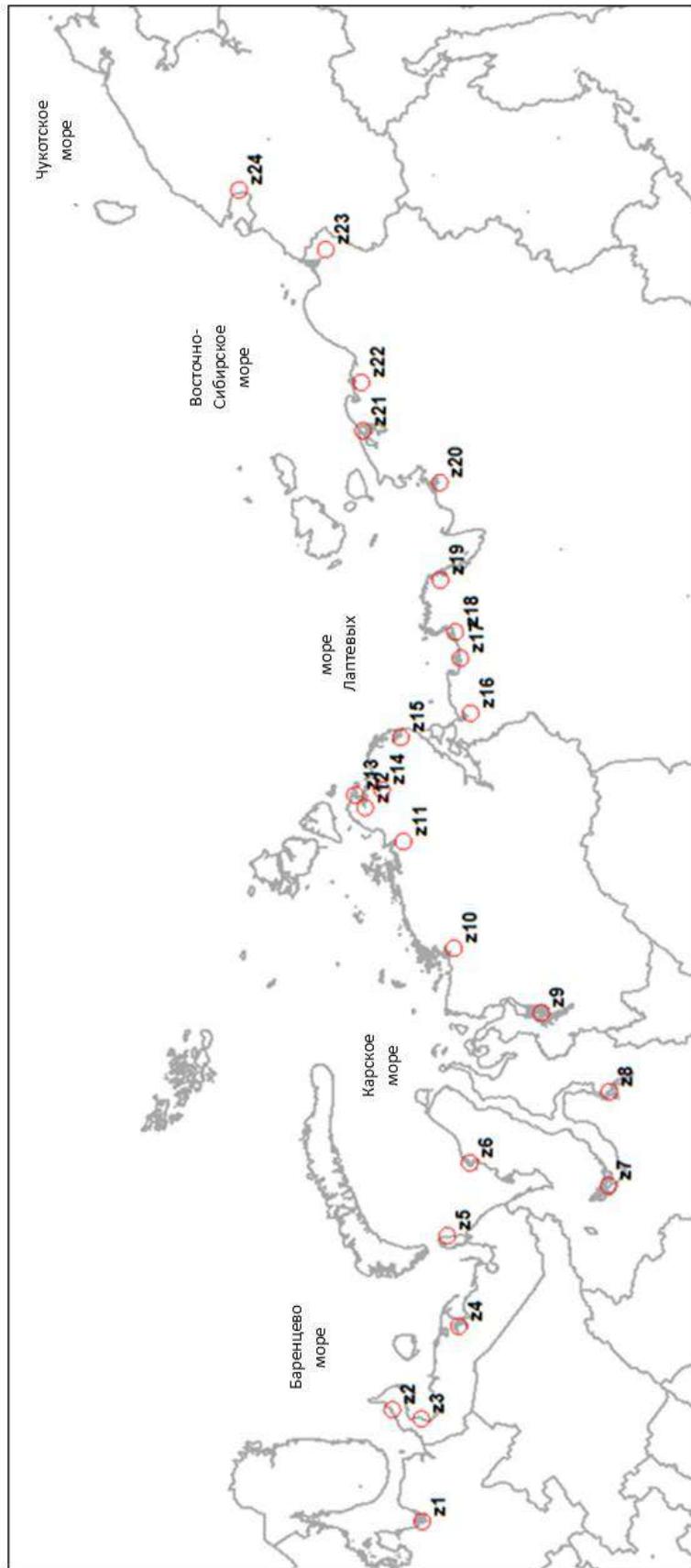


Рис.1. Размещение наиболее крупных из выявленных периодически затопляемых береговых зон (показано кодовое обозначение зон)
Fig.1. Location of the largest periodically flooded coastal zones identified (the zones are designated with codes)

Все выделенные зоны индивидуальны по особенностям растительности. В табл. 3 представлены доли разных классов в пределах каждой выделенной ПЗБЗ, которые обозначены кодами от z1 до z24 (см. рис. 1).

Таблица 3
Table 3

Доля разных классов растительности наиболее крупных периодически затопляемых береговых зон российского сектора Арктики
Proportions of various vegetation classes in the largest periodically flooded coastal zones of the Russian sector of the Arctic

| Код ПЗБЗ (см. рис.1) | Класс растительности | | | | | Площадь, км ² | |
|----------------------|----------------------|--|---|---|--|--------------------------|--------|
| | Без растительности | С разреженной растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | С разреженной растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | Со средней растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | Со средней растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | | |
| Z1 | 33,25 | 2,55 | 31,31 | 5,48 | 27,03 | 0,39 | 164,4 |
| Z2 | 63,05 | 7,50 | 15,62 | 3,48 | 10,31 | 0,02 | 137,9 |
| Z3 | 29,14 | 3,81 | 25,69 | 6,76 | 34,24 | 0,36 | 270,9 |
| Z4 | 16,43 | 2,10 | 12,65 | 3,35 | 50,79 | 14,68 | 472,0 |
| Z5 | 91,31 | 0,71 | 7,48 | 0,18 | 0,31 | 0,00 | 536,6 |
| Z6 | 71,48 | 5,37 | 18,64 | 1,96 | 2,54 | 0,00 | 582,1 |
| Z7 | 12,47 | 0,63 | 19,04 | 2,30 | 63,80 | 1,74 | 2218,8 |
| Z8 | 5,67 | 0,06 | 12,61 | 0,24 | 78,12 | 3,28 | 1711,8 |
| Z9 | 16,75 | 1,11 | 16,85 | 4,92 | 54,00 | 6,35 | 1429,8 |
| Z10 | 20,47 | 1,32 | 28,01 | 9,01 | 41,17 | 0,00 | 1321,5 |
| Z11 | 47,89 | 6,45 | 28,77 | 9,83 | 7,05 | 0,00 | 140,8 |
| Z12 | 92,97 | 2,07 | 4,71 | 0,08 | 0,17 | 0,00 | 83,2 |
| Z13 | 88,57 | 2,54 | 7,80 | 0,38 | 0,69 | 0,00 | 143,2 |
| Z14 | 94,64 | 1,07 | 4,09 | 0,03 | 0,17 | 0,00 | 132,2 |
| Z15 | 76,10 | 7,30 | 12,68 | 2,57 | 1,34 | 0,00 | 405,0 |
| Z16 | 9,32 | 0,62 | 19,96 | 34,84 | 35,24 | 0,00 | 1357,8 |
| Z17 | 40,51 | 4,36 | 27,57 | 11,02 | 16,53 | 0,00 | 413,3 |
| Z18 | 25,37 | 2,32 | 45,67 | 9,09 | 17,56 | 0,00 | 767,4 |
| Z19 | 19,07 | 1,02 | 67,28 | 8,48 | 4,13 | 0,00 | 5568,1 |
| Z20 | 25,97 | 1,48 | 46,27 | 13,57 | 12,70 | 0,00 | 4210,1 |
| Z21 | 29,71 | 0,84 | 54,66 | 5,89 | 8,89 | 0,00 | 1236,0 |
| Z22 | 39,12 | 0,62 | 59,55 | 0,17 | 0,53 | 0,00 | 1866,4 |
| Z23 | 9,64 | 1,45 | 20,77 | 16,04 | 50,26 | 1,83 | 2614,0 |
| Z24 | 35,48 | 1,82 | 43,73 | 6,65 | 12,32 | 0,00 | 313,0 |

Из табл. 3 следует, что в пределах некоторых ПЗБЗ растительности почти не наблюдается (например, 5, 6, 12, 13, 14 зоны). В других зонах, наоборот, очень мало территорий без растительности (зоны 8, 16, 23). Эти зоны в основном приурочены к эстуариям крупных рек. ПЗБЗ с очень хорошо развитой растительностью мало. И доля хорошо развитой растительности в их пределах невелика (от 0,02 до 14,68 % от площади зоны).

Распределение разных типов береговых экосистем в ПЗБЗ российского сектора СЛО в целом подтверждает закономерности, обозначенные в описании объекта исследований, которое сделано на основе анализа литературных данных, но позволяет их существенно уточнить и представить их точную географию.

Пример карты ПЗБЗ для одного из тестовых участков представлен на рис. 2.

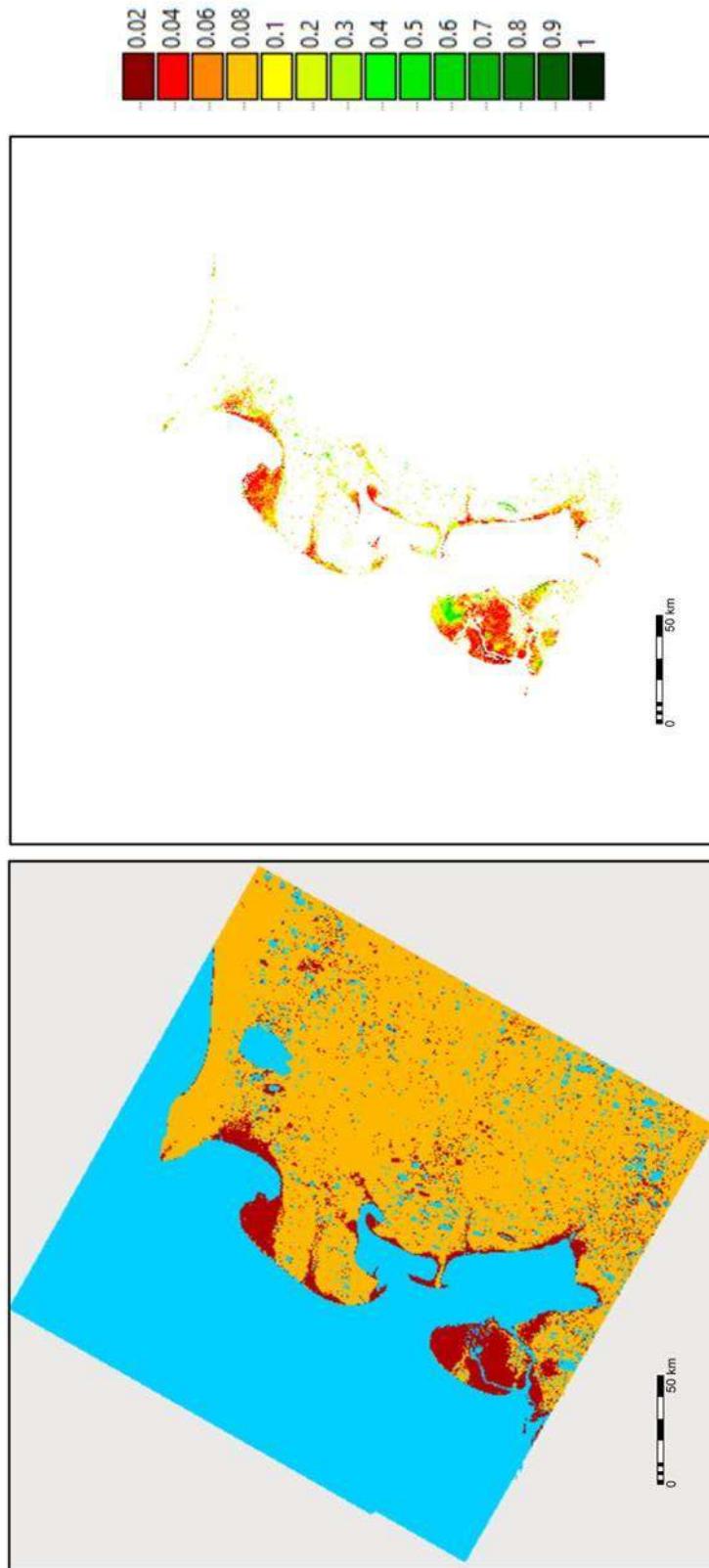


Рис.2. Пример детектирования периодически затопляемых береговых зон и состояния растительности для тестового участка «Юкагир» (юго-восточная часть моря Лаптевых)

(слева коричневым цветом показана выявленная зона периодического затопления, справа сезонные максимумы NDVI для этой зоны) (масштаб визуализации 1:1,5 млн)

Fig. 2. Example of detection of periodically flooded coastal zones and vegetation condition for the Yukagir test site (south-eastern part of the Laptev sea) (on the left, brown color shows the detected periodically flooded zone; on the right, seasonal NDVI maxima for this zone), (1:1.5 mln scale)

В целом на территории исследований преобладают ПЗБЗ с разной степенью выраженности растительного покрова. ПЗБЗ без растительности занимают около 32 % от всей выделенной зоны (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Площадь разных типов береговых экосистем в зоне периодического затопления
российского сектора Северного Ледовитого океана
Area of various coastal ecosystem types in the periodically flooded zone
of the Russian sector of the Arctic Ocean

| Тип береговых экосистем | Площадь, тыс. км ² | Процент от зоны периодического затопления |
|--|-------------------------------|---|
| Без растительности | 15220,7 | 32,7 |
| С разреженной растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | 1211,9 | 2,6 |
| С разреженной растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | 16491,4 | 35,4 |
| Со средней растительностью без выраженного сезонного пика вегетации | 3851,4 | 8,3 |
| Со средней растительностью с выраженным сезонным пиком вегетации | 9443,4 | 20,3 |
| С густой растительностью | 336,3 | 0,7 |
| ИТОГО: | 46555,1 | 100,0 |

Потенциал накопления голубого берегового углерода определяется не только его содержанием в растительности и ее остатках, но может сильно зависеть и от его поступления с прибрежных территорий в результате размыва берегов и эрозии прилегающих почв.

На рис. 3 представлены классы почв береговой зоны российского сегмента СЛО согласно данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [Единый государственный реестр..., 2014]. Согласно этому источнику почвы береговой линии характеризуются разным содержанием органики, различаются граноставом и типом почвообразующих пород, что хорошо видно на рис. 3. Все это предопределяет специфику почвенного материала, который может поступать на затапляемую зону в результате ветрового переноса и эрозии почв.

Наибольшее количество дополнительного органического углерода с береговых почв с эрозией и дефляцией потенциально может поступать на территорию ПЗБЗ с почв класса 4, 3 и 12 (см. табл. 2). В табл. 5 приведены результаты оценки средневзвешенного по площади потенциала для аккумуляции голубого берегового углерода для выделенных наиболее крупных ПЗБЗ. Судя по данным таблицы, наибольшим потенциалом обладают ПЗБЗ 3 (Чешская губа), 4 (устье Печеры), 7 (устье Оби), 8 (Тазовская губа) и 23 (близ устья Колымы). Наименьший потенциал характерен для зон 14 (залив Фаддея), 12 (залив Терезы Клавенес) и 5 (у острова Вайгач) (см. рис. 1).

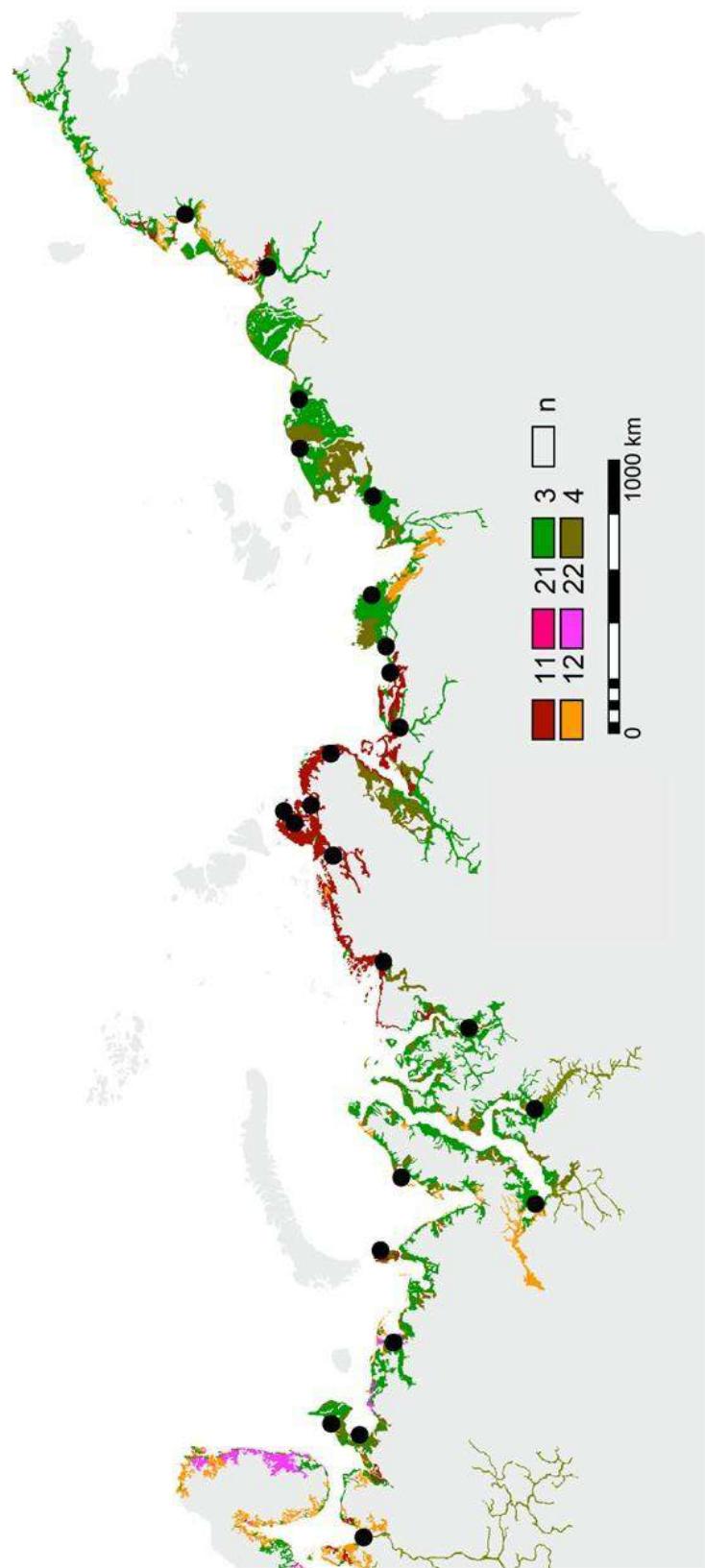


Рис.3. Классы почв береговой зоны российского сегмента Северного Ледовитого океана (расшифровка кодов легенды смотри в тексте). Черные точки – наиболее крупные участки периодически затопляемых береговых зон

Fig.3. Soil classes of the coastal zone of the Russian segment of the Arctic Ocean (see text for code decoding of the legend). The black dots show the largest areas of periodically flooded coastal zones

Таблица 5
Table 5

Оценка средневзвешенного по площади потенциала аккумуляции голубого берегового углерода для выделенных наиболее крупных периодически затапляемых береговых зон

Estimated area-weighted average blue shore carbon accumulation potential
for the largest periodically flooded coastal zones identified

| ПЗБЗ (см. рис.1) | Площадь, км ² | Средневзвешенный по площади потенциал аккумуляции голубого берегового углерода (балл, см. табл.1) |
|---------------------|--------------------------|---|
| Z1 | 164,4 | 5,92 |
| Z2 | 137,9 | 2,91 |
| Z3 | 270,9 | 6,14 |
| Z4 | 472,0 | 6,14 |
| Z5 | 536,6 | 1,17 |
| Z6 | 582,1 | 2,59 |
| Z7 | 2218,8 | 6,09 |
| Z8 | 1711,8 | 7,55 |
| Z9 | 1429,8 | 5,97 |
| Z10 | 1321,5 | 5,49 |
| Z11 | 140,8 | 2,22 |
| Z12 | 83,2 | 1,12 |
| Z13 | 143,2 | 1,22 |
| Z14 | 132,2 | 1,10 |
| Z15 | 405,0 | 1,46 |
| Z16 | 1357,8 | 5,86 |
| Z17 | 413,3 | 2,59 |
| Z18 | 767,4 | 4,91 |
| Z19 | 5568,1 | 4,78 |
| Z20 | 4210,1 | 4,86 |
| Z21 | 1236,0 | 4,63 |
| Z22 | 1866,4 | 4,22 |
| Z23 | 2614,0 | 6,01 |
| Z24 | 313,0 | 4,59 |

Маски периодически затапливаемой береговой зоны российского сектора Северного Ледовитого океана получены впервые. Они существенно отличаются по уровню детальности от глобальных карт [McCowen et al., 2017]. Работы подобного уровня детальности с использованием анализа спутниковых данных отечественных исследователей [Смирнов, 2015; Балдина и др., 2022; Тишков и др., 2023] локальны и охватывают лишь отдельные острова или отдельные участки территории исследований. Кроме того, в основном авторы выявляют динамику береговой линии сравнивая отдельные изображения [Смирнов, 2015; Балдина и др., 2022] или осредненные данные за отдельные периоды [Тишков и др., 2023]. В нашем случае проведен анализ практически всех имеющихся безоблачных изображений *Landsat 8-9* за последние 10 лет. При этом использованы оригинальные методы сравнения, которые позволили достигнуть поставленную цель.

Необходимо отметить и узкие места проведенных исследований. Очень короткий вегетационный сезон и высокая облачность ограничивают количество доступных для анализа сцен. Это приводит к тому, что анализ динамики часто ограничен сравнениями 10–20 изображений, что недостаточно для выявления всех особенностей динамики. Теоретически привлечение к подобному анализу данных радарной съемки [Смирнов, 2015] может быть более надежным.

На основе полученных данных оказалось практически невозможным оценить тренды затапливаемости береговой зоны. Кроме того, необходимо учитывать, что на основе спутниковых данных *Landsat* можно оценивать пространственные изменения, размеры которых как минимум превышают пиксель изображения (30 метров). Это означает, что уверенно выявляются лишь случаи изменений более чем 50–60 метров.

Также не проводилось детектирование типов растительности на территории исследований. Это было связано как с недостатком полевых данных для калибровки и верификации моделей распознавания, так и с целью исследований. В рамках достижения нашей цели было достаточно лишь оценить присутствие растительности и обобщенный объем надземной фитомассы, как индикаторов потенциального накопления в береговой зоне органического углерода. Но все выделенные зоны скорее всего индивидуальны по особенностям растительности и для более точного учета потенциала секвестрации углерода в будущем необходимо будет решать задачу распознавания типов растительности в каждой зоне.

В целом полученные данные вполне могут быть использованы как первое приближение для выделения береговых участков с высоким потенциалом секвестрации органического углерода, мониторинг которых наиболее важен в задачах моделирования и оценки баланса углерода в биосфере.

Заключение

На основе анализа спутниковых данных проведено выделение периодически затапляемой береговой зоны российского сектора Северного Ледовитого океана и ее типизация и классификация по характеру растительного покрова и почв прибрежной зоны.

Получена информация, необходимая для моделирования баланса углерода этой зоны, а также для отбора наиболее перспективных участков для организации более детального мониторинга баланса углерода прибрежных экосистем. Площадь периодически затапляемой береговой зоны в российском секторе Северного Ледовитого океана (без учета подобной зоны в островной части региона) превышает 46 тыс. км². Всего выявлено 24 наиболее крупных зон, которые распределены по побережью достаточно равномерно. Лишь на самой восточной части побережья крупных зон не установлено. В целом по территории исследований преобладают ПЗБЗ с разной степенью выраженности растительного покрова.

Учитывая потенциальное поступление углерода в береговую зону с прибрежных почв, было установлено, что наибольшим потенциалом аккумуляции голубого берегового углерода обладают зоны в районе Чешской губы, устья Печеры и Оби, Тазовской губы и устья Колымы. Наименьший потенциал характерен для заливов Фаддея, Терезы Клавенес и у острова Вайгач.

Выделенные зоны индивидуальны по особенностям растительности и почв и для более точного учета потенциала секвестрации углерода в будущем необходимо будет решать задачу распознавания типов растительности в каждой зоне.

Список литературы

- Алексеев Г.В. 1991. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. СПб., Гидрометеоиздат, 256 с.
- Арэ Ф.Э. 1985. Основы прогноза термоабразии. Новосибирск, Наука. Сибирское отделение, 172 с.
- Васильев А.А., Остроумов В.Е., Губин С.В., Сороковиков В.А. 2007. Моделирование и прогноз термоабразии морских берегов Российской Арктики на ближайшие десятилетия. Криосфера Земли, 11(2): 60–67.
- Балдина Е.А., Ширшова В.Ю., Романенко Ф.А., Луговой Н.Н., Жданова Е.Ю. 2022. Динамика береговой линии и состояния поверхности малых арктических островов (Визе и Ушакова)

- по разновременным оптическим и радиолокационным снимкам. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 1: 107–121.
- Григорьев М.Н., Разумов С.О., Куницкий В.В., Спектор В.Б. 2006. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции. Криосфера Земли, 10(4): 74–94.
- Губин С.В., Лупачев А.В. 2023. Разнообразие строения и экологические функции почв побережий арктических морей. В кн.: Мерзлотные почвы в антропоцене. Всероссийская научно-практическая конференция, Салехард-Лабытнанги, 20–26 августа 2023. Сыктывкар, Коми научный центр УрО РАН: 10–11.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. 2014. М., Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 768 с.
- Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. 1991. Берега. М., Мысль, 479 с.
- Лавриненко И.А. 2012. Дистанционный мониторинг растительности маршей побережья Баренцева моря. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 9(2): 67–72.
- Лукьянова С.А., Сафьянов Г.А., Соловьева Г.Д., Шипилова Л.М. 2008. Типы арктических берегов России. Океанология, 48(2): 290–296.
- Мартынов С.В. 2024. Природные условия прибрежной тундры Варандея. Трансформация естественных ландшафтов при антропогенном воздействии. Арктика и инновации, 2(3): 15–53. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-3-15-53>
- Матвеева Н.В., Лавриненко О.В. 2011. Растительность маршей северо-востока Малоземельской тундры. Растительность России, 17–18: 45–69.
- Огородов С.А. 2010. Критерии стабильности (устойчивости) арктических берегов. Естественные и технические науки, 6(50): 356–358.
- Разумов С.О. 2010. Мерзлота как фактор динамики береговой зоны восточных арктических морей России. Океанология, 50(2): 285–291.
- Разумов С.О. 2018. Особенности реакции берегов восточных арктического моря России на климатические изменения. Наука и мир, 9–1(61): 70–72.
- Сидорова В.А., Святова Е.Н., Цейц М.А. 2015. Пространственное варьирование свойств маршевых почв и их влияние на растительность (Кандалакшский залив). Почвоведение, 3: 259–267. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15030119>
- Смирнов И.П. 2015. Динамика прибрежных ландшафтов на северо-востоке острова Северный архипелага Новая Земля. Известия Русского географического общества, 147(3): 30–41.
- Тишков А.А., Добрянский А.С., Кренке А.Н., Гнеденко А.Е. 2023. Изменение площади суши российской Арктики для освоения биотой. Арктика: экология и экономика, 13(2): 188–200. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-2-188-200>
- Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С. 2019. Распределение углерода и азота в почвенном покрове прибрежной территории Баренцева моря (Хайпудырская губа). Почвоведение, 5: 558–569. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19030092>
- Шумовская Д.А. 2024. Разрушение берегов в морях российской Арктики. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 3: 180–187. <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2024-03-6>
- Bertram C., Quaas M., Reusch T.B., Vafeidis A.T., Wolff C., Rickels W. 2021. The Blue Carbon Wealth of Nations. Nature Climate Change, 11(8): 704–709. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01089-4>
- Chmura G.L., Anisfeld S.C., Cahoon D.R., Lynch J.C. 2003. Global Carbon Sequestration in Tidal, Saline Wetland Soils. Global biogeochemical cycles, 17(4): 11. <https://doi.org/10.1029/2002GB001917>
- Couture N.J., Irrgang A., Pollard W., Lantuit H., Fritz M. 2018. Coastal Erosion of Permafrost Soils Along the Yukon Coastal Plain and Fluxes of Organic Carbon to the Canadian Beaufort Sea. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 123(2): 406–422. <https://doi.org/10.1002/2017JG004166>
- Elmahdy S.I., Ali T.A., Mohamed M.M., Howari F.M., Abouleish M. Simonet D. 2020. Spatiotemporal Mapping and Monitoring of Mangrove Forests Changes From 1990 to 2019 in the Northern Emirates, UAE Using Random Forest, Kernel Logistic Regression and Naive Bayes Tree Models. Frontiers in Environmental Science, 8: 102. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00102>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>



- Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Quoc T.V., Dech S. 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*, 3(5): 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>
- Lovelock C.E., Reef R. 2020. Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. *One Earth*, 3(2), 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.010>
- Marachtanov V.P. 2019. Storm Erosion of Arctic Coasts Under the Combined Action of Thermal and Mechanical Factors. *Norwegian Journal of development of the international science*, 30: 21–26.
- McLeod E., Chmura G.L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C.M., Lovelock C.E., Schlesinger W.H., Silliman B.R. 2011. A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10): 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Mcowen C., Weatherdon L.V., Bochove J., Sullivan E., Blyth S., Zockler C., Stanwell-Smith D., Kingston N., Martin C.S., Spalding M., Fletcher S. 2017. A Global Map of Saltmarshes (v6.1). *Biodiversity Data Journal*, 5: e11764. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11764>.
- Murray N.J., Phinn S.R., Clemens R.S., Roelfsema C.M., Fuller R.A. 2012. Continental Scale Mapping of Tidal Flats Across East Asia Using the Landsat Archive. *Remote Sensing*, 4(11): 3417–3426. <https://doi.org/10.3390/rs4113417>
- Nascimento Jr W.R., Souza-Filho P.W.M., Proisy C., Lucas R.M., Rosenqvist A. 2013. Mapping Changes in the Largest Continuous Amazonian Mangrove Belt Using Object-Based Classification of Multisensor Satellite Imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117: 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>
- Qiu S., Zhu Z., He B. 2019. Fmask 4.0: Improved Cloud and Cloud Shadow Detection in Landsats 4–8 and Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 231: 111205. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.024>.
- Quevedo J.M.D., Uchiyama Y., Kohsaka R. 2021. A Blue Carbon Ecosystems Qualitative Assessment Applying the DPSIR Framework: Local Perspective of Global Benefits and Contributions. *Marine Policy*, 128: 104462. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104462>
- Sergienko L.A. 2013. Salt Marsh Flora and Vegetation of the Russian Arctic Coasts. *Czech Polar Reports*, 3(1): 30–37.
- Souza-Filho P.W.M., Paradella W.R., Rodrigues S.W., Costa F.R., Mura J.C., Gonçalves F.D. 2011. Discrimination of Coastal Wetland Environments in the Amazon Region Based on Multi-Polarized L-band Airborne Synthetic Aperture Radar Imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1): 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.08.011>
- Spalding M., Kainuma M., Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. London, Routledge, 336 p.
- Giri C., Ochieng E., Tieszen L., Zhu Z., Singh A., Loveland T. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 154–159.
- Suardana A.A.M.A.P., Anggraini N., Nandika M.R., Aziz K., As-syakur A.R., Ulfa A., Wijaya A.D., Prasetyo W., Winarso G., Dewanti R. 2023. Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*, 7(1): 116–134. <https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062>
- Thomas S. 2014. Blue Carbon: Knowledge Gaps, Critical Issues, and Novel Approaches. *Ecological Economics*, 107: 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.028>
- Vonk J.E., Sánchez-García L., Van Dongen B.E. 2012. Activation of Old Carbon by Erosion of Coastal and Subsea Permafrost in Arctic Siberia. *Nature*, 489(7414): 137–140.
- Zhang Y., Guo L., Chen Y., Shi T., Luo M., Ju Q., Zhang H., Wang S. 2019. Prediction of Soil Organic Carbon based on Landsat 8 Monthly NDVI Data for the Jianghan Plain in Hubei Province, China. *Remote Sensing*, 11(14): 1683. <https://doi.org/10.3390/rs11141683>.

References

- Alekseyev G.V. 1991. Klimaticheskiy rezhim Arktiki na rubezhe XX i XXI vv [Climatic Regime of the Arctic at the Turn of the 20th and 21st Centuries]. Saint Petersburg, Pabl. Gidrometeoizdat, 256 p.
- Are F.E. 1985. Osnovy prognoza termoabrazii [Basics of Thermal Abrasion Forecasting]. Novosibirsk, Pabl. Nauka. Sibirskoe otdelenie, 172 p.
- Vasiliev A.A., Ostroumov V.E., Gubin S.V., Sorokovikov V.A. 2007. Modelling and Prediction of Coastal Dynamics in Russian Arctic for Next Decades. *Earth's Cryosphere*, 11(2): 60–67 (in Russian).

- Baldina E.A., Shirshova V.Yu., Romanenko F.A., Lugovoi N.N., Zhdanova E.Yu. 2022. Dynamics of Coastline and Surface Conditions of the Small Arctic Islands (Vize and Ushakova) from Multitemporal Optical and Radar Images. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 1: 107–121 (in Russian).
- Grigoriev M.N., Razumov S.O., Kunitzkiy V.V., Spektor V.B. 2006. Dynamics of the Russian East Arctic Sea Coast: Major Factors, Regularities and Tendencies. Earth's Cryosphere, 10(4): 74–94 (in Russian).
- Gubin S.V., Lupachev A.V. 2023. Raznoobrazziye stroyeniya i ekologicheskiye funktsii pochv poberezhiy arkticheskikh morey [Diversity of Structure and Ecological Functions of Soils on the Coasts of the Arctic Seas]. In: Merzlotnyye pochvy v antropotsene [Permafrost Soils in the Anthropocene]. All-Russian Scientific and Practical Conference, Salekhard-Labytnangi, 20–26 August 2023. Syktyvkar, Pabl. Komi nauchnyy tsentr UrO RAN: 10–11.
- Yedinyy gosudarstvennyy reyestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0 [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0]. 2014. Moscow, Pabl. Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 768 p.
- Kaplin P.A., Leontyev O.K., Lukyanova S.A., Nikiforov L.G. 1991. Berega [Shores]. Moscow, Pabl. Mysl, 479 p.
- Lavrinenko I.A. 2012. Distantionnyy monitoring rastitel'nosti marshey poberezhiya Barentseva morya [Remote Monitoring of Coastal Marsh Vegetation in the Barents Sea]. Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 9(2): 67–72.
- Luk'yanova S.A., Safyanov G.A., Solov'yova G.D., Shipilova L.M. 2008. Types of Arctic Coasts of Russia. Oceanology, 48(2): 268–274 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0001437008020148>
- Martynov S.V. 2024. Natural conditions of Varandey coastal tundra. Anthropogenic transformation of natural landscapes. Arctic and Innovations, 2(3): 15–53 (in Russian). <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-3-15-53>
- Matveyeva N.V., Lavrinenco O.V. 2011. Marsh Vegetation in the North-East of Malozemelskaya Tundra. Vegetation of Russia, 17–18: 45–69 (in Russian).
- Ogorodov S.A. 2010. Kriterii stabil'nosti (ustoychivosti) arkticheskikh beregov [Stability Criteria for the Arctic coasts]. Natural and technical sciences, 6(50): 356–358.
- Razumov S.O. 2010. Permafrost as a Factor of the Dynamics of the Coastal Zone of the Russian East Arctic Seas. Oceanology, 50(2): 285–291 (in Russian).
- Razumov S.O. 2018. Peculiarities of Reaction of Coast in the East Arctic Seas of Russia on Climatic Changes. Science and World, 9–1(61): 70–72 (in Russian).
- Sidorova V.A., Svyatova E.N., Tseyts M.A. 2015. Spatial Variability of the Properties of Marsh Soils and Their Impact on Vegetation. Eurasian Soil Science, 48(3): 223–230 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229315030114>
- Smirnov I.P. 2015. Dynamics of Coastal Landscapes in the North-East of Northern Island of Novaya Zemlya Archipelago. Proceedings of the Russian Geographical Society, 147(3): 30–41 (in Russian).
- Tishkov A.A., Dobryansky A.S., Krenke A.N., Gnedenko A.Ye. 2023. Changes in the Land Area of the Russian Arctic for the Biota Development. Arctic: Ecology and Economy, 13(2): 188–200 (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-2-188-200>
- Shamrikova E.V., Deneva S.V., Kubik O.S. 2019. Spatial Patterns of Carbon and Nitrogen in Soils of the Barents Sea Coastal Area (Khaypudyrskaya Bay). Eurasian Soil Science, 52(5): 507–517 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229319030098>
- Shumovskaya D.A. 2024. Shore Destruction in the Sea of the Russian Arctic. Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnnykh resursov, 3: 180–187 (in Russian). <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2024-03-6>
- Bertram C., Quaas M., Reusch T.B., Vafeidis A.T., Wolff C., Rickels W. 2021. The Blue Carbon Wealth of Nations. Nature Climate Change, 11(8): 704–709. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01089-4>
- Chmura G.L., Anisfeld S.C., Cahoon D.R., Lynch J.C. 2003. Global Carbon Sequestration in Tidal, Saline Wetland Soils. Global biogeochemical cycles, 17(4): 11. <https://doi.org/10.1029/2002GB001917>
- Couture N.J., Irrgang A., Pollard W., Lantuit H., Fritz M. 2018. Coastal Erosion of Permafrost Soils Along the Yukon Coastal Plain and Fluxes of Organic Carbon to the Canadian Beaufort Sea. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 123(2): 406–422. <https://doi.org/10.1002/2017JG004166>



- Elmahdy S.I., Ali T.A., Mohamed M.M., Howari F.M., Abouleish M. Simonet D. 2020. Spatiotemporal Mapping and Monitoring of Mangrove Forests Changes From 1990 to 2019 in the Northern Emirates, UAE Using Random Forest, Kernel Logistic Regression and Naive Bayes Tree Models. *Frontiers in Environmental Science*, 8: 102. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00102>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Quoc T.V., Dech S. 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*, 3(5): 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>
- Lovelock C.E., Reef R. 2020. Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. *One Earth*, 3(2), 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.010>
- Marachtanov V.P. 2019. Storm Erosion of Arctic Coasts Under the Combined Action of Thermal and Mechanical Factors. *Norwegian Journal of development of the international science*, 30: 21–26.
- Mcleod E., Chmura G.L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C.M., Lovelock C.E., Schlesinger W.H., Silliman B.R. 2011. A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10): 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Mcowen C., Weatherdon L.V., Bochove J., Sullivan E., Blyth S., Zockler C., Stanwell-Smith D., Kingston N., Martin C.S., Spalding M., Fletcher S. 2017. A Global Map of Saltmarshes (v6.1). *Biodiversity Data Journal*, 5: e11764. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11764>.
- Murray N.J., Phinn S.R., Clemens R.S., Roelfsema C.M., Fuller R.A. 2012. Continental Scale Mapping of Tidal Flats Across East Asia Using the Landsat Archive. *Remote Sensing*, 4(11): 3417–3426. <https://doi.org/10.3390/rs4113417>
- Nascimento Jr W.R., Souza-Filho P.W.M., Proisy C., Lucas R.M., Rosenqvist A. 2013. Mapping Changes in the Largest Continuous Amazonian Mangrove Belt Using Object-Based Classification of Multisensor Satellite Imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117: 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>
- Qiu S., Zhu Z., He B. 2019. Fmask 4.0: Improved Cloud and Cloud Shadow Detection in Landsats 4–8 and Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 231: 111205. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.024>.
- Quevedo J.M.D., Uchiyama Y., Kohsaka R. 2021. A Blue Carbon Ecosystems Qualitative Assessment Applying the DPSIR Framework: Local Perspective of Global Benefits and Contributions. *Marine Policy*, 128: 104462. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104462>
- Sergienko L.A. 2013. Salt Marsh Flora and Vegetation of the Russian Arctic Coasts. *Czech Polar Reports*, 3(1): 30–37.
- Souza-Filho P.W.M., Paradella W.R., Rodrigues S.W., Costa F.R., Mura J.C., Gonçalves F.D. 2011. Discrimination of Coastal Wetland Environments in the Amazon Region Based on Multi-Polarized L-band Airborne Synthetic Aperture Radar Imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1): 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.08.011>
- Spalding M., Kainuma M., Collins L. 2010. *World Atlas of Mangroves*. London, Routledge, 336 p.
- Giri C., Ochieng E., Tieszen L., Zhu Z., Singh A., Loveland T. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 154–159.
- Suardana A.A.M.A.P., Anggraini N., Nandika M.R., Aziz K., As-syakur A.R., Ulfa A., Wijaya A.D., Prasetio W., Winarso G., Dewanti R. 2023. Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*, 7(1): 116–134. <https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062>
- Thomas S. 2014. Blue Carbon: Knowledge Gaps, Critical Issues, and Novel Approaches. *Ecological Economics*, 107: 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.028>
- Vonk J.E., Sánchez-García L., Van Dongen B.E. 2012. Activation of Old Carbon by Erosion of Coastal and Subsea Permafrost in Arctic Siberia. *Nature*, 489(7414): 137–140.
- Zhang Y., Guo L., Chen Y., Shi T., Luo M., Ju Q., Zhang H., Wang S. 2019. Prediction of Soil Organic Carbon based on Landsat 8 Monthly NDVI Data for the Jianghan Plain in Hubei Province, China. *Remote Sensing*, 11(14): 1683. <https://doi.org/10.3390/rs11141683>.

Поступила в редакцию 12.09.2025;
поступила после рецензирования 05.10.2025;
принята к публикации 05.11.2025

Received September 12, 2025;
Revised October 05, 2025;
Accepted November 05, 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

Савин Игорь Юрьевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской Академии наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

Красильников Павел Владимирович, профессор, доктор биологических наук, член-корреспондент Российской Академии наук, факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Прудникова Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

Жулидова Дарья Алексеевна, аспирант, факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Аветян Сергей Андреевич, кандидат биологических наук, факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Цейц Михаил Александрович, кандидат биологических наук, факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor Yu. Savin, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

Pavel V. Krasilnikov, Professor, Doctor of Biological Sciences, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Department of Soil Studies, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Elena Yu. Prudnikova, Candidate of Biological Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

Darya A. Zhulidova, postgraduate student of the Department of Soil Studies, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Sergey A. Avetyan, Candidate of Biological Sciences, Department of Soil Studies, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Mikhail A. Tseits, Candidate of Biological Sciences, Department of Soil Studies, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia



Социально-экономические компоненты геосистем Socio-Economic Components of Geosystems

УДК 332.1

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-2

EDN UZROQX

Оценка туристской привлекательности монастырских комплексов (на примере Псковской области)

¹Мартынов В.Л., ²Балабейкина О.А., ²Гаврилова К.С., ²Зайцева А.Е.

¹Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48

²Санкт-Петербургский государственный экономический университет
Россия, 191023, г. Санкт-Петербург, набережная канала Грибоедова, 30-32, литер А
lwowich@herzen.spb.ru, olga8011@yandex.ru, ksgavrilova.spb@gmail.com, Arina-ugaz89@yandex.ru

Аннотация. Монастырские обители с древности являлись центрами культурной, религиозной, социальной, экономической жизни прилегающих территорий. Многие из них расширяли свое влияние на более крупные площади, вплоть до государственной. В условиях современной России монастыри выступают в качестве интересных для многих дестинаций экскурсионно-познавательного и паломнического туризма. Но универсальная методика, позволяющая оценить их роль в развитии туристско-рекреационного хозяйства, отсутствует. Ее разработка на региональном уровне выступает целью представленной статьи. На примере обителей Псковской области авторы предлагают модель такой оценки. В статье с помощью индекса Герфингаля-Гиршмана выявлена степень равномерности размещения всех объектов культово-культурной инфраструктуры в пределах региона. Определено, что наибольшая степень их концентрации совпадает с районами, где находятся самые крупные монастыри. На основе комплексной интегральной оценки выявлены наиболее привлекательные для туристов обители. Полученные результаты могут быть задействованы органами государственного управления при разработке стратегии развития туризма, паломническими и туристическими фирмами, а также лицами, путешествующими самостоятельно. Представленная модель оценки роли монастырей в туристско-рекреационном хозяйстве предполагает дальнейшее совершенствование с учетом индивидуальных особенностей региона, что дает основу и импульс для новых исследований в данном направлении.

Ключевые слова: познавательный туризм, религиозный туризм, Псковская область, монастырь, культово-культурная инфраструктура

Для цитирования: Мартынов В.Л., Балабейкина О.А., Гаврилова К.С., Зайцева А.Е. 2025. Оценка туристской привлекательности монастырских комплексов (на примере Псковской области). Региональные геосистемы, 49(4): 814–829. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-2 EDN: UZROQX

Assessing the Tourist Attractiveness of Monastic Complexes (on the Example of the Pskov Region)

¹Vasilii L. Martynov, ²Olga A. Balabeikina, ²Karine S. Gavrilova, ²Arina E. Zaytseva

¹Herzen State Pedagogical University of Russia

48 Moika Emb., Saint Petersburg, 191186, Russia

²Saint Petersburg State University of Economics

30-32, letter A Griboyedov Canal Emb., Saint Petersburg, 191023, Russia,
lwowich@herzen.spb.ru, olga8011@yandex.ru, ksgavrilova.spb@gmail.com, Arina-ugaz89@yandex.ru

© Мартынов В.Л., Балабейкина О.А., Гаврилова К.С., Зайцева А.Е., 2025

Abstract. Monasteries have been the centers of cultural, religious, social, and economic life of the surrounding territories since ancient times. Many of them expanded their influence on a larger scale, up to nation-wide. In modern Russia, monasteries act as major destinations for sightseeing, educational and pilgrimage tourism. However, there is no universal methodology to assess their role in the development of the tourism and recreational economy. Using the example of monasteries in the Pskov region, the authors propose a model for such an assessment. The article uses the Herfindahl-Hirschman index to reveal how uniformly all objects of religious and cultural infrastructure are placed within the region. It has been determined that the greatest degree of their concentration coincides with the areas where the largest monasteries are located. A comprehensive integrated assessment allows identifying the monasteries that are most attractive for tourists. The obtained results can be used to ensure public administration in the development of tourism development strategies, by pilgrimage and tourism companies, as well as by individuals exercising independent control.

Keywords: educational tourism, religious tourism, Pskov region, monastery, religious and cultural infrastructure

For citation: Martynov V.L., Balabeikina O.A., Gavrilova K.S., Zaytseva A.E. 2025. Assessing the Tourist Attractiveness of Monastic Complexes (on the Example of the Pskov Region). Regional Geosystems, 49(4): 814–829 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-2 EDN: UZROQX

Введение

Объекты православной культово-культурной инфраструктуры активно вовлечены в процесс потребления услуг культуры и туризма. Даже в советский период, когда количество действующих храмов было малочисленным, а монастырских обителей – единичным, их посещение с экскурсионными целями включалось в познавательные маршруты, а многие обители были музеифицированы и становились популярными объектами экскурсионного осмотра [Швецова-Шиловская, Ильвицкая, 2021]. Данная ситуация резко изменилась после распада СССР, когда религиозные организации и адепты вероучений получили возможность для реализации своих прав и свобод, в том числе, социальных и экономических [Котляров, 2024].

На фоне действия нового законодательства с начала 1990-х гг. государство передавало Русской православной церкви здания изъятых в советский период храмов и монастырей. Одновременно с этим в российском обществе стал проявляться и возрастать интерес к православной культуре, сформировался контингент людей, предъявляющих спрос на посещение объектов православной культово-культурной инфраструктуры и сакральных мест с целью экскурсионного осмотра для расширения общего кругозора, а также для участия в богослужебной деятельности и религиозного поклонения. Ответом на этот спрос стало развитие туризма религиозной направленности, который не утрачивает своей популярности, а его дестинации приобретают все новые формы, отвечая на возрастающие запросы туристов [Швецова-Шиловская 2023; Чупина и др., 2025].

Традиционно наибольшим интересом в составе познавательных маршрутов религиозной направленности и у паломников пользуются православные монастыри, поскольку зачастую их инфраструктура позволяет размещение на ночлег с проживанием, обеспечение питанием, экскурсионное обслуживание.

Однако в целом оценить роль монастырских обителей в системе туристской привлекательности региона весьма затруднительно, поскольку на данный момент не существует универсальных методик для этого. В настоящей статье предпринята попытка выявить эту роль на примере обителей Псковской области.

В качестве полигона исследования она выбрана потому, что в ее пределах находятся православные монастыри, имеющие богатую событиями историю и высокую значимость для отечественной культуры. Некоторые из них, как, например, ансамбль

Спасо-Мирожского монастыря, выступают в качестве объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Кроме того, несколько обителей обеспечивают туристов и паломников средствами размещения на ночлег и питанием, что подтверждает их значимость в качестве авторов предоставления туристско-рекреационных услуг в регионе.

Поэтому вполне обоснованно группой ученых, представивших результаты выявления ресурсов развития туризма приграничных регионов, в перечне ключевых объектов природного и культурного наследия Псковской области были перечислены православные обители и храмы [Голомидова и др., 2020]. На привлекательность объектов культово-культурной инфраструктуры региона для российских и зарубежных туристов также в своей работе указывает Э.А. Круг [2024], содержание которой отражает современный туристский потенциал региона.

Теоретической базой представленного исследования послужили труды отечественных специалистов, в которых на примерах отдельных регионов страны оценивается роль объектов православной культово-культурной инфраструктуры в развитии туризма. Авторы детально рассматривали эту тему на примерах Республики Алтай [Черемисин, 2021], Вологодской [Балабейкина и др., 2024], Калужской [Асланян, 2020], Мурманской [Балабейкина, 2024], Самарской [Якунин, 2020], Ярославской областей [Гусейнова, 2019], а также других субъектов [Бычкова, Севостьянова, 2022] и более крупных регионов РФ [Жога, 2024]. Псковская область также выступала в качестве полигона такого исследования [Янгез, Вашкевич, 2020], однако представленная по его результатам информация, в том числе, касающаяся монастырей, носит очень краткий и преимущественно обзорный характер. Обители и храмы выбранного для исследования административного субъекта РФ рассматриваются как важные составляющие его историко-культурного наследия и в статье В.С. Дементьева [2015], но автор сосредоточился исключительно на северо-западной части региона, не представив полную картину.

В качестве источников фактических сведений о храмах и обителях Псковской области задействовались труды, которые были посвящены современному состоянию и культурной значимости некоторых из них – Псково-Печерскому [Калинина, 2022], Спасо-Мирожскому [Мотеюнайте, 2022].

По результатам обзора опубликованных исследований на заявленную тему можно констатировать то, что на фоне общего интереса ученых к влиянию на развитие туризма в регионе такого важного культурного компонента, как культово-культурная инфраструктура, в отечественном научном обороте не уделялось достаточного внимания оценке туристской привлекательности обителей. Этим обусловлена потребность в разработке модели такого исследования. Кроме того, актуально и детальное исследование, посвященное роли православных храмов и монастырей на примере Псковской области, т.к. в ее пределах находятся уникальные и очень популярные у туристов и паломников объекты культово-культурной инфраструктуры.

Объекты и методы исследования

Эмпирической основой исследования послужили материалы открытого доступа, размещенные на электронных сайтах рассматриваемых религиозных организаций. Официальные Интернет-ресурсы каждого из монастырей Псковской области содержат сведения, отражающие наличие или отсутствие территории инфраструктуры для размещения на ночлег, точек общественного питания, музеев, экскурсий. Зачастую обозначаются также условия, в том числе, цены в денежном выражении, на основании которых соответствующие услуги предоставляются туристам и паломникам.

Для выявления степени концентрации размещенных на территории Псковской области культовых объектов авторы применили индекс Герфиндаля-Гиршмана. Туристская

привлекательность монастырских комплексов региона определялась при помощи формирования комплексной интегральной оценки. Для трансформации отобранных первичных индикаторов авторы использовали три метода – балльно-рейтинговый, максимум-минимум и нормирование.

Результаты и их обсуждение

Псковская область в своих границах совпадает с одноименной митрополией Русской православной церкви. Хотя восточная традиция христианства получила на ее территории распространение уже в XI в., благодаря усилиям княгини Ольги, посетившей после возвращения из Константинополя места при слиянии рек Псковы и Великой и установившей крест в основание будущего города Пскова, самостоятельная епархия была учреждена здесь в конце XVI в. Но до этого времени почти 600 лет псковские земли в церковно-административном плане подчинялись Новгородскому архиепископу. На их территории за это время появилось 80 православных церквей и 25 монастырей. Самые ранние в Псковской области по времени постройки их сохранившихся до наших дней ценных историко-архитектурных памятников культового назначения относятся к XIV–XV вв.

На начало XX в. в пределах Псковской епархии, совпадавшей в границах с одноименной губернией, было уже более 550 православных храмов и почти 1000 часовен. Эти сведения не включают данные по современным Гдовскому, Себежскому и Невельскому административно-муниципальных районов Псковской области, т.к. их территории относились к другим губерниям Российской империи. В этот же период в границах нынешней Псковской области было 14 действовавших монастыря. Из них 6 находились в Пскове.

В силу того, что с 1920 по 1940 гг. бывший Печорский уезд Псковской губернии находился в составе независимой Эстонии, Псково-Печерский монастырь является единственной обителью на территории России, которая не подвергалась закрытию в советский период. Это послужило одной из причин того, что для местного населения обитель является культурообразующей доминантой, а также выступает для них в качестве «работодателя, спонсора, носителя идейных и экономических ресурсов» [Калинина, 2022].

Согласно актуальным данным (весна 2025 г.) на территории Псковской области действуют 240 приходских церквей и 15 монашеских общин [Благочиния Псковской епархии..., 2025]. Однако в том, что касается последних, несколько представляют собой женские общины при храмах или имеют невыясненный статус. Поэтому в ходе апробации оценки туристской привлекательности обителей в настоящем исследовании учитывались только те обители, которые соответствуют общим представлениям о монастырских комплексах (имеют в ансамбле культовые, музейные, хозяйствственные, жилые и иные строения; монашескую общину).

Монастыри – важные компоненты православного пространства, и популярные у туристов и паломников дестинации, однако оценивая их роль для региона, нельзя их рассматривать вне прочих объектов культово-культурной инфраструктуры. К тому же туристская привлекательность монастыря повышается, если в непосредственной доступности от него находятся храмы и часовни, представляющие сакральную или историко-архитектурную ценность.

Для выявления равномерности размещения культово-культурных объектов в Псковской области авторами был использован индекс Герфиндаля-Гиршмана, который применяется в том числе и в региональных исследованиях для оценки территориальной концентрации демографических, социальных и экономических явлений [Ермакова, Воронов, 2023]. В основу были заложены сведения, представленные на интернет портале «Соборы.ru» не только о действующих храмах и часовнях, но также о тех из них, что находятся в полуразрушенном состоянии (табл. 1).

Таблица 1
Table 1Культово-культурные объекты религиозной инфраструктуры Псковской области
Religious and cultural objects of religious infrastructure in the Pskov region

| Псковская область, АТЕ | Количество культово-культурных объектов по АТЕ, шт. | Доля культовых объектов по АТЕ в границах Псковской области |
|---------------------------------------|---|---|
| Бежаницкий район | 19 | 0,027 |
| Великолукский район и г. Великие Луки | 33 | 0,046 |
| г. Псков | 94 | 0,132 |
| Гдовский район | 57 | 0,080 |
| Дедовичский район | 15 | 0,021 |
| Дновский район | 18 | 0,025 |
| Красногородский район | 5 | 0,007 |
| Кунинский район | 14 | 0,020 |
| Локнянский | 16 | 0,022 |
| Невельский район | 20 | 0,028 |
| Новоржевский | 21 | 0,029 |
| Новосокольнический район | 12 | 0,017 |
| Опочецкий | 28 | 0,039 |
| Островский район | 23 | 0,032 |
| Палкинский район | 14 | 0,020 |
| Печорский район | 69 | 0,097 |
| Плюсский район | 34 | 0,048 |
| Порховский район | 58 | 0,081 |
| Псковский район | 67 | 0,094 |
| Пустошкинский район | 6 | 0,008 |
| Пушкиногорский район | 18 | 0,025 |
| Пыталовский район | 9 | 0,013 |
| Себежский район | 28 | 0,039 |
| Струго-Красненский | 34 | 0,048 |
| Усвятский район | 2 | 0,003 |
| Псковская область | 714 | 1 |

Примечание: рассчитано авторами по [Псковская область, список храмов... 2022]

В соответствии с представленными в табл. 1 данными, индекс Герфиндаля-Гиршмана равен 0,065, что свидетельствует об умеренном уровне концентрации культовых объектов на территории рассматриваемого субъекта Российской Федерации. Целесообразно отметить отдельные муниципальные районы, где сосредоточено наибольшее количество культовых объектов – административный центр области и прилегающий к нему район, а также Гдовский, Печорский и Порховский районы. Наименьшее количество культовых объектов представлено в Усвятском, Красногородском и Пустошкинском районах. Остальные АТЕ Псковской области характеризуются относительно равномерным распределением храмов и часовен (рис. 1).

В Псковской области действует 10 православных обителей, каждая из которых представляет собой ансамбль из монастырских построек (рис. 2). Монастыри располагаются в основном в северной части Псковской области (Псков, Псковский, Печорский, Порховский и Стругокрасненский районы). Существуют также монастыри в срединных районах области – Островском и Пушкиногорском. В южной части области их нет, отсутствуют монастыри также в восточных районах области. Размещение современных монастырей определяется главным образом транспортно-географическим фактором – все они располагаются на ключевых путях сообщения, проходящих через территорию Псковской области (Варшавская железная дорога, Киевское шоссе и др.).

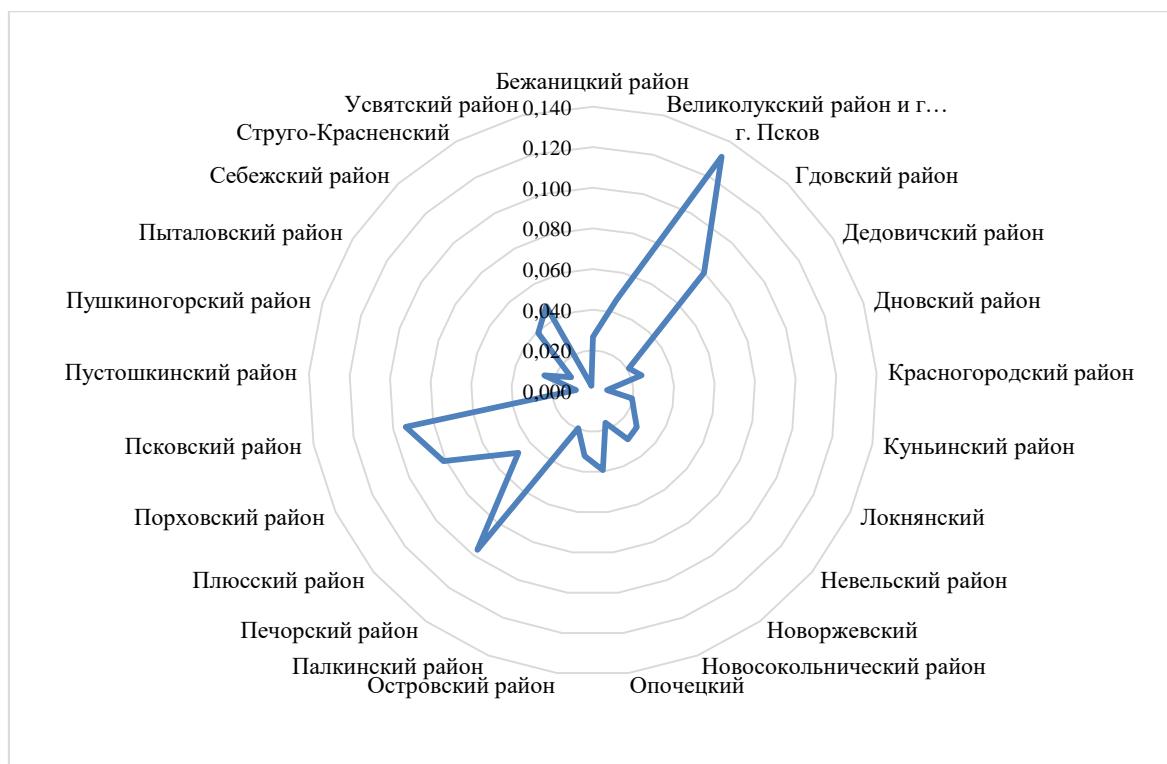


Рис.1. Доля культовых объектов по муниципальным районам Псковской области
Fig.1. The share of religious sites in municipal districts of the Pskov region

Монастыри Псковской области имеют разную притягательность для туристов. Так, Псково-Печерский монастырь, находящийся в г. Печоры, представляет собой главный и единственный туристский объект в этом городе. Святогорский монастырь, расположенный в п. Пушкинские Горы, интересен для туристов как один туристических объектов «Пушкиногорья» в качестве места, где находится могила А.С. Пушкина. Для монастырей паломники и туристы представляют один из важнейших источников доходов. Вследствие этого многие монастыри Псковщины предоставляют комплекс услуг размещения, питания, экскурсионного обслуживания. На основе сведений об их функционировании предпринята попытка оценки анализа туристской привлекательности монастырей Псковской области.

Наиболее известным в регионе является Свято-Успенский Псково-Печерский монастырь, история которого насчитывает более 500 лет. Он знаменит сохранившимися с XIV в. пещерами, в которых тогда же поселились монахи Киево-Печерской Лавры, древними храмами, сакральными ценностями (моши святых), а также наследниками, многие из которых имеют высокий духовный авторитет среди контингента православных верующих.

Псково-Печерский монастырь является крупной туристской дестинацией. Благодаря солидной материальной базе им предоставляется широкий перечень услуг размещения, рассчитанных на разную покупательную способность [Монастырские гостиницы, 2022]. Во-первых, они доступны в монастырской гостинице, расположенной непосредственно за оградой монастыря. Номерной фонд составляют комнаты класса люкс (2 номера, 5 мест), комфорт (26 номеров, 71 место), эконом (22 номера, 58 мест), стоимость размещения в которых варьируется от 1,6 до 10 тыс. руб. в сутки. В перечне дополнительных услуг для личного транспорта предоставляются парковочные места, а также аренда конференц-зала. Кроме того, территория паломнического центра оборудована детской и спортивной площадками.

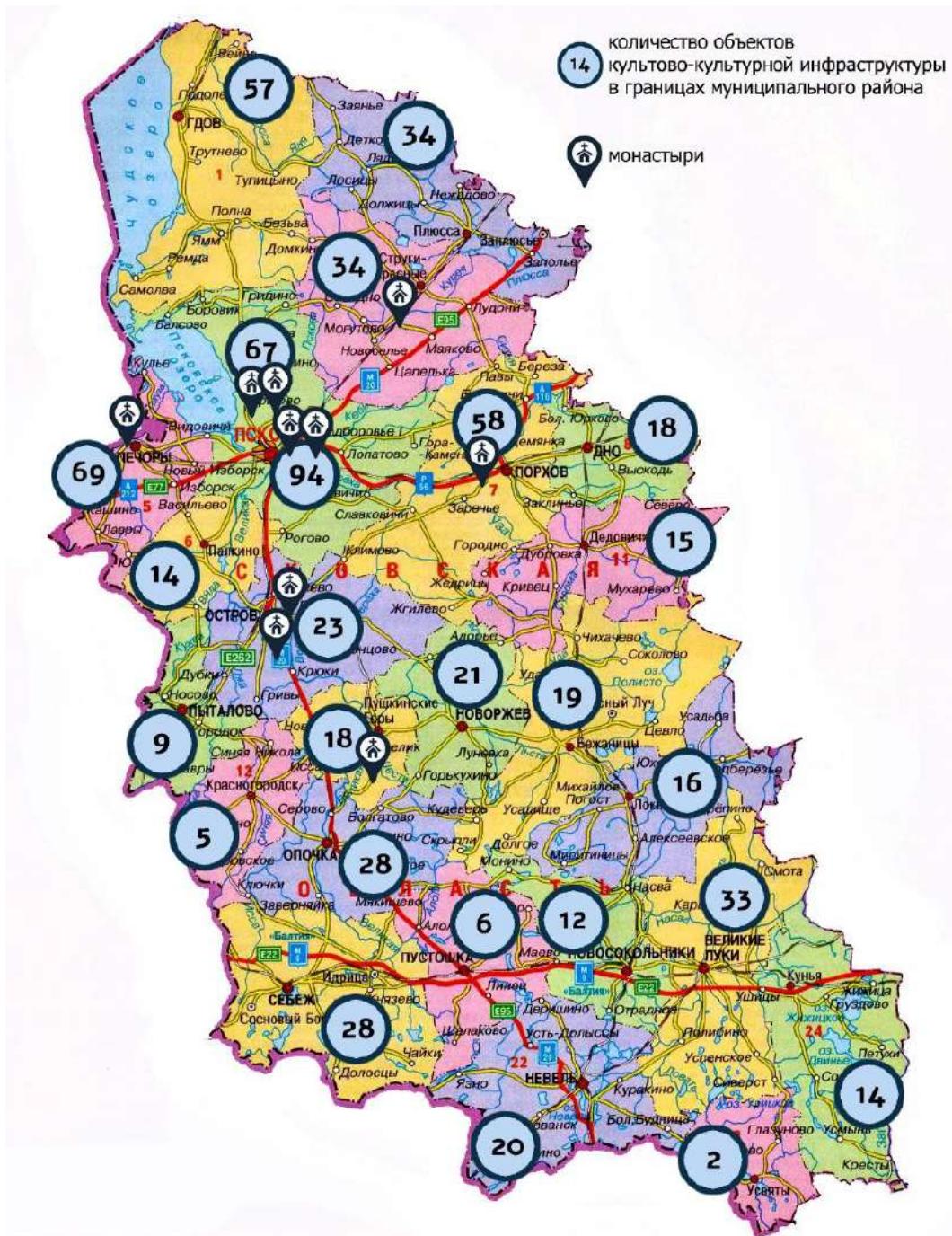


Рис. 2. Расположение монастырских комплексов по территории Псковской области
Fig. 2. Location of monastic complexes in the Pskov region

Более бюджетный вариант размещения предлагается в действующем с 2012 г. паломническом центре «Дом паломника», расположенном в 2 км от Псково-Печерского монастыря. Этот объект туристско-рекреационной инфраструктуры – пример диверсификации, т.к. до передачи территории монастырю на ней размещалась воинская часть, здания и строения которой задействованы под гостиницы и гостевые дома (в аренду предлагаются отдельные деревянные домики). Стоимость размещения в 2–8-местных номерах варьируется от 450 руб. до 5 тыс. руб.

Важной составляющей любого организованного тура или самостоятельного путешествия является обеспечение его участников питанием. В этом плане инфраструктура Псково-Печерского монастыря предлагает очень широкие возможности.

Во-первых, монастырская трапезная и монастырский буфет одновременно могут обслуживать 300 и 100 чел. соответственно. Пользователям услуги – индивидуальным посетителям и организованным группам предлагаются разнообразные блюда на выбор, а также комплексное меню, включающее трехразовое питание. Причем, с учетом религиозно обусловленных потребностей контингента православных паломников предлагается различных 6 вариантов постного меню с рыбой, без рыбы и скромного. Стоимость различается примерно на треть в сторону увеличения последнего.

Помимо ставших традиционными для крупных монастырей трапезной и буфета, в Псково-Печерском монастыре имеется кафе-ресторан «Несвятые святые», в названии которого отмечается причастность к обители, т.к. оно одноименно популярной в православных и светских кругах книге митрополита Тихона (Шевкунова). Это предприятие общественного питания расширяет качество и перечень услуг питания, благодаря режиму работы, а также ассортименту блюд и напитков, включая алкогольные.

Одним из факторов привлечения туристов и паломников является возможность приобрести монастырскую продовольственную продукцию, произведенную на основе натурального сырья, пользующуюся высоким спросом у отечественных потребителей [Тинякова, 2024]. В Псково-Печерском монастыре с 2022 г. открыто производство сыров, причем, в технологии изготовления используется естественный микроклимат хозяйственных монастырских пещер. К реализации предлагаются 2 вида – твердый и полутвердый. В торговой точке обители можно помимо сыра приобрести и другую монастырскую продукцию продовольствия – яблоки, повидло и т.д.

Познавательный туризм, в том числе, религиозной тематики, базируется на экскурсионном и музейно-экскурсионном обслуживании. В Псково-Печерском монастыре в силу древности и историко-архитектурной ценности построек образующего его ансамбля, а также благодаря ярким личностным и духовным качествам его насельников, предоставляется не только возможность посетить обзорную экскурсию, включая уникальный пещерный комплекс, но и несколько выставочных экспозиций (кельи архимандрита Серафима (Розенберга), преподобного Симеона (Желнина), архимандрита Иоанна (Крестьянкина). Паломникам и туристам может быть также интересна экспозиция Печорского историко-краеведческого музея, расположенного в шаговой доступности от Псково-Печерского монастыря.

Высоким преимуществом для развития туристской дестинации является ее транспортная доступность. Псково-Печерский монастырь находится в г. Печоры – административно-муниципальном районном центре. Он связан с Псковом и другими городами, включая Санкт-Петербург, железнодорожным и автобусным транспортом. Осуществляется также автобусное движение по самому городу Печоры, где в перечне маршрутов имеются те, что соединяют Псково-Печерский монастырь с расположенным в 2 км от него паломническим центром.

Как объект культурно-познавательного и паломнического туризма Псково-Печерский монастырь обладает всеми предпосылками и факторами для развития и успешно реализует свой капитал.

Менее разнообразный, но также довольно широкий перечень услуг для туристов предлагает Спасо-Елеазаровский женский монастырь, в 30 км к северному направлению от Пскова. Эта женская обитель стала восстанавливаться в 2000 г., но история ее восходит к XIV в.

За первую четверть XXI века монастырь был оснащен несколькими объектами туристской инфраструктуры. На данный момент на его территории действуют две гостиницы, одна из которых рассчитана на 50 койко-мест, а вторая на 30. В номерах разной степени комфортности предлагается 1–4-х местное размещение.

В Спасо-Елеазаровском монастыре учитываются потребности в питании посетителей. Однако комплексное трехразовое питание в трапезной, вместимостью на 55 человек, осуществляется только для организованных паломнических групп. Как и в Псково-Печерском

монастыре, предлагаются варианты меню завтрака, обеда и ужина, но ассортимент их ограничивается двумя разными по стоимости вариантами – строго постным и с включением молочных продуктов и рыбы. Индивидуальные посетители, а также участники организованных групп, для которых не был сделан заказ на обслуживание в трапезной, имеют возможность удовлетворить потребность в питании в монастырском буфете или кофейне. Ассортимент первого, помимо готовых блюд, включает натуральную продукцию монастырского производства (хлеб, молоко, творог, сыры, мед, иван-чай).

Экскурсионное обслуживание в данном случае ограничено обзорной экскурсией по территории Спасо-Елеазаровского монастыря. Но в перечне факторов, которые привлекают туристов, можно назвать природные объекты – реку Толва и Елизаровское озеро, на берегах которых расположена обитель.

Историко-культурной доминантой пгт Пушкиногорье – районного центра Пушкиногорского р-на Псковской области можно по праву назвать Свято-Успенский Святогорский мужской монастырь. Его ценность как объекта культурного наследия России во многом определяется тесной связью с биографией А.С. Пушкина, часто бывавшего в обители во время южной ссылки. Здесь же находится могила поэта.

Монастырь охраняется государством в составе Музея-заповедника А.С. Пушкина и тесно связан этим музеем-заповедником. Поэтому посетителям предлагаются организация экскурсий не только по самой обители, но также в расположенные рядом усадьбы.

Инфраструктура размещения для ночлега в Святогорском мужском монастыре имеется, но она ограничена гостевым домом, оборудованным двумя номерами вместимостью на 6 человек каждый. За экскурсию по монастырю, как и за размещение, не установлена фиксированная плата. Позиционируется, что эти услуги предоставляются на условиях внесения добровольного денежного пожертвования.

Организованные паломнические группы обеспечиваются питанием в монастырской трапезной по предварительному заказу. Кроме того, индивидуальным посетителям можно присоединиться к монастырскому обеду на условиях небольшой оплаты (300 руб. с человека), но это возможно в определенный временной промежуток (13:00–13:30), что делает предложение весьма ограниченным.

Размещение на базе гостиничной инфраструктуры монастыря на условиях добровольного пожертвования предлагается также в Иоанно-Богословской Савво-Крыпецкой мужской обители, расположенной в Псковском районе Псковской области в 22 км от Пскова и 7 км от поселка Крипецкого. Но фиксированная оплата не взимается только в случае, если речь идет о размещении в принадлежащем монастырю гостевом доме в д. Торошино. Гостиница, имеющаяся в самой обители, располагает четырьмя 2–10-местными номерами с удобствами на этаже. Причем, предложение действительно только для организованных экскурсионных и паломнических групп, а трудники, желающие безвозмездно поработать во благо монастыря, проживают в гостинице безвозмездно.

Для организованных групп предлагается по предварительному заказу обед за небольшую плату и экскурсия по монастырю за добровольное пожертвование.

Фактором, который затрудняет посещение обители для лиц, путешествующих самостоятельно, является транспортная доступность: от ближайшей остановки автобуса требуется преодолевать пешком расстояние 7 км.

Услуги питания, размещения и экскурсионного обслуживания предлагает также Свято-Троицкий Творожковский женский монастырь в д. Творожково Струго-Красненского района Псковской области. Однако разнообразия они не предполагают, т.к. подразумевается ночлег в гостинице с удобствами на этаже и питание в монастырской трапезной. Экскурсия по обители проводится на условиях добровольного пожертвования. Фактором привлечения туристов служит Творожковское озеро, на берегу которого находится обитель. Кроме того, в монастыре реализуется молочная и кондитерская продукция собственного производства. Как и в рассмотренном выше примере, транспортная доступность путешествующих

самостоятельно затруднена, т.к. автобус, соединяющий районный центр с д. Творожково, где находится монастырь, курсирует несколько раз в неделю.

В Пскове находятся монастыри, которые пользуются высокой популярностью у туристов, т.к. их постройки обладают высокой историко-культурной и архитектурной ценностью. Например, ансамбль Спасо-Мирожского мужского монастыря с постройками и фресковой живописью XII – нач. XX вв. входит в перечень объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО.

В монастыре не предоставляется возможность размещения на ночлег, но услуга питания оказывается на условиях оплаты по предварительному заказу для организованных групп в монастырской трапезной.

Другая расположенная в Пскове обитель – Рождества Богородицы Снетогорский монастырь. Возможностей для размещения на ночлег туристов и паломников там не имеется, действует собственное предприятие общественного питания. В Монастырской чайной предлагаются комплексные завтраки, обеды и ужины, а также в широком ассортименте представлены готовые блюда и напитки, реализуется натуральная продукция подсобных хозяйств обители. Территорию Снетогорского монастыря благодаря ее благоустроенноти, оборудованию уличными скамейками, цветочными клумбами и искусственными фонтанами, можно считать одной из городских рекреационных зон. В обоих монастырях Пскова для желающих проводятся экскурсии.

По уровню развития туристской инфраструктуры и экскурсионно-познавательной привлекательности рассмотренным выше православным монастырям Псковской области уступают удаленные от областного центра Свято-Благовещенская Никандрова пустынь (Порховский р-н, д. Любовец), Спасо-Казанский женский монастырь (г. Остров) и Свято-Введенский монастырь (Островский р-н, д. Владимищец).

Однако каждый из них заслуживает упоминания как объект познавательного туризма религиозной направленности и актор развития туристско-рекреационного хозяйства региона. Так, например, в Никандровой пустыни принимаются для экскурсионного обслуживания и обеспечиваются возможность питания организованные группы туристов и паломников. Индивидуальное посещение обители затруднено по причине того, что ближайшая остановка общественного транспорта находится в 10 км от нее.

В Спасо-Казанском женском монастыре не предоставляются услуги размещения и питания, но туристской привлекательностью служит разместившийся в здании обители музей древнего дворянского рода Симанских – известных в Псковской губернии меценатов, и истории Спасо-Казанского женского монастыря, созданный по инициативе руководства Псковской региональной общественной организации «Общество истории и культуры Островского уезда».

Наконец, Свято-Введенский монастырь в с. Владимищец Островского района принимает организованные паломнические и экскурсионные группы, обеспечивает их услугой питания по предварительному заказу. В обители можно приобрести продовольственную продукцию собственного производства. Но приток в монастырь лиц, путешествующих самостоятельно, небольшой, т.к. от остановки общественного автобуса, который курсирует 3 раза в неделю, необходимо пешком преодолеть расстояние 5 км.

Каждая из представленных выше обителей привлекательна как для паломников, так и для путешественников, интересующихся важной частью культурного кода России – православной религией. Тем не менее, авторы поставили перед собой цель выявить наиболее привлекательные с туристской точки зрения монастырские комплексы. Для ее достижения был использован подход формирования комплексной интегральной оценки. Первый этап анализа включал рассмотрение всех реально действующих монастырей на территории Псковской области. В качестве первичных индикаторов были отобраны качественные показатели, которые являются составляющими туристского комфорта во время посещения дестинации. К ним относятся: средства размещения для ночлега, пункты общественного

питания, сувенирные и иконно-книжные лавки, продажа пищевой продукции собственного производства, экскурсии (также по музеям комплексам), привлекательность природных ландшафтов (наличие/отсутствие естественных водоемов), прием паломников (трудничество), дополнительные элементы туристской инфраструктуры (детские площадки, спортивные площадки, садово-парковые комплексы и др.). Авторы использовали балльно-рейтинговый метод (бинарную систему) для формирования рейтинга наиболее привлекательных с туристской точки зрения монастырских комплексов. Исходные данные и полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Рейтинг туристской привлекательности монастырских комплексов Псковской области
Ranking of the tourist attractiveness of the monastery complexes in the Pskov region

| Критерии | Монастырские комплексы* | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Размещение | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - |
| Питание | + | + | - | + | + | + | - | - | - | - |
| Лавки | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Продажа продукции собственного производства | + | + | + | - | - | - | + | - | - | - |
| Экскурсии | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - |
| Музеи | + | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| Водоемы/пляж | - | + | + | + | - | - | - | + | + | + |
| Трудничество | + | + | + | + | + | + | + | - | - | + |
| Дополнительная туристическая инфраструктура | + | - | + | - | - | - | - | - | - | - |
| Баллы | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Рейтинг | 1 | 2, 3 | 2, 3 | 4 | 5, 6, 7 | 5, 6, 7 | 5, 6, 7 | 8, 9, 10 | 8, 9, 10 | 8, 9, 10 |
| Уровень туристической привлекательности | высокий | высокий | высокий | средний | средний | средний | средний | низкий | низкий | низкий |

Примечание: *1 – Свято-Успенский Псково-Печерский; 2 – Спасо-Елеазаровский женский; 3 – Рождества Богородицы Снетогорский; 4 – Свято-Троицкий Творожский женский; 5 – Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий мужской; 6 – Свято-Успенский Снетогорский мужской; 7 – Свято-Введенский; 8 – Спасо-Преображенский Мирожский мужской; 9 – Свято-Благовещенская Никандрова пустынь; 10 – Спасо-Казанский женский (Симанский). Рассчитано авторами по [Рождества Богородицы Снетогорский... 2020; Спасо-Елеазаровский... 2021; Монастырские гостиницы 2022; Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий... 2024; Свято-Благовещенская Никандрова... 2025; Свято-Введенский женский... 2025; Спасо-Казанский женский... 2025; Спасо-Преображенский Мирожский... 2025; Свято-Троицкий Творожский... 2025; Свято-Успенский Снетогорский... 2025].

Согласно результатам расчетного исследования, наиболее привлекательными для туристов являются Свято-Успенский Псково-Печерский монастырь (Печорский муниципальный район), Спасо-Елеазаровский женский монастырь (Псковский муниципальный район) и Рождества Богородицы Снетогорский монастырь (г. Псков). Все они предлагают возможности для размещения посетителей при необходимости, имеют пункты общественного питания на своей территории, предлагают продукцию собственного производства для приобретения, реализуют экскурсионную деятельность.

Второй этап оценки был сфокусирован на тех дестинациях, которые располагают возможностями для размещения и питания туристов. В качестве первичных индикаторов была рассмотрена стоимость размещения, питания, экскурсий. В затратах посетителей монастырей

были также учтены церковные требы, которые традиционно принято там заказывать. Наиболее популярны среди православных верующих проскомидии и сорокоусты. Именно их стоимость была задействована для расчетов. Для трансформации обозначенных показателей и составления рейтинга авторы использовали два метода – нормирование и максимум-минимум. В обоих случаях результат был неизменным (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Рейтинг туристской привлекательности монастырских комплексов Псковской области
в соответствии с базовыми затратами (чел/день)

Ranking of the tourist attractiveness of the monastery complexes in the Pskov region,
in terms of basic costs, person/day

| Монастырский комплекс | Средняя стоимость проживания | Средняя стоимость обеда | Стоимость экскурсии | Средняя стоимость треб | Рейтинг |
|---|------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|---------|
| Свято-Троицкий Творожковский женский | 0 | 0 | 0 | 200 | 1 |
| Свято-Успенский Святогорский мужской | 0 | 300 | 0 | 215 | 2 |
| Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий мужской | 900 | 300 | 100 | 200 | 3 |
| Спасо-Елеазаровский женский | 2100 | 375 | 200 | 150 | 4 |
| Свято-Успенский Псково-Печерский | 5225 | 400 | 300 | 175 | 5 |

Рассчитано авторами по [Спасо-Елеазаровский... 2021; Монастырские гостиницы 2022; Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий... 2024; Свято-Троицкий Творожковский... 2025; Свято-Успенский Святогорский... 2025.]

Отметим, что показатель 0 был установлен в отношении тех услуг, которые оказываются монастырскими комплексами бесплатно или за добровольное пожертвование со стороны посетителей.

Исходя из представленных данных и проведенных расчетов, туристы понесут наименьшие расходы при посещении Свято-Троицкого Творожковского женского монастыря, Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря и Иоанно-Богословского Савво-Крыпецкого мужского монастыря. Наибольшие расходы потребуются при проживании во время визита в Свято-Успенский Псково-Печерский мужской монастырь и Спасо-Елеазаровский женский монастырь. Это связано с высоким уровнем комфорта пребывания туристов на территории обители, а также возможностью выбора номеров в гостиничном комплексе, что предопределяет вариативность цен.

Заключение

Псковская область характеризуется наличием значительного количества объектов культурно-культурной инфраструктуры, способствующей развитию как культурно-познавательного туризма в целом, так и религиозного в частности. Тем не менее, объекты размещены по территории региона неравномерно, что было подтверждено расчетами индекса Герфиндаля-Гиршмана. Наибольшую притягательность с точки зрения концентрации храмов, часовен и монастырских комплексов представляют г. Псков и Псковский район, Гдовский, Печорский и Порховский районы.

На территории Псковского и Печорского районов сосредоточены и наиболее благоустроенные с точки зрения обеспечения туристского комфорта обители. Сконцентрированность в их пределах храмов и часовен служит дополнительной привлекательностью монастырских дестинаций, т.к. позволяет расширить перечень объектов экскурсионного осмотра на познавательных тематических маршрутах.



Авторы поставили перед собой цель выявить наиболее привлекательные с туристской точки зрения монастырские обители. Историческая ценность и культурное значение рассматриваемых дестинаций не вызывают никаких сомнений. Однако для посетителей важную роль играют и иные насыщные элементы туристской инфраструктуры. В первую очередь места проживания и объекты общественного питания. Особое внимание было уделено стоимости предоставляемых услуг, что оказывает влияние на общие затраты туристов во время путешествия. Таким образом, в процессе исследования были рассмотрены все реально функционирующие монастырские обители Псковской области как туристские дестинации. Отдельной категорией авторы выделили обители, на территории которых предполагается полноценное размещение посетителей. Последние оценивались с учетом ключевых затрат, которые несут туристы.

Проведенные расчеты показали, что наиболее привлекательными являются Свято-Успенский Псково-Печерский монастырь, Спасо-Елеазаровский женский монастырь и Рождества Богородицы Снетогорский монастырь. При этом минимальные затраты при условии возможности размещения непосредственно на территории обители предоставляют Свято-Троицкий Творожковский женский монастырь, Свято-Успенский Святогорский мужской монастырь и Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий мужской монастырь.

Список источников

- Благочиния Псковской епархии. Псковская епархия русская православная церковь. 2025. Электронный ресурс. URL: <https://pskov-eparhia.ru/митрополия/псковская-епархия/монастыри-благочиния-храмы/благочиния> (дата обращения 15.03.2025).
- Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий мужской монастырь. Иоанно-Богословский Савво-Крыпецкий монастырь. 2024. Электронный ресурс. URL: <https://krypetsy.ru/> (дата обращения 17.03.2025).
- Монастырские гостиницы. Свято-Успенский Псково-Печерский монастырь Русской Православной Церкви (Московский Патриархат). 2022. Электронный ресурс. URL: <https://ppmon.ru/palomnikam/gostinicy/> (дата обращения 17.03.2025).
- Псковская область, список храмов и монастырей. Соборы.ру. Народный каталог православной архитектуры. 2022. Электронный ресурс. URL: <https://sobory.ru/geo/state/19> (дата обращения 18.03.2025).
- Рождества Богородицы Снетогорский женский монастырь Псковской Епархии. Местная Религиозная организация Рождества Богородицы Снетогорский женский монастырь Псковской Епархии Русской Православной Церкви города Пскова (Московский Патриархат). 2020. Электронный ресурс. URL: <https://snetogor.ru/> (дата обращения 15.03.2025).
- Свято-Благовещенская Никандрова пустынь. Псковская епархия, Свято-Благовещенская Никандрова пустынь. 2025. Электронный ресурс. URL: <https://nikandrova-pustyn.ru/> (дата обращения 15.03.2025).
- Свято-Введенский женский монастырь Псковской епархии. Епархиальный Свято-Введенский женский монастырь Псковской Епархии Русской Православной Церкви (Московский Патриархат). 2025. Электронный ресурс. URL: <http://www.vladimirec-mon.ru/> (дата обращения 15.03.2025).
- Свято-Троицкий Творожковский женский монастырь д. Творожково. Монастырский вестник Синодальный отдел по монастырям и монашеству Русской Православной Церкви. 2025. Электронный ресурс. URL: <https://monasterium.ru/monastyri/monastery/svyato-troitskiy-tvorozhskiy-zhenskiy-monastyr-d-tvorozhskovo/> (дата обращения 15.03.2025).
- Свято-Успенский Святогорский монастырь. Московский патриархат Псковская митрополия Великолукская епархия Свято-Успенский Святогорский монастырь. 2025. Электронный ресурс. URL: <https://svyatogorskiy-monastery.ru/?sa=X&ved=2ahUKEwi5p5ip7uBAxUsTJEFHWbTDJsQyK4DegQIAxAo> (дата обращения 15.03.2025).
- Спасо-Елеазаровский женский монастырь. Спасо-Елеазаровский женский монастырь Русской Православной Церкви (Московский Патриархат). 2021. Электронный ресурс. URL: <https://eleazarovo.ru/> (дата обращения 15.03.2025).

Спасо-Казанский женский Симанский монастырь. Псковская Епархия Спасо-Казанский женский Симанский монастырь. 2025. Электронный ресурс. URL: <https://simanskii.ru/> (дата обращения 15.03.2025).

Спасо-Преображенский Мирожский мужской монастырь. Спасо-Преображенский Мирожский мужской монастырь. 2025. Электронный ресурс. URL: <http://mirozhsky-monastery.ru/> (дата обращения 15.03.2025).

Список литературы

- Асланян И.К. 2020. Актуальные проблемы развития религиозного туризма Калужской области. Инновационные научные исследования, 12–2(2): 241–245. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4442614>.
- Балабейкина О.А. 2024. Православная культовая инфраструктура в системе функционирования туристско-рекреационной сферы Мурманской области. Арктика и Север, 54: 140–156. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.54.140>.
- Балабейкина О.А., Вишняков А.П., Гаврилова К.С., Таланцева П.А. 2024. Использование культиво-культурной инфраструктуры в целях развития внутреннего туризма (на примере Вологодской области). Экономические и социальные проблемы России, 4(60): 90–105. <https://doi.org/10.31249/espr/2024.04.05>.
- Бычкова Е.В., Севостьянова С.К. 2022. Религиозный туризм как часть историко-культурного развития региона в городе Рубцовске Алтайского края. Культурное наследие Сибири, 1(33): 126–139.
- Голомидова Е.С.. Чученкова О.А., Васильева Т.В. 2020. Природное и культурное наследие как ресурс развития трансграничного туризма на смежных территориях России, Эстонии и Латвии. Псковский регионологический журнал, 3(43): 117–139. <https://doi.org/10.37490/S221979310010375-5>.
- Гусейнова А.Г. 2019. Кейсы экскурсионного сторителлинга на объектах паломнических экскурсий Ярославской области Современные проблемы сервиса и туризма, 13(3): 70–78. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2019-10306>.
- Дементьев В.С. 2015. Памятники культовой архитектуры в историко-культурном наследии Нижневеликорецкого региона. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, 6: 32–49.
- Ермакова Н.А., Воронов А.И. 2023. Основные тенденции в размещении производства товарной аквакультуры на территории России и роль аквакультуры в экономике региона. International agricultural journal, 66(1): 18. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_1_18
- Жога Г.В. 2024. Новые паломники. К постановке проблемы изучения духовного туризма на Урале. Управление культурой, 3(3): 47–56. <https://doi.org/10.70202/2949-074X-2024-3-3-47-56>.
- Калинина О.В. 2022. Псково-Печерский монастырь в культуре русских и сето Печорского района Псковской области: монастырская идентичность и местные практики. Вестник антропологии, 2: 68–89. <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2022-2/68-89>.
- Котляров И.Д. 2024. Экономическая роль Русской православной церкви: концептуальный анализ. Религиоведение, 3: 39–53. <https://doi.org/10.22250/2072-8662-2024-3-39-53>
- Круг Э.А. 2024. Современное состояние туристского потенциала Псковской области. Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Экономика, 1(39): 50–60. <https://doi.org/10.25688/2312-6647.2024.39.1.04>
- Мотеюнайте И.В. 2022. Псковский Спасо-Преображенский Мирожский собор в массовой культуре города. Labyrinth. Теории и практики культуры, 4: 38–47.
- Тинякова Е.А. 2024. Перспективные векторы развития сельского хозяйства в ярмарках, фестивалях и выставках в России и за рубежом. Сельское хозяйство, 2: 37–51. <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2024.2.72375>
- Черемисин А.А. 2021. Организация религиозного туризма на Крайнем Севере и районах, к нему приравнённых (на примере Улаганского района Республики Алтай). Культура. Наука. Производство, 7: 80–85. https://doi.org/10.52978/26187701_2021_7_80
- Чупина И.П., Журавлева Л.А., Зарубина Е.В., Симачкова Н.Н., Петрова Л.Н., Фатеева Н.Б. 2025. Роль паломнического туризма на территории Российской Федерации. Российский научный вестник, 2: 105–112. <https://doi.org/10.24412/2782-3830-2025-2-105-112>.
- Швецова-Шиловская Е.А. 2023. Реконструкция Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря в условиях увеличения числа паломников и туристов. Вестник МГСУ, 18(1): 36–44. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.36-44>.



Швецова-Шиловская Е.А., Ильвицкая С.В. 2021. Принципы реконструкции и развития православных монастырей русского севера. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, 2: 49–59. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-2-49-59>

Якунин В.Н. 2020. Исторические аспекты развития религиозного туризма и паломничества в Самарской области. Школа университетской науки: парадигма развития, 4(38): 171–173.

Янгез Д.И., Вашкевич А.Н. 2020. Паломническо-религиозный туризм Псковской области. Научный вестник МГИФКСиТ, 3(65): 26–32.

References

- Aslanyan I.K. 2020. Topical Problems of Religious Tourism Development in Kaluga Region. Innovative Scientific Research, 12–2(2): 241–245 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4442614>
- Balabeykina O.A. 2024. Orthodox Religious Infrastructure in the Tourism and Recreation Sphere of the Murmansk Oblast. Arctic and North, 54: 140–156 (in Russian). <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.54.140>.
- Balabeikina O.A., Vishnyakov A. P., Gavrilova K. S., Talantseva P. A. 2024. The Economic Importance of the Orthodox Infrastructure in The Tourism Sector (the Example of the Vologda Region). Economical and Social Problems of Russia, 4(60): 90–105 (in Russian). <https://doi.org/10.31249/espr/2024.04.05>
- Bychkova E.V., Sevastyanova S.K. 2022. Religious Tourism as Part of the Historical and Cultural Development of the Region in the City of Rubtsovsk, Altai Krai. Cultural heritage of Siberia, 1: 126–139 (in Russian).
- Golomidova E.S., Chuchenkova N.A., Vasileva T.V. 2020. Natural and Cultural Heritage as a Resource for Thedevelopment of Cross-Border Tourism in the Adjacentterritories of Russia, Estonia and Latvia. Pskov Journal of Regional Studies, 3(43): 117–139 (in Russian). <https://doi.org/10.37490/S221979310010375-5>.
- Guseinova A.G. 2019. The Objects of Sightseeing Storytelling in Pilgrimage Excursions in Yaroslavl Region. Service and Tourism: Current Challenges, 13(3): 70–78 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2019-10306>.
- Dementiev V.S. 2015. Monuments of Sacral Architecture in the Historical and Cultural Heritage of Nizhnevelikoretskiy Region. Bulletin of Pskov State University. Series: Natural and Physico-Mathematical Sciences, 6: 32–49 (in Russian).
- Ermakova N.A., Voronov A.I. 2023. Main Trends in the Location of Commercial Aquaculture Production in Russia and the Role of Aquaculture in the Regional Economy. International agricultural journal, 66(1): 18 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_1_18
- Zhoga G.V. 2024. New Pilgrims. Towards the Problem of Studying Spiritual Tourism in the Urals. Managing of Culture, 3(3): 47–56 (in Russian). <https://doi.org/10.70202/2949-074X-2024-3-3-47-56>.
- Kalinina O.V. 2022. The Pskovo-Pechersky Monastery in the Culture of the Russians and Seto of the Pechersky District of the Pskov Region: Monastery Identity and Local Practices. Herald of Anthropology, 2: 68–89 (in Russian). <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2022-2/68-89>.
- Kotlyarov I.D. 2024. The Economic Role of the Russian Orthodox Church: a Conceptual Analysis. Religious Studies, 3: 39–53 (in Russian). <https://doi.org/10.22250/2072-8662-2024-3-39-53>
- Krug E.A. 2024. Current State of Tourist Potential of the Pskov Region. Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series "Economy", 1(39): 50–60 (in Russian). <https://doi.org/10.25688/2312-6647.2024.39.1.04>
- Moteyunaite I.V. 2022. Pskov Spaso-Preobrazhensky Mirozhsky Cathedral in the Mass Culture of the City. Labyrinth. Theories and practices of culture, 4: 38–47 (in Russian).
- Tinyakova E. A. 2024. Perspective Vectors of Developing Agriculture in Fairs, Festivals and Exhibitions (Russian and Foreign Approaches). Agriculture, 2: 37–51 (in Russian). <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2024.2.72375>
- Cheremisin A.A. 2021. Organization of Religious Tourism in the Far North and the Regions Equated to It (on the Example of the Ulagan District of the Altai Republic). Culture. Science. Production, 7: 80–85 (in Russian). https://doi.org/10.52978/26187701_2021_7_80
- Chupina I.P., Zhuravleva L.A., Zarubina E.V., Simachkova N.N., Petrova L.N., Fateeva N.B. 2025. The Role of Pilgrimage Tourism in the Territory of the Russian Federation. Russian Scientific Bulletin, 2: 105–112 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2782-3830-2025-2-105>

- Shvetsova-Shilovskaya E.A. 2023. Reconstruction of the Holy Trinity Zelenetsky Monastery in the Context of an Increasing Number of Pilgrims and Tourists. *Vestnik of MGSU*, 18(1): 36–44 (in Russian). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.36-44>.
- Shvetsova-Shilovskaya E.A., Il'vickaya S.V. 2021. Principles of Reconstruction and Development of Orthodox Monasteries in Russian North. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov*, 2: 49–59 (in Russian).
- Yakunin V.N. 2020. Istoricheskiye aspekty razvitiya religiozного turizma i palomnichestva v Samarskoy oblasti [Historical Aspects of the Development of Religious Tourism and Pilgrimage in the Samara Region]. *Shkola universitetskoy nauki: paradigma razvitiya*, 4(38): 171–173.
- Yangez D.I., Vashkevich A. N. 2020. Pilgrimage and Religious Tourism Pskov Region. *Scientific Bulletin of MGIT*, 3(65): 26–32 (in Russian).

*Поступила в редакцию 21.04.2025;
поступила после рецензирования 06.06.2025;
принята к публикации 30.07.2025*

*Received April 21, 2025;
Revised June 06, 2025;
Accepted July 30, 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

Мартынов Василий Львович, доктор географических наук, профессор кафедры экономической географии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

Балабейкина Ольга Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры региональной экономики и природопользования, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Гаврилова Каринэ Самвеловна, старший преподаватель кафедры региональной экономики и природопользования, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Зайцева Арина Евгеньевна, студентка направления «Зарубежное регионоведение» кафедры региональной экономики и природопользования, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vasilii L. Martynov, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Economic Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

Olga A. Balabeikina, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Regional Economics and Nature Management, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

Karine S. Gavrilova, Senior Lecturer, Department of Regional Economics and Nature Management, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

Arina E. Zaytseva, student of the Foreign Regional Studies program, Department of Regional Economics and Nature Management, St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia



УДК 332.2

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-3

EDN VQLRGW

Повышение эффективности использования земель фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края

Максименко Е.В., Юрченко К.А.

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина,
Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13
k.maximenkoo@mail.ru, ivahno-ks@mail.ru

Аннотация. В России с 2021 года имеется федеральная программа «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса», которая направлена на решение ключевых проблем агропромышленного комплекса России по вовлечению неиспользуемых пахотных земель в сельскохозяйственный оборот. Несмотря на наличие этой программы и многочисленность публикаций по этой проблематике, в Краснодарском крае имеются земельные участки фонда перераспределения, не задействованные в аграрном производстве. Целью исследования является выявление неиспользуемых земельных участков фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края и предложение направлений по повышению эффективности их применения в агропромышленном комплексе региона. Выполнен SWOT-анализ земельного ресурсного потенциала Абинского района. Установлено, что 178 участков фонда либо используются сельскохозяйственными товаропроизводителями без надлежащего оформления документов, либо не используются совсем. Посчитана недополученная продукция с неиспользуемых земель фонда перераспределения. С помощью сервиса Портал пространственных данных Национальная система пространственных данных/Публичная кадастровая карта и космических снимков выявлены участки фонда перераспределения, не учтенных в ЕГРН и участки, не имеющие координат границ. Установлены участки фонда, заросшие древесно-кустарниковой растительностью и один участок, используемый без оформления договора аренды. Предложен комплекс мероприятий, включающий геодезическое уточнение границ, проведение культуртехнических мероприятий, создание GIS-слоя фонда перераспределения на публичной кадастровой карте и введение льготных арендных ставок для сельскохозяйственных товаропроизводителей. Посчитана экономическая эффективность культуртехнических работ, обеспечивающих рентабельность до 91,5 % при сроке окупаемости 1,3 года. Сделан вывод, что проведение предложенных мероприятий не только повысит доходность аграрного сектора, но и будет способствовать устойчивому развитию сельских территорий в соответствии со стратегическими ориентирами государственной политики.

Ключевые слова: фонд перераспределения земель, космические снимки, портал пространственных данных, культуртехнические мероприятия, древесно-кустарниковая растительность, эффективность использования

Для цитирования: Максименко Е.В., Юрченко К.А. 2025. Повышение эффективности использования земель фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края. Региональные геосистемы, 49(4): 830–839. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-3 EDN: VQLRGW

Enhancing the Efficiency of Using the Redistribution Fund Lands in the Abinsky District of the Krasnodar Territory

Ekaterina V. Maksimenko, Ksenia A. Yurchenko

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
13 Kalinin St., Krasnodar, 350044, Russia
k.maximenkoo@mail.ru, ivahno-ks@mail.ru

Abstract. Since 2021, Russia has been running a federal program “Efficient Involvement of Agricultural Lands into Circulation and Development of the Land Reclamation Complex” aimed at solving key problems faced by Russia’s agribusiness in involving unused agricultural land into agricultural circulation. Despite the existence of this program and numerous publications on the issue, there are land plots of the redistribution fund in the Krasnodar Territory that are not involved in agricultural production. The purpose of the study is to identify unused land plots of the redistribution fund in the Abinsky District of the Krasnodar Territory and propose lines of activity to return them into agricultural circulation. We conducted a SWOT analysis of the land resource potential of the Abinsky District, revealing 178 plots of the fund that are either used by agricultural producers without proper documentation or are not used at all. The lost production from unused lands of the redistribution fund was calculated. Using the Spatial Data Portal service National Spatial Data System/Public Cadastral Map and satellite images, we identified areas of the redistribution fund that are not included in the Unified State Register of Real Estate and areas without boundary coordinates. Areas of the fund overgrown with trees and shrubs and one area used without a lease agreement were also detected. The results of the study allow us to propose a combination of measures, including geodetic clarification of boundaries, land improvement activities, creating a GIS layer of the redistribution fund on the public cadastral map, and introducing preferential rental rates for agricultural producers. We have calculated the economic efficiency of land improvement works which may ensure profitability of up to 91.5 % with a payback period of 1.3 years. The implementation of the measures proposed will not only increase the profitability of the agricultural sector, but also contribute to the sustainable development of rural areas in accordance with the strategic guidelines of the state policy.

Keywords: land redistribution fund, satellite images, spatial data portal, cultural and technical measures, trees and shrubs, efficiency of use

For citation: Maksimenko E.V., Yurchenko K.A. 2025. Enhancing the Efficiency of Using the Redistribution Fund Lands in the Abinsky District of the Krasnodar Territory. Regional Geosystems, 49(4): 830–839 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-3 EDN: VQLRGW

Введение

Земли сельскохозяйственного назначения являются ключевым ресурсом для обеспечения продовольственной безопасности и социально-экономического развития регионов Российской Федерации. В условиях дефицита сельскохозяйственных угодий их вовлечение в оборот приобретает особую актуальность [Lipski, 2015; Barsukova, 2016; Barsukova et al., 2016a].

Современные исследования [Юрченко, 2016; Волков и др., 2020; Артемова и др., 2023; Колиева, 2024; Хлыстун, 2024; Липски, Фаткулина, 2025] выявляют ряд системных проблем, препятствующих эффективному вовлечению сельскохозяйственных угодий в оборот. К ним относятся нормативно-правовые пробелы; высокие трансакционные издержки, связанные с процедурой оформления прав; отсутствие действенных экономических стимулов для потенциальных землепользователей и др.

Фонд перераспределения земель – это земельные участки, предназначенные для целей перераспределения для сельскохозяйственного производства, осуществления крестьянскими (фермерскими) хозяйствами их деятельности, создания и расширения личных подсобных хозяйств, для ведения животноводства, садоводства, огородничества, сенокошения, выпаса скота.

Согласно государственному (национальному) докладу о состоянии и использовании земель [2023] в РФ на 01.01.2024 г. площадь земель фонда перераспределения составила 39 211,7 тыс. га, из них сельскохозяйственных угодий – 10 379,7 тыс. га, пашни – 3025,6 тыс. га. Наибольшие площади находятся в государственной собственности – 39 205,8 тыс. га, в т. ч.:

- в собственности Российской Федерации – 1 232,8 тыс. га;
- в собственности субъектов Российской Федерации – 1 139,8 тыс. га;
- в муниципальной собственности – 807,2 тыс. га.

Объекты и методы исследования

Особое внимание заслуживает региональный аспект проблемы, поскольку эффективность механизмов вовлечения земель фонда перераспределения в сельскохозяйственный оборот во многом зависит от учета местных природно-климатических, экономических и социальных особенностей [Артемова и др., 2025]

Цель исследования – выявление неиспользуемых земельных участков фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края, и предложение направлений по их вовлечению в сельскохозяйственный оборот.

Объект исследования – земли фонда перераспределения, расположенные в Абинском районе Краснодарского края.

Предмет исследования – организационно-экономические механизмы вовлечения неиспользуемых земель фонда перераспределения в сельскохозяйственный оборот.

Абинский район – административно-территориальная единица в составе Краснодарского края Российской Федерации. Его административным центром является город Абинск, который находится в 81 км от города Краснодара (рис. 1).



Рис. 1. Схема границ Абинского района в составе Краснодарского края
Fig. 1. Scheme of the borders of the Abinsky district as part of the Krasnodar territory

Абинский район имеет хорошо развитую транспортную сеть. Через район проходят автомобильные трассы федерального и регионального значения: М4 «Дон», А146 «Краснодар – Новороссийск», Р251 «Темрюк – Краснодар – Кропоткин». В г. Абинске находится железнодорожная станция Северо-Кавказской железной дороги

Земельный фонд района занимает площадь 1624,1 км². Доминирующее положение имеют земли сельскохозяйственного назначения (44,4 % территории) и лесного фонда (43,3 %). Особую ценность представляют черноземные и лугово-черноземные почвы с мощностью гумусового горизонта до 136 см, однако около 10 % пахотных земель характеризуются переувлажнением и требуют мелиоративных мероприятий.

В Абинском районе Краснодарского края фонд перераспределения составляет 451 участок и занимает площадь более 12 тыс. га. Более 700 га земель фонда по разным причинам остаются не вовлеченными в сельскохозяйственный оборот. Это приводит к ежегодным потерям урожая на сумму более 6 млн рублей.

Нами выполнен *SWOT*-анализ земельного ресурсного потенциала Абинского района, который показал его выгодное географическое положение, обеспеченность благоприятными почвенно-климатическими условиями, наличие резервных земельных участков фонда перераспределения (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

SWOT-анализ земельного ресурсного потенциала Абинского района
SWOT analysis of the land resource potential of the Abinsky district

| Сильные стороны (S) | Слабые стороны (W) |
|--|---|
| 1. Выгодное географическое положение 2. Благоприятные почвенно-климатические условия позволяют выращивать практически все виды сельскохозяйственной продукции 3. Наличие особо ценных продуктивных с.-х. угодий (10818,41 га, что составляет 15,5 % от общей площади земель с.-х. назначения) и др. 4. Востребованность земельных ресурсов для развития малых форм хозяйствования | 1. Отсутствие в открытом доступе достоверной информации о наличии свободных земельных участков фонда перераспределения 2. Потери 15–20 % урожая вследствие нерационального использования земель 3. Часть трудоспособного населения в поисках работы и учебы выезжает за пределы района |
| Возможности (O) | Угрозы (T) |
| 1. Привлечение инвестиций в экономику района при реализации мероприятий по повышению инвестиционной привлекательности 2. Строительство дороги Краснодар-Абинск-Кабардинка 3. Повышение эффективности развития сельского хозяйства, в том числе садоводства 4. Наличие резервных земельных участков фонда перераспределения для организации и расширения малых форм хозяйствования | 1. Угрозы зарастания земельных участков фонда перераспределения древесно-кустарниковой растительностью 2. Отсутствие финансовых ресурсов для проведения культуртехнических работ на неиспользуемых участках фонда перераспределения 3. Технологическая отсталость КФХ и ЛПХ 4. Административные барьеры, усложняющие процесс ведения бизнеса |

SWOT-анализ земельного ресурсного потенциала Абинского района показал отсутствие в открытом доступе достоверной информации о наличии свободных земельных участков фонда перераспределения.

Используемые методы: монографический, расчетно-конструктивный, графический.

Исследование базируется на данных сервиса Портал пространственных данных Национальная система пространственных данных/Публичная кадастровая карта [Публичная кадастровая карта, 2025]; материалов департамента имущественных отношений Краснодарского края и южного филиала ОАО «Госземкадастрыемка» – ВИСХАГИ.

Результаты и их обсуждение

В Абинском районе фонд перераспределения земель включает 451 земельный участок и занимает площадь более 12 тыс. га (табл. 2). Из них девять участков не учтены в ЕГРН (один участок, из которых имеет сельскохозяйственное назначение), а 12 участков без координат границ. Многие участки сельскохозяйственного назначения имеют неправильную форму или заросли древесно-кустарниковой растительностью.

Таблица 2
Table 2Информация о категориях и площади земельных участков,
входящих в фонд перераспределения в Абинском районе
Information on the categories and area of land plots included in the redistribution
fund in the Abinsky district

| Категория земель | Количество участков, ед. | Площадь, га |
|--|--------------------------|-------------|
| Земли сельскохозяйственного назначения | 314 | 11727,0975 |
| Земли населенных пунктов | 127 | 421,5094 |
| Земли промышленности | 10 | 210,5099 |
| Итого | 451 | 12359,1168 |

В Абинском районе из 12,3 тыс. га земель фонда перераспределения 11,7 тыс. га (95 %) приходится на первую категорию земель – земли сельскохозяйственного назначения (рис. 2а).

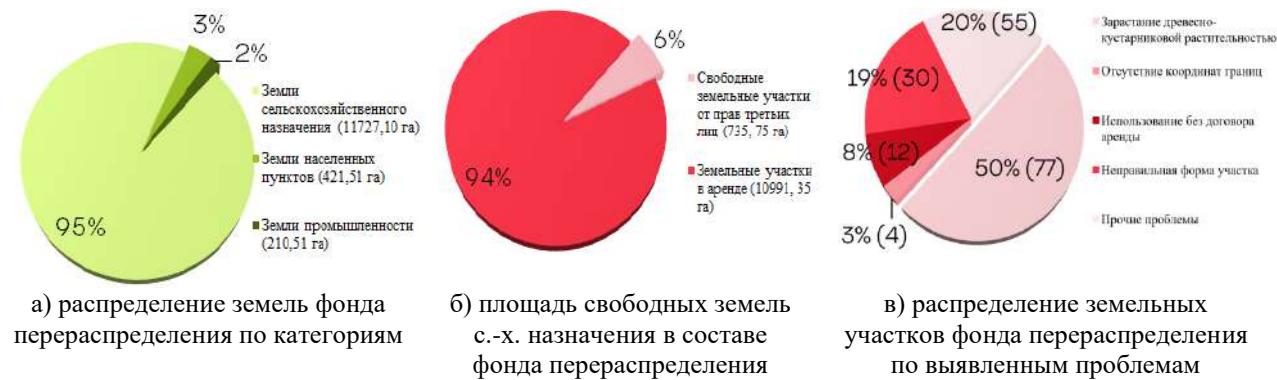


Рис. 2. Характеристика земель фонда перераспределения, расположенного в Абинском районе Краснодарского края

Fig. 2. Characteristics of the lands of the redistribution fund located in the Abinsky district of the Krasnodar territory

Из всех земель этой категории на 735,75 га (рис. 2б) не заключены договоры аренды, то есть эти земли не вовлечены в сельскохозяйственный оборот по различным причинам, отраженным на рисунке 2в. Потенциал фонда перераспределения земель используется лишь на 43,3 %.

Наши исследования показали, что 178 участков фонда площадью 735,7 га либо используются сельскохозяйственными организациями и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами без надлежащего оформления документов, либо не используются совсем. Это приводит к потере урожайности и чистого дохода с этих земель. Ежегодно с участков пашни фонда перераспределения, не вовлеченных в сельскохозяйственный оборот, не дополучают 3774,91 т сельскохозяйственной продукции на сумму 6,21 млн руб. (табл. 3).

Это происходит из-за отсутствия четких границ фонда в едином государственном реестре недвижимости (далее ЕГРН), неправильной/неудобной для обработки сельскохозяйственной техникой конфигурации участков или их зарастания древесно-кустарниковой растительностью [Barsukova et al., 2022; Барсукова и др., 2023].

Таблица 3
Table 3

Недополученная продукция с неиспользуемых земель фонда перераспределения
в Абинском районе, 2024 г.

Lost production from unused lands of the redistribution fund in the Abinsky district, 2024

| Культура | Доля культуры в структуре посевов, % | Площадь культуры в общей площади невостребованных земельных долей, га | Урожайность, ц/га | Цена реализации , руб./т | Недополученная продукция | |
|--|--|--|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | | | | | тонн | млн руб. |
| озимая пшеница | 21,71 | 159,76 | 66,40 | 1475,40 | 1060,80 | 1,57 |
| ячмень озимый и яровой | 5,40 | 39,74 | 54,00 | 2270,80 | 214,59 | 0,49 |
| кукуруза на зерно | 8,42 | 61,97 | 63,20 | 1324,80 | 391,68 | 0,52 |
| овес | 2,54 | 18,66 | 31,00 | 1159,40 | 57,86 | 0,07 |
| рис | 4,76 | 35,01 | 63,50 | 2825,10 | 222,29 | 0,63 |
| горох | 0,10 | 0,71 | 25,4 | 2568,2 | 1,81 | 0,00 |
| подсолнечник | 16,82 | 123,77 | 25,7 | 3324,1 | 318,09 | 1,06 |
| соя | 9,21 | 67,78 | 22,2 | 4822,4 | 150,47 | 0,73 |
| картофель, | 1,06 | 7,77 | 139,4 | 1550,3 | 108,30 | 0,17 |
| многолетние и однолетние травы на сено | 20,00 | 147,17 | 28,20 | 910,00 | 415,01 | 0,38 |
| кукуруза на силос и зеленый корм | 2,60 | 19,11 | 146,60 | 1324,80 | 280,16 | 0,37 |
| другие культуры | 7,38 | 54,30 | 102,00 | 424,00 | 553,84 | 0,23 |
| итого: | 100,00 | 735,75 | — | — | 3774,91 | 6,21 |

Некоторые земельные участки вообще отсутствуют в реестре недвижимости. Например, участок с кадастровым номером 23:01:0602005:11 предназначен для сельскохозяйственного использования, но не отражен в ЕГРН. Для решения этой проблемы необходимо провести кадастровые работы по уточнению границ неучтенных земельных участков и внести их в ЕГРН в соответствии с Федеральными законами № 218 «О государственной регистрации недвижимости» и № 221 «О кадастровой деятельности».

Некоторые земельные участки фонда перераспределения заросли древесно-кустарниковой растительностью (рис. 3), что снижает продуктивность этих земель и требует дополнительных затрат на восстановление их хозяйственной ценности.

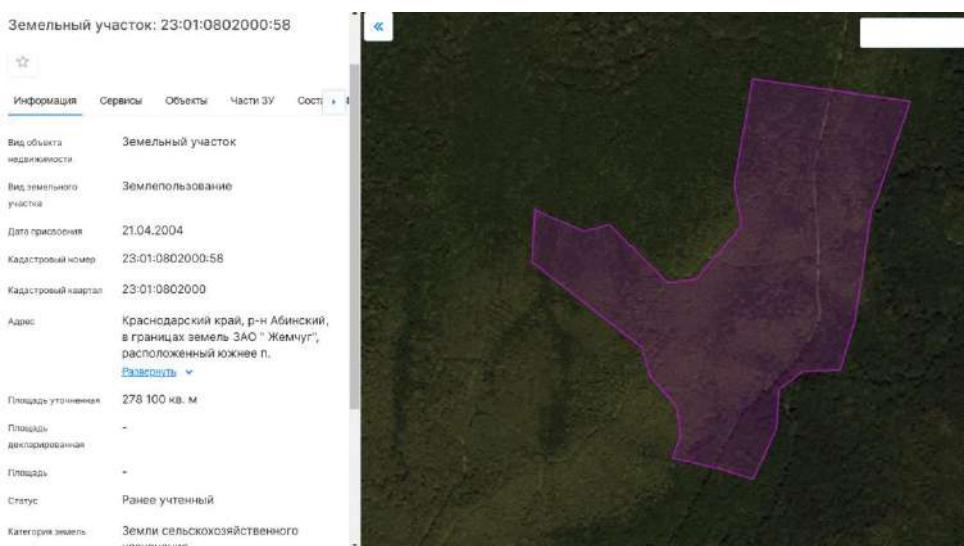


Рис. 3. Земельный участок фонда перераспределения,
заросший древесно-кустарниковой растительностью, 2025 г.
Fig. 3. Land plot of the redistribution fund overgrown with trees and shrubs, 2025

Вовлечь эти участки в активный сельскохозяйственный оборот можно после проведения культуртехнических мероприятий, обеспечивающих полную расчистку территории от древесно-кустарниковой растительности с последующей распашкой и внесением удобрений для восстановления плодородия [Barsukova et al., 2016b; Barsukova et al., 2020; Барсукова и др., 2022].

Экономическая эффективность предложенных мер подтверждается расчетами. Например, для участка 23:01:0802000:58 площадью 27,81 га капитальные вложения на культуртехнические работы составят 1,76 млн руб. (63 435 руб/га). В результате валовой сбор озимой пшеницы составит 1 799,31 ц/год, а чистый доход – 1,35 млн руб. при рентабельности 91,5 % и сроке окупаемости 1,3 года. Аналогичные результаты получены для участка 23:01:0802000:1082, площадью 4,5 га, где затраты на культуртехнические работы составили 309,3 тыс. руб., а чистый доход – 219,1 тыс. руб./год.

В ходе проведенного исследования был выявлен земельный участок пашни с кадастровым номером 23:01:0602003:1 площадью 206,9 га (рис. 4). По данным департамента имущественных отношений Краснодарского края на этот участок нет договора аренды. А по космическим снимкам участок имеет признаки активного сельскохозяйственного использования: агротехническое состояние пахотных угодий соответствует параметрам интенсивного земледелия, отсутствует сорная и древесно-кустарниковая растительность. На все подобные земельные участки, используемые незаконно без оформления документов, требуется оформление договора аренды [Деревенец, 2024].

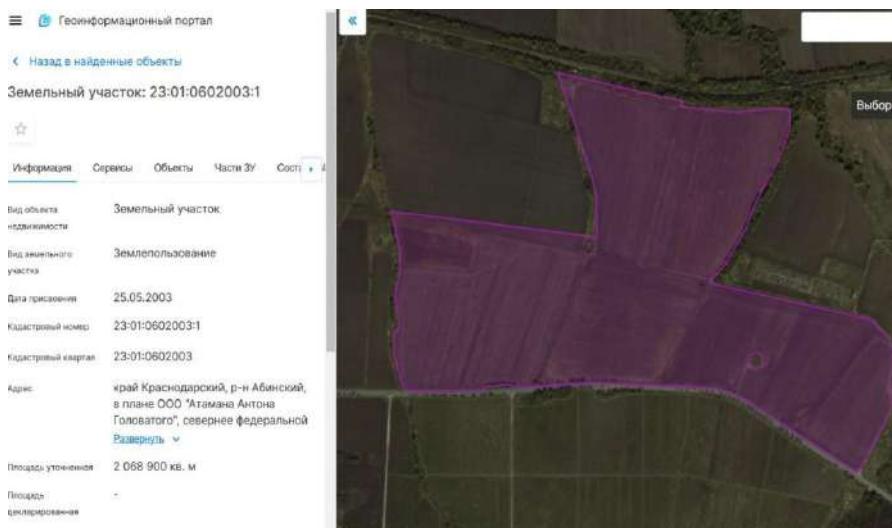


Рис. 4. Земельный участок фонда перераспределения, используемый без оформления договора аренды
Fig. 4. Land plot of the redistribution fund used without a lease agreement

По нашему мнению, это связано с отсутствием в общем доступе сведений о каждом земельном участке фонда перераспределения в разрезе муниципальных образований региона. Предлагаем создать на Публичной кадастровой карте цифровой ГИС-слой с границами всех земельных участков фонда перераспределения. Это повысит прозрачность и доступность информации для потенциальных арендаторов и позволит им быстро находить сведения о свободных от аренды участках фонда перераспределения [Радчевский и др., 2020].

Экономическая эффективность проведения культуртехнических работ подтверждает целесообразность инвестиций в восстановлении выбывших из оборота земель. Таким образом, предложенные мероприятия обеспечат не только экономическую выгоду, но и будут способствовать устойчивому развитию сельских территорий, что соответствует целям государственной политики в области землепользования [Артемова и др. 2023; Artemova et al., 2024].

Заключение

Для вовлечения в Абинском районе 735,7 га неиспользуемых земельных участков фонда перераспределения в сельскохозяйственный оборот необходимо:

- 1) внести все участки в ЕГРН, уточнить границы с помощью геодезических работ;
- 2) на публичной кадастровой карте создать ГИС-слой «Фонд перераспределения земель» с информацией о статусе, площади, границах земельных участков фонда перераспределения, чтобы потенциальные арендаторы могли быстро получать нужную информацию;
- 3) создать экономические стимулы для арендаторов, готовых восстановить заросшие древесно-кустарниковой растительностью земли фонда перераспределения, например, ввести льготные ставки по арендной плате;
- 4) разработать и принять программу по субсидированию мероприятий по проведению культуртехнических работ на земельных участках фонда перераспределения.

Вовлечение всех неиспользуемых земель фонда позволит ежегодно получать дополнительно валовой продукции на сумму более 6 млн руб. и обеспечит ежегодно сбор арендной платы на сумму 300 тыс. руб., которая будет поступать в бюджет региона.

Результаты исследования могут быть масштабированы на другие регионы с аналогичными проблемами, способствуя достижению национальных целей в области продовольственной безопасности и устойчивого развития сельских территорий.

Список источников

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 году. Электронный ресурс. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/410403214/> (дата обращения 27.05.2025).

Публичная кадастровая карта. Электронный ресурс. URL: <https://nspd.gov.ru/map?thematic=ПКК> (дата обращения 09.04.2025).

Список литературы

- Артемова Е.И., Плотникова Е.В., Барсукова Г.Н. 2025. Управление комплексным развитием сельских территорий в условиях ресурсных ограничений. Краснодар, КубГАУ, 161 с.
- Артемова Е.И., Барсукова Г.Н., Литра Е.Н., Скоморощенко А.А., Юрченко К.А. 2023. Управление ресурсным потенциалом сельских территорий Краснодарского края. Краснодар, КубГАУ, 207 с.
- Барсукова Г.Н., Сайфетдинов А.Р., Деревенец Д.К. 2023. Экономическая эффективность инвестиционного проекта по закладке (восстановлению) полезащитных лесных полос в МО Динской район. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 5: 283–289. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2305-03>
- Барсукова Г.Н., Шеуджен З.Р., Деревенец Д.К. 2022. Методика, результаты и перспективы проведения работ по государственному мониторингу земель сельскохозяйственного назначения в Краснодарском крае. Столыпинский вестник, 4(1): 6. https://doi.org/10.55186/27131424_2022_4_1_4
- Волков С.Н., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Киевская Е.С., Клюшин П.В., Пименов В.В., Семочкин В.Н., Федоринов А.В., Скубиеv С.И., Савинова С.В., Черкашин К.И., Лепехин П.П., Широков Р.С. 2020. Землестроительное обеспечение ввода в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации (теория и практика). Москва, Государственный университет по землеустройству, 484 с.
- Деревенец Д.К. 2024. Особенности процесса воспроизведения земельных ресурсов в аграрном производстве. Вестник аграрной науки, 1(106): 115–123.
- Колиева А.Э. 2024. Проблемы изменения целевого использования земельных участков. Аграрное и земельное право, 7(235): 112–114. https://doi.org/10.47643/1815-1329_2024_7_112
- Липски С.А., Фаткулина А.В. 2025. Проблемы правового обеспечения реализации мер по вовлечению в оборот заброшенных сельхозугодий и невостребованных земельных долей. Имущественные отношения в Российской Федерации, 1(280): 63–71.
- Радчевский Н.М., Юрченко К.А., Пощенко Д.А. 2020. Использование земель фонда перераспределения в Краснодарском крае. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 1(180): 12–16.



- Хлыстун В.Н. 2024. Исторические предпосылки и современные проблемы вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, 5: 14–20. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2024-0-5-14-20>
- Юрченко К.А. 2016. Вовлечение в сельскохозяйственный оборот невостребованных земельных долей в Краснодарском крае. Агропродовольственная политика России, 8(56): 33–37.
- Artemova E., Barsukova G., Derevenets D. 2024. Increasing the Efficiency of Land Use as a Condition of Ensuring Sustainable Development of Rural Areas. In: Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024). IV International Conference, Smolensk, 11–14 March 2024. Smolensk, EDP Sciences, Vol. 510: 1042.
- Barsukova G.N. 2016. Appraisal of the Results of the Modern Land Reform of the Russian Federation Based on Tendency to Deformation of the Agricultural Area. British Journal for Social and Economic Research, 1(1): 13–22.
- Barsukova G.N., Radchevskiy N.M., Saifetdinova N.R., Bershitskiy Y.I., Paramonov P.F. 2016a. Problems and Prospects of the Land Market Development in Russia. International Journal of Economics and Financial Issues, 6(4): 1981–1997.
- Barsukova G.N., Mironenko L.A., Yurchenko K.A. 2016b. Modeling of the Planting Acreage Structure with Regard to a Maintenance of the Soil Fertility. British Journal for Social and Economic Research, 1(2): 39–47.
- Barsukova G.N., Bershitskiy Y.I., Vlasenko V.P., Bagmut A.A., Rysmyatov A.Z. 2020. Soil and Economic Substantiation of the Need for Switching to the Adaptive-Landscape Systems of Agriculture in the Krasnodar Krai. Journal of Ecological Engineering, 21(4): 94–102. <https://doi.org/10.12911/22998993/119805>
- Barsukova G.N., Derevenets D.K., Litra E.N. 2022. Ecological Factors of Increasing the Efficiency of the Use and Protection of Protective Forest Strips. In: Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. International Scientific and Practical Conference, Saratov, 20–24 October 2021. London, IOP Publishing Ltd: 012182. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012182>
- Lipski S.A. 2015. About Market of Agricultural Lands in Modern Rossia. Agriculture, forestry and water management, 4(43): 36–42.

References

- Artemova E.I., Plotnikova E.V., Barsukova G.N. 2025. Upravleniye kompleksnym razvitiyem selskikh territoriy v usloviyakh resursnykh ogranicheniy [Managing the Integrated Development of Rural Areas in the Context of Resource Constraints]. Krasnodar, Pabl. KubGAU, 161 p.
- Artemova E.I., Barsukova G.N., Litra E.N., Skomoroshchenko A.A., Yurchenko K.A. 2023. Upravleniye resursnym potentsialom selskikh territoriy Krasnodarskogo kraya [Resource Potential Management of Rural Areas in Krasnodar Krai]. Krasnodar, Pabl. KubGAU, 207 p.
- Barsukova G.N., Saifetdinov A.R., Derevenets D.K. 2023. Economic Efficiency of an Investment Project for the Laying (Restoration) of Protective Forest Strips in the Dinsk District. Land Management, Monitoring and Cadastre, 5: 283–289 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-04-2305-03>
- Barsukova G.N., Sheudzhen Z.R., Derevenets D.K. 2022. Methodology, Results and Prospects of State Monitoring of Agricultural Land in Krasnodar Territory. Stolypin Bulletin, 4(1): 6 (in Russian). https://doi.org/10.55186/27131424_2022_4_1_4
- Volkov S.N., Cherkashina E.V., Shapovalov D.A., Kievskaya E.S., Klyushin P.V., Pimenov V.V., Semochkin V.N., Fedorinov A.V., Skubiev S.I., Savinova S.V., Cherkashin K.I., Lepekhin P.P., Shirokov R.S. 2020. Zemleustroitelnoye obespecheniye vvoda v khozyaystvennyy oborot neispolzuyemykh zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii (teoriya i praktika) [Land Management Support for the Putting Unused Agricultural Lands of the Russian Federation into Economic Circulation (Theory and Practice)]. Moscow, Pabl. Gosudarstvenny universitet po zemleustroystvu, 484 p.
- Derevenets D.K. 2024. Features of the Process of Reproduction of Land Resources in Agricultural Production. Bulletin of agrarian science, 1(106): 115–123 (in Russian).
- Kolieva A.E. 2024. Problems of Changing the Target Use of Land Plots. Agrarian and land law, 7(235): 112–114 (in Russian). https://doi.org/10.47643/1815-1329_2024_7_112
- Lipski S.A., Fatkulina A.V. 2025. Problems of Legal Support for the Implementation of Measures to Bring Abandoned Agricultural Land and Unclaimed Land Shares Into Circulation. Property Relations in the Russian Federation, 1(280): 63–71 (in Russian).

- Radchevsky N.M., Yurchenko K.A., Poshchenko D.A. 2020. Land Redistribution Fund in the Krasnodar Territory. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 1(180): 12–16 (in Russian).
- Khlystun V.N. 2024. Historical Background and Modern Problems of Involving Unused Agricultural Land in Circulation. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*, 5: 14–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2024-0-5-14-20>
- Yurchenko K.A. 2016. Vovlecheniye v selskokhozyaystvennyy oborot nevostrebovannykh zemelnykh doley v Krasnodarskom kraye [Reclaiming Unclaimed Land Shares in Krasnodar Krai for Agricultural Use]. *Agroprodovolstvennaya politika Rossii*, 8(56): 33–37.
- Artemova E., Barsukova G., Derevenets D. 2024. Increasing the Efficiency of Land Use as a Condition of Ensuring Sustainable Development of Rural Areas. In: *Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024)*. IV International Conference, Smolensk, 11–14 March 2024. Smolensk, EDP Sciences, Vol. 510: 1042.
- Barsukova G.N. 2016. Appraisal of the Results of the Modern Land Reform of the Russian Federation Based on Tendency to Deformation of the Agricultural Area. *British Journal for Social and Economic Research*, 1(1): 13–22.
- Barsukova G.N., Radchevskiy N.M., Saifetdinova N.R., Bershitskiy Y.I., Paramonov P.F. 2016a. Problems and Prospects of the Land Market Development in Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(4): 1981–1997.
- Barsukova G.N., Mironenko L.A., Yurchenko K.A. 2016b. Modeling of the Planting Acreage Structure with Regard to a Maintenance of the Soil Fertility. *British Journal for Social and Economic Research*, 1(2): 39–47.
- Barsukova G.N., Bershitskiy Y.I., Vlasenko V.P., Bagmut A.A., Rysmyatov A.Z. 2020. Soil and Economic Substantiation of the Need for Switching to the Adaptive-Landscape Systems of Agriculture in the Krasnodar Krai. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4): 94–102. <https://doi.org/10.12911/22998993/119805>
- Barsukova G.N., Derevenets D.K., Litra E.N. 2022. Ecological Factors of Increasing the Efficiency of the Use and Protection of Protective Forest Strips. In: *Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture*. International Scientific and Practical Conference, Saratov, 20–24 October 2021. London, IOP Publishing Ltd: 012182. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012182>
- Lipski S.A. 2015. About Market of Agricultural Lands in Modern Russia. *Agriculture, forestry and water management*, 4(43): 36–42.

Поступила в редакцию 29.04.2025;
поступила после рецензирования 27.05.2025;
принята к публикации 02.08.2025

Received April 29, 2025;
Revised May 27, 2025;
Accepted August 02, 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

Максименко Екатерина Владимировна, студентка землеустроительного факультета, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

Юрченко Ксения Александровна, кандидат экономических наук, доцент ВАК, доцент кафедры землеустройства и земельного кадастра, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina V. Maksimenko, Student of the Land Management Faculty, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Ksenia A. Yurchenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Management and Land Cadastre, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia



УДК 379.853

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-4

EDN XKCWYG

Велосипедный туризм как подход к устойчивому развитию дестинации

Сарафанов А.А., Сарафанова А.Г.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 199991, г. Москва, Ленинские горы, 1

alexssarafanov@mail.ru, anastasyast@yandex.ru

Аннотация. Туризм – это индустрия с оборотом в триллионы долларов, а устойчивое развитие является основным вопросом туристской отрасли в последнюю эпоху. Устойчивый туризм охватывает социальные, культурные, экономические и экологические аспекты развития. В этой статье основное внимание уделяется велотуризму и его возможности пропагандировать зеленый «медленный» туризм. Цель данной статьи – изучить велосипедный туризм и показать потенциал веломаршрутов, так как они стали альтернативным и экологичным способом передвижения во время отдыха. Задача – изучить возможность диверсификации туристского потока, применяя велосипедный транспорт. Анализируя поисковые данные, авторы приводят определение велотуризма, характеризуют основные мотивы участия в веломероприятиях, выявляют классификацию и типологию велотуристов, характеризуют профиль велосипедных путешественников. Актуальность исследования обосновывается необходимостью систематизации информации по велотуризму как альтернативному виду туризма, способствующему развитию отдаленных территорий. В статье основное внимание уделяется России, где использование велосипедов в туристических целях резко возросло за последние годы. С 2020 года велоинфраструктура увеличилась вдвое. Авторы характеризуют рынок велотуризма Москвы, который способствует решению вопросов устойчивого развития путем сочетания экологичных транспортных средств при посещении городской среды. Рассмотрены некоторые примеры веломаршрутов («Зеленое кольцо», «Вело 1») и велодорог («Центральный маршрут», «Главная столичная велодорога», «Ночной веломаршрут от Москва-Сити до Красной площади»).

Ключевые слова: велотуризм, туристская дестинация, велосипедный маршрут, велотурист, устойчивое развитие

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания географического факультета и НИР «Факторы и механизмы территориальной организации устойчивого развития туризма и рекреации» (ЦИТИС 121051400059-6) в МГУ имени М.В. Ломоносова.

Для цитирования: Сарафанов А.А., Сарафанова А.Г. 2025. Велосипедный туризм как подход к устойчивому развитию дестинации. Региональные геосистемы, 49(3): 840–850. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-4 EDN: XKCWYG

Cycling Tourism as an Approach to Sustainable Development of Destinations

Alexander A. Sarafanov, Anastasiya G. Sarafanova

Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie gory St., Moscow, 199991, Russia

alexssarafanov@mail.ru, anastasyast@yandex.ru

Abstract. Tourism is a trillion-dollar industry, and sustainable development has become its major issue in recent years. Sustainable tourism covers social, cultural, economic, and environmental aspects of

© Сарафанов А.А., Сарафанова А.Г., 2025

development. This article focuses on bicycle tourism and its potential to promote slow green tourism. The aim of the study is to investigate bicycle tourism and show the potential of bicycle routes as an alternative and environmentally friendly way of leisure traveling. The objective is to explore the possibility of diversifying the tourist flow by using bicycle transport. The relevance of the study is justified by the need to systematize information on bicycle tourism as an alternative type of tourism that contributes to the development of remote areas. Having analyzed the search data, the authors provide a definition of bicycle tourism, characterize the main motives for participating in a cycling event, identify the classification and typology of bicycle tourists, and characterize the profile of bicycle travelers. The research material mainly includes data on cycling tourism in Russia where the use of bicycles for tourism purposes has increased dramatically in recent years, with cycling infrastructure reaching a two-fold increase over the past four years. The authors characterize the Moscow cycling tourism market that contributes to solving sustainable development issues by combining environmentally friendly means of transport when visiting the urban environment. Some examples of cycling routes (Green Ring, Velo 1) and bikeways (Central Route, Main Capital Cycle Road, Night Cycle Route from Moscow-City to Red Square) are considered.

Keywords: cycling tourism, tourist destination, cycling route, cycling tourist, sustainable development

Acknowledgments: the study was conducted within the framework of the state assignment “Factors and mechanisms of tourism and recreation territorial organization for sustainable development” (121051400059-6) and the research work of the Faculty of Geography at Lomonosov Moscow State University.

For citation: Sarafanov A.A., Sarafanova A.G. 2025. Cycling Tourism as an Approach to Sustainable Development of Destinations. Regional Geosystems, 49(3): 840–850 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-4 EDN: XKCWYG

Введение

Если говорить о природно-ориентированном туризме на равнине, то по мнению Зырянова А.И. и Емельяновой Н.А. [2012] можно применить термин равнинный туризм. Такое понятие не встречается в туристских классификациях, чаще употребляется горный, велосипедный, пешеходный и т.д. Авторы говорят о новой системе «организации и координации туристско-рекреационной деятельности, которую необходимо наладить при дефиците таких ярких природных ресурсов, которые характерны для горных пространств, и при высокой степени потребности».

Спортивный туризм можно определить, как «спортивное путешествие вдали от домашней обстановки на ограниченное время, где спорт характеризуется уникальными наборами правил, соревнованием, связанным с физической нагрузкой и игрой» [Hinch, Higham, 2001]. Велосипедный туризм, подвид спортивного туризма, определяется Lamont M. [2009] как: «поездки вдали от родного региона с активным или пассивным участием в велоспорте в качестве основной цели». Это определение охватывает пассивных туристов, зрителей гонок и активных участников соревновательных и несоревновательных веломероприятий. Пономарева И.Ю. и Кузьмина В.А. [2024] отмечают, что этот вид путешествий классифицируется критерием «туризм по способу передвижения».

В 1869 году британская группа добралась из Лондона в Брайтон за 15 часов, преодолев 83 км. Это было великим событием. Спустя 150 лет счет велотуристов идет на миллионы. Мировые велофестивали и мероприятия были одними из факторов, способствующих формированию культуры велоспорта. Например, в 1903 году была проведена первая гонка *Tour de France*, самая важная многодневная велогонка в мире на сегодняшний день. После Европейский союз сформулировал политику в области туризма, в рамках которой поддерживал велотуризм как форму устойчивого туризма и финансировал несколько проектов, направленных на его развитие. Среди этих проектов было расширение сети *EuroVelo*.

2012 год ознаменовал собой важную веху в развитии культуры велоспорта с Олимпийскими играми в Лондоне. Благодаря «эффекту олимпийского велоспорта» данный вид спорта стал по-настоящему мейнстримным занятием.

Велотуризм включает рекреационные однодневные велопрогулки и дальние туристические велоотпуска. Велосипедистами будут считаться те туристы, которые путешествуют в регион, отличный от их собственного, на период более 24 часов или с ночевкой, и для которых велосипед является основной частью поездки, первоочередной мотивацией является участие в каком-либо виде деятельности, связанной с велоспортом и туризмом.

Ritchie B.W., Tkaczynski A. и Faulks P. [2010] определили велопутешествия как форму «туризма, которая включает в себя просмотр или участие в велосипедном мероприятии или в независимом/организованном велотуре».

Число проэкологически настроенных велотуристов неуклонно растет и в городском туризме. Велотурист рассматривается как медленный турист, посещающий разнообразные места, взаимодействующий с местными жителями и культурой, наслаждающийся местной едой и стимулирующий развитие инфраструктуры, такой как мастерские по ремонту велосипедов и размещение, удобное для велосипедистов [Сарафанов, Сарафанова, 2021].

Велосипеды обеспечивают экологически чистые, здоровые и естественные впечатления от путешествий [Pantelaki et al., 2023]. А велотуристы рассматриваются как «зеленые» путешественники. Хотя использование автомобилей по-прежнему доминирует над более устойчивыми способами передвижения во многих странах, число туристов, которые решают провести часть своего отпуска, используя велосипеды, увеличивается.

С экономической точки зрения, это может быть эффективным способом продления пикового сезона в туристических направлениях, возрождения экономической деятельности и повышения уровня местной занятости. Что касается экологических проблем, велотуризм совместим с сокращением выбросов парниковых газов, происходящих в транспортной системе. Наконец, с социальной точки зрения, прямой контакт туристов с местными сообществами – это прекрасная возможность для межличностного взаимодействия и обмена опытом.

Инфраструктура велосипедного транспорта включает: туристические маршруты, велосипедные дорожки, стоянки и парковки для велосипедов. Важными атрибутами являются пейзажи, общая безопасность дорожного движения (т.е. альтернативные маршруты к основным сельским автомагистралям), размещение, прокат/ремонтные мастерские велосипедов и общественный связующий транспорт.

Zhu S. [2022] описывает маршрут велотуристов как посещение максимально интересных точек, минимизация общего времени в пути, требуемый уровень обслуживания велосипедистов, сокращение количества перекрестков на выбранных веломаршрутах.

Шкала спортивной мотивации была разработана для измерения различных типов мотивации в спорте [Pelletier et al., 2013]. Инструмент *Cyclist Motivation (CMI)* был создан специально для велосипедного спорта [Brown et al., 2009]. Хотя окончательной классификации не существует, стоит выделить следующую типологию велопутешественников:

- Велосипедисты, участвующие в соревнованиях;
- Велосипедисты-любители;
- Велосипедисты, занимающиеся велоспортом на дальние дистанции;
- Городские или ежедневные велосипедисты;
- Велосипедные туристы [Rejon-Guardia et al., 2023].

Существует пять категорий велотуристов на основе масштаба и продолжительности поездки, а также в зависимости от расстояния от дома:

- независимые (индивидуальные велотуристы);
- преследующие рекреационные цели;
- поездка на соревнования;

- участники веломероприятий;
- пассивное участие велотуристов [Pantelaki et al., 2023].

Профиль типичных велотуристов состоит из людей с более высоким экономическим статусом, возраста от 35 до 45 лет, на 2/3 это мужчины. Европейский велотурист предпочитает путешествовать самостоятельно по дорогам с твердым покрытием, около недели, тратя в день примерно 128 евро. Если посмотреть на американского велотуриста, то они предпочитают горные веломаршруты в группе с гидом. Их траты составляют 207 евро в день. Целевая аудитория российского велотуризма: люди от 25 до 55 лет (70 % мужчины), маршрут длится около 5–6 дней. В 90 % случаев это самоорганизованные туристы, которые могут переночевать и в гостинице, и в палатках. Бюджет 3–4 тыс. руб. в сутки.

Туризм наиболее популярен в Европе (более 63 %), шоссейный велотуризм (14 %), горные веломаршруты (10 %). За пределами Европы горный велосипед забирает 34 %, туризм 29 % и шоссейный 20 % (табл. 1). Остальное приходится на смешанные типы (фэтбайки, электровелосипеды) или на комбинацию разных туротов. В России основной тип велосипеда – маунтинбайк.

Таблица 1
Table 1

Тип велосипеда, используемого велотуристами
Type of bicycle used by cyclists

| Тип велосипеда | Европейские страны, % | Страны, не входящие в ЕС, % |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Туристический велосипед (туризм) | 63 | 29 |
| Горный велосипед (маунтинбайк) | 10 | 34 |
| Дорожный велосипед | 14 | 20 |
| Гравийный велосипед | 2 | 7 |
| Городской велосипед | 5 | 5 |

Примечание: составлено авторами по [The European cycle ..., 2025].

Weed M. и другие [2014] выделяют типы велосипедных групп:

- Уезжающие на дальние расстояния в период отпуска;
- Уезжающие на близкие расстояния в период отпуска;
- Велотуристы;
- Однодневные туристы на дальние расстояния;
- Однодневные туристы на близкие расстояния;
- Не выезжающие далеко за пределы своего места проживания велопутешественники.

Для сравнения, европейские велотуристы предпочитают (около 80 %) недельный велотур (5–8 дней), тогда как около 50 % неевропейских туристов отдадут предпочтения такому туру. Примерно в равных количествах туристы за пределами Европы выбирают короткие туры (1–3 дня) и длинные маршруты (более 9 дней) [The European cycle ..., 2025].

Велосипедный транспорт может стать частью решения глобальных проблем в XXI веке. Путешествие на велосипеде является углеродно-нейтральным видом транспорта, что является эффективным инструментом в борьбе с изменением климата.

Авторами поставлена задача изучения возможности диверсифицировать туристский поток, применяя велосипед. Для стимулирования активного использования велосипедного транспорта на территории России достаточным основанием являются: постоянное затрудненное движение автомобилей, загрязнение воздуха углекислым газом, шум, общее ухудшение здоровья нации, увеличение затрат потребителей, труднодоступность (отсутствие асфальтового покрытия) части культурно-исторических достопримечательностей и ухудшение условий землепользования в результате постоянного использования автомобилей как превалирующего вида транспорта. При этом комфортный велотуризм невозможен без полноценной

инфраструктуры, поэтому вопросами организации городского пространства стали активно заниматься. Еще в 2014 году вступил в силу пункт 24 ПДД РФ «Дополнительные требования к движению велосипедистов и водителей мopedов». Активный образ жизни положительно оказывается на здоровье людей, а для его поощрения правительство организует регулярные спортивные мероприятия. Велотуризм – модель активного отдыха, объединяющая велоспорт и устойчивое развитие.

Объекты и методы исследования

В работе был принят индуктивный подход с использованием поисковых данных. В статье использовались научные труды как отечественных, так и зарубежных ученых. Объект исследования – велосипедный туризм. Предмет исследования – велотуризм Москвы. Практическая значимость состоит в анализе велосипедного туризма как одного из устойчивых видов туризма. Научная новизна исследования состоит в изучении варианта диверсификации туристского потока и способа развития, удаленных от транспортных узлов, территорий. В статье рассмотрены типы и виды велотуризма, классификация велотуристов, изучен профиль велосипедистов. Авторами поставлен исследовательский вопрос о необходимости развития устойчивых форм туризма, в том числе велосипедного. Драйверами развития велодвижения стали наличие велодорожек и соответствующая инфраструктура, доступность велотранспорта и заинтересованность населения в экологических видах отдыха. Основываясь на международной практике, Россия переняла опыт, начав с Санкт-Петербурга, Москвы, Омска и Тулы. Более детально в статье рассмотрена ситуация в Москве, так как в большинстве других регионов ситуация с велотуризмом более напряженная из-за нехватки средств на обеспечение подобной инфраструктуры.

Результаты и их обсуждение

Велотуризм в России – явление не самое заметное, но давно существующее и стабильно развивающееся. С 1996 года существует «Русский клуб велопутешествий», который входит в Европейскую Федерацию Велосипедистов. Всплеск велотуризма пришелся на 2020 год, как следствие ограничений на путешествия из-за пандемии *Covid-19*. В 2021 году КБ Стрелка начало разработку мегамаршрута между Москвой и Санкт-Петербургом «Вело 1», более 1000 км. Он охватит 300 населенных пунктов и более 400 культурно-исторических достопримечательностей. Именно антропогенные туристско-рекреационные ресурсы являются определяющим фактором туристской привлекательности дестинации [Ердавлетов и др., 2012]. Каждые 70–80 км предусмотрено место размещения. Проект планируется закончить в 2027 году.

Велотуризм не является исключительно внегородским туристическим явлением. Езда на велосипеде оказывает всестороннее влияние на туристические направления, преобразуя застроенную среду и замедляя городские маршруты. Колossalное число людей, вовлеченных в велотуризм, создают мощный экономический стимул для развития целого ряда индустрий, начиная с придорожных мастерских и кафе с отелями, заканчивая производством багажных сумок и навигаторов. Например, город Феррара в Италии считается столицей велоспорта, о чем свидетельствует табличка на въезде «Город велосипедов». Здесь велосипед – это образ жизни, а не только способ передвижения. В Москве же электровелосипеды стали повсеместным средством передвижения и активно используются при работе курьеров. Велотранспорт стал неотъемлемым атрибутом профессии. В Германии и Франции велосипед используют для передвижения к месту работы. На обычных велосипедах можно встретить именно любителей велоспорта. Однако, например, на Кубе, существует велотакси, охватывающее весомую долю пассажироперевозок [Коростелева, Нестеренко, 2016].

После внедрения региональной сети велосипедных дорожек различные зоны отдыха значительно повысили свой уровень доступности. В России один из примеров регионального веломаршрута – Золотое кольцо, Владимирская и Ярославская области, протяженностью 240 км. Акцент с культурно-исторических достопримечательностей переключается на природную аттракцию. Вариантов самого маршрута много, например, начать с Владимира с центра города, затем Сузdalь, далее Ростово-Сузdalский тракт, вдоль озера Неро и Ростовского Кремля, после в Ярославль на набережную и к месту слияния Волги и Которосли (Стрелка).

В 2024 году велополосы появились на маршруте, который соединяет Комсомольскую площадь с Белорусским вокзалом. Соединение разбросанных велосипедных маршрутов через транспортные инфраструктуры и системы помогают создать уникальные возможности для местной экономики. В Москве маршрут «Зеленое кольцо» связывает 32 парка и 29 транспортно-пересадочных узлов – станции метро, Московское центральное кольцо и Московские центральные диаметры (рис. 1). За 2024 год велосипедисты совершили по «Зеленому кольцу» более 100 тыс. поездок.



Рис. 1. Кольцевой веломаршрут «Зеленое кольцо», 2025 год
[Веломаршрут «Зеленое кольцо», 2025]

Fig. 1. The Green Ring circular bicycle route, 2025 [Green Ring Cycling Route, 2025]

Среди московских велодорог стоит выделить (рис. 2):

- Главная столичная велодорога (16 км) от парка Горького до парка Победы;
- Центральный маршрут (9 км) от Рождественского бульвара до сада Эрмитаж;
- По набережным Москвы-реки (29 км);
- По окрестностям МГУ имени М.В. Ломоносова, от метро Университет до Ботанического сада;
- От Большого Устьинского моста до парка Сокольники (7 км);
- 5 московских парков (33 км): Екатерининский парк на Проспекте мира, Музеон, Парк Горького, Нескучный сад и Пресненский парк;
- От ВДНХ до Останкино (13 км);

- Веломаршрут по национальному парку «Лосинный остров»;
- Велодорожки в парке «Фили» (8 км);
- Битцевский парк – улица Чертановская (7,5 км);
- Измайловский парк и парк Кузьминки;
- Ландшафтный парк Митино (4,5 км);
- Веломаршрут от Мытищ до парка Сокольники (20 км);
- Ночной веломаршрут от Москва-Сити до Красной площади (9 км).

Столица России – удобный и комфортный город для веломаршрутов. Здесь наиболее протяженная сеть велодорожек. В 2023 году в Москве протяженность велополос превысила 500 км. В среднем каждый год длина велодорожек увеличивалась на 70 км (табл. 2). Большая часть (около 80 %) приходится на велопешеходные дорожки, 20 % – велополосы, которые отмечены на проезжей части разметкой. В 2024 году в Москве обустроили велоинфраструктуру на 90 улицах: 12 новых велодорожек, 16 постоянных велополос, 8 велопешеходных дорожек, четыре велозоны и три зоны со совмещенным движением.

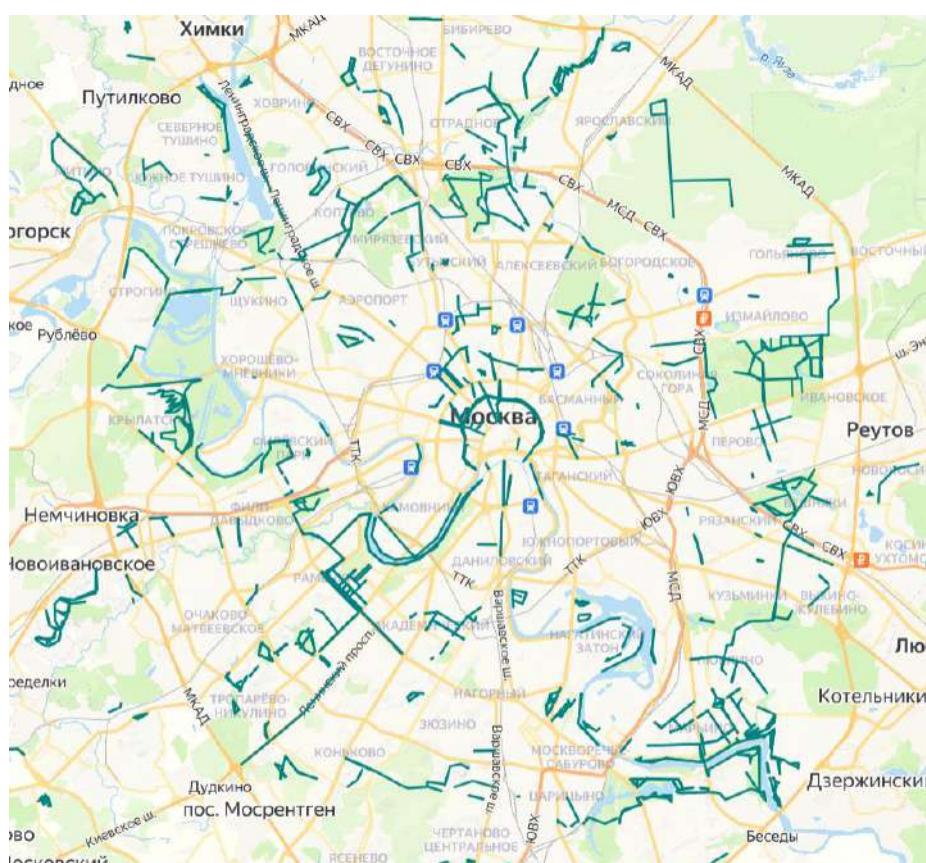


Рис. 2. Велодорожки Москвы, 2025 год [Велодорожки. Московский транспорт, 2025]
Fig. 2. Moscow bike paths, 2025 [Bicycle paths. Moscow transport, 2025]

Таблица 2
Table 2

Протяженность велодорожек по годам в Москве, км
Length of bicycle paths by year in Moscow, km

| Год | Длина велодорожек, км |
|------|-----------------------|
| 2020 | 333 |
| 2023 | 522 |
| 2024 | 611 |

Примечание: Составлено авторами по данным [К лету в Москве проложат..., 2025]

Популяризация велоспорта связана с:

- инвестированием в строительство велосипедной инфраструктуры;
- содействием созданию устойчивой транспортной системы путем продвижения городского велосипедного движения как альтернативного вида транспорта;
- продвижением культуры велоспорта и увеличением велосипедной инфраструктуры [Mazzulla et al., 2021].

Объем рынка велотуризма значительно увеличился за последние годы. Он вырастет со 115,44 млрд долларов США в 2024 году до 126,09 млрд долларов США в 2025 году при совокупном годовом темпе роста 9,2 % (рис. 3). Рост обусловлен спросом на экологичные путешествия, осознанием важности здоровья, расширением велосипедной инфраструктуры, в том числе количеством электровелосипедов и государственной поддержкой устойчивого транспорта.

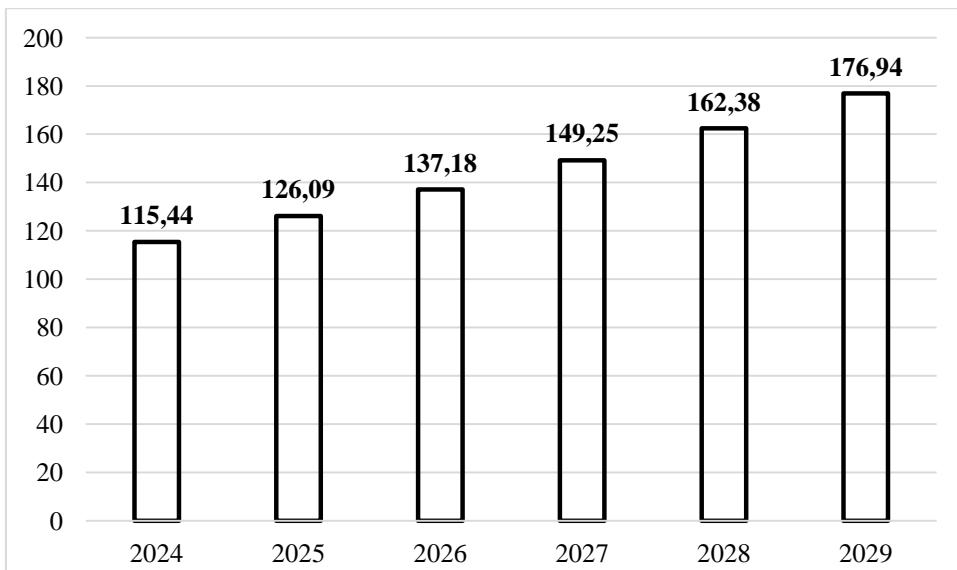


Рис. 3. Объем рынка велотуризма, в млрд долларах США [Cycling tourism ..., 2025]

Fig. 3. Cycling tourism market size, in billion US dollars [Cycling tourism ..., 2025]

Однако у рынка велоспорта есть и проблемы:

- Стоимость аренды велосипеда. Цены завышены, особенно по сравнению с европейскими странами. К примеру, в Голландии аренда велосипеда на 24 часа стоит 11 евро, что в два раза дешевле, чем в Москве [Шульгина, Сергеев, 2016].
 - Сезонность велоспорта – в зимний период он недоступен.
 - Отсутствие полной информации о существующих веломаршрутах по территории России.
 - Разрозненность целевой аудитории, в том числе различный уровень физической подготовки.
 - Почти нет инфраструктуры целенаправленно для велотуристов (нет кемпингов и дешевых гостиниц).
 - Нехватка кадрового состава.
 - Отсутствие поддержки со стороны государственных органов и другие внешние бизнес-проблемы.
 - Изменение климата (наводнения, пожары и т.д.).
- Недостаточный уровень качества и логистический аспект туров.

Заключение

Велотуризм способствует устойчивому развитию будущих городов, продвигая растущую модель активного отдыха в трехгранной плоскости «инфраструктура-люди-окружающая среда», кроме того способствует сокращению выбросов углекислого газа, сохранению ресурсов и поддержки местных экосистем. Велосипеды приобрели популярность в туризме, поскольку они обеспечивают экологически чистые, здоровые и естественные впечатления от путешествий. Каждый год в Москве обустраивают более 90 км велоинфраструктуры, на сегодняшний день ее в два раза больше, чем четыре года назад. Тогда большая часть велодорог находилась на территории парков и только треть на городских улицах. Именно веломаршруты позволяют решить проблему районной связности: из одного района в другой через лесопарковую зону. Активно идет обустройство велопарковок. Одной из задач правительства Москвы является повышение мобильности граждан, в том числе пропагандирование физической активности, а это возможно путем развития велотуризма. Проанализировав ситуацию с велосипедным туризмом в Москве, авторы пришли к выводу, что медленное путешествие стало способом посещения мест с использованием менее загрязняющих видов транспорта (несмотря на то, что рекреационная езда на велосипеде может варьироваться от случайной прогулки на половину дня до дальнего туристического отпуска), а растущая тенденция экологически чистых путешествий будет стимулировать рост рынка велосипедного туризма.

Список источников

- Велодорожки. Московский транспорт. Электронный ресурс. URL: <https://transport.mos.ru/bicycle/bicyclelane> (дата обращения 12.03.2025).
- Веломаршрут «Зеленое кольцо». Электронный ресурс. URL: <https://gucodd.ru/green-ring#/tab/778168101-3> (дата обращения 12.03.2025).
- К лету в Москве проложат 89 километров новых велополос. RGRU. Электронный ресурс. URL: <https://rg.ru/2024/04/01/reg-cfo/katites-svoej-dorogoj.html> (дата обращения 27.02.2025).
- Cycling tourism market definition. The Business Research company. Electronic resource. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/cycling-tourism-global-market-report> (date of access 22.04.2025).
- The European cycle route network. Eurovelo. Electronic resource. URL: <https://en.eurovelo.com/> (date of access 12.03.2025).

Список литературы

- Ердавлетов С.Р., Артемьев А.М., Актымбаева А.С., Айжолова Г.Р. 2012. Социально-экономические предпосылки развития рекреации и туризма в локальной туристско-рекреационной системе Алакольского бассейна. Географический вестник, 4(23): 81–85.
- Зырянов А.И., Емельянова Н.А. 2012. Равнинный туризм. Географический вестник, 4(23): 85–88.
- Коростелева Н.В., Нестеренко Е.В. 2016. Развитие велоинфраструктуры в городах как способ снижения негативного влияния транспортной системы на городскую среду. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 45(64): 149–157.
- Пономарева И.Ю., Кузьмина В.А. 2024. Велотуризм Тульской области: анализ велосреды и предпочтений потребителей. Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки, 3: 102–111. <https://doi.org/10.24412/2071-6141-2024-3-102-111>
- Сарафанов А.А., Сарафанова А.Г. 2021. Велотуризм как инструмент регионального развития. В кн.: Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. Материалы XVI Международной научно-практической конференции, г.о. Химки, 5 октября 2021. Химки, Университетская книга: 559–572.
- Шульгина А.Н., Сергеев А.А. 2016. Основные проблемы велоэкскурсий на рынке Москвы. Интерактивная наука, 10: 185–188. <https://doi.org/10.21661/r-115212>.

- Brown T.D., O'Connor J.P., Barkatsas A.N. 2009. Instrumentation and Motivations for Organised Cycling: The Development of the Cyclist Motivation Instrument (CMI). *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(2): 211–218.
- Hinch T.D., Higham J.E. 2001. Sport Tourism: A Framework for Research. *International Journal of Tourism Research*, 3(1): 45–58. [https://doi.org/10.1002/1522-1970\(200101/02\)3:13.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1522-1970(200101/02)3:13.0.CO;2-A).
- Lamont M. 2009. Reinventing the Wheel: A Definitional Discussion of Bicycle Tourism. *Journal of Sport & Tourism*, 14(1): 5–23. <https://doi.org/10.1080/14775080902847363>.
- Mazzulla G., Bellizzi M.G., Eboli L., Forciniti C. 2021. Cycling for a Sustainable Touristic Mobility: A Preliminary Study in an Urban Area of Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24): 13375. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413375>.
- Pantelaki E., Crotti D., Maggi E. 2023. Cycling Tourism in Italy: Multimodal Transport Behaviours in a Latent Class Analysis. *Research in Transportation Business & Management*, 48: 100861. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100861>.
- Pelletier L.G., Rocchi M.A., Vallerand R.J., Deci E.L., Ryan R.M. 2013. Validation of the Revised Sport Motivation Scale (SMS-II). *Psychology of Sport and Exercise*, 14(3): 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.12.002>.
- Rejon-Guardia F., Rialp-Criado J., Garcia-Sastre M.A. 2023. The Role of Motivations and Satisfaction in Repeat Participation in Cycling Tourism Events. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 43: 100664. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100664>.
- Ritchie B.W., Tkaczynski A., Faulks P. 2010. Understanding the Motivation and Travel Behavior of Cycle Tourists Using Involvement Profiles. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 27(4): 409–425. <https://doi.org/10.1080/10548408.2010.481582>.
- Weed M., Bull C., Brown M., Dowse S., Lovell J., Mansfield L., Wellard I. 2014. A Systematic Review and Meta-Analyses of the Potential Local Economic Impact of Tourism and Leisure Cycling and the Development of an Evidence-Based Market Segmentation. *Tourism Review International*, 18(1–2): 37–55. <https://doi.org/10.3727/154427214X13990420684482>.
- Zhu S. 2022. Multi-Objective Route Planning Problem for Cycle-Tourists. *Transportation Letters*, 14(3): 298–306. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1860355>.

References

- Erdavletov S.R., Artemyev A.M., Aktymbayeva A.S., Aizholova G.R. 2012. Social and Economic Preconditions of Recreational and Tourism Development in the Local Tourismrecreational System of Alakol Basin. *Geographical Bulletin*, 4(23): 81–85 (in Russian).
- Zyrianov A.I., Emelianova N.A. 2012. Plain Tourism. *Geographical Bulletin*, 4(23): 85–88 (in Russian).
- Korosteleva N.V., Nesterenko E.V. 2016. The Development of Bicycle Infrastructure in the Cities as a Way to Reduce the Negative Impact of the Transport System. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 45(64): 149–157 (in Russian).
- Ponomareva I.Yu., Kuzmina V.A. 2024. Cycling Tourism in the Tula Region: Analysis of the Cycling Environment and Consumer Preferences. *Izvestiya Tula State University. Humanitarian sciences*, 3: 102–111 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2071-6141-2024-3-102-111>
- Sarafanov A.A., Sarafanova A.G. 2021. Bike Tourism as a Tool for Regional Development. In: *Tourism and Recreation: Fundamental and Applied Research. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*, Khimki, 5 October 2021. Khimki, Pabl. Universitetskaya kniga: 559–572 (in Russian).
- Shulgina A.N., Sergeev A.A. 2016. The Main Problems of Cycling Excursions on the Moscow Market. *Interactive science*, 10: 185–188 (in Russian). <https://doi.org/10.21661/r-115212>.
- Brown T.D., O'Connor J.P., Barkatsas A.N. 2009. Instrumentation and Motivations for Organised Cycling: The Development of the Cyclist Motivation Instrument (CMI). *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(2): 211–218.
- Hinch T.D., Higham J.E. 2001. Sport Tourism: A Framework for Research. *International Journal of Tourism Research*, 3(1): 45–58. [https://doi.org/10.1002/1522-1970\(200101/02\)3:13.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1522-1970(200101/02)3:13.0.CO;2-A).
- Lamont M. 2009. Reinventing the Wheel: A Definitional Discussion of Bicycle Tourism. *Journal of Sport & Tourism*, 14(1): 5–23. <https://doi.org/10.1080/14775080902847363>.



- Mazzulla G., Bellizzi M.G., Eboli L., Forciniti C. 2021. Cycling for a Sustainable Touristic Mobility: A Preliminary Study in an Urban Area of Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(24): 13375. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413375>.
- Pantelaki E., Crotti D., Maggi E. 2023. Cycling Tourism in Italy: Multimodal Transport Behaviours in a Latent Class Analysis. Research in Transportation Business & Management, 48: 100861. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100861>.
- Pelletier L.G., Rocchi M.A., Vallerand R.J., Deci E.L., Ryan R.M. 2013. Validation of the Revised Sport Motivation Scale (SMS-II). Psychology of Sport and Exercise, 14(3): 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.12.002>.
- Rejon-Guardia F., Rialp-Criado J., Garcia-Sastre M.A. 2023. The Role of Motivations and Satisfaction in Repeat Participation in Cycling Tourism Events. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 43: 100664. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100664>.
- Ritchie B.W., Tkaczynski A., Faulks P. 2010. Understanding the Motivation and Travel Behavior of Cycle Tourists Using Involvement Profiles. Journal of Travel & Tourism Marketing, 27(4): 409–425. <https://doi.org/10.1080/10548408.2010.481582>.
- Weed M., Bull C., Brown M., Dowse S., Lovell J., Mansfield L., Wellard I. 2014. A Systematic Review and Meta-Analyses of the Potential Local Economic Impact of Tourism and Leisure Cycling and the Development of an Evidence-Based Market Segmentation. Tourism Review International, 18(1–2): 37–55. <https://doi.org/10.3727/154427214X13990420684482>.
- Zhu S. 2022. Multi-Objective Route Planning Problem for Cycle-Tourists. Transportation Letters, 14(3): 298–306. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1860355>.

Поступила в редакцию 27.05.2025;

Received May 27, 2025;

поступила после рецензирования 22.07.2025;

Revised July 22, 2025;

принята к публикации 26.08.2025

Accepted August 26, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Саранов Александр Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры рекреационной географии и туризма географического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Саранова Анастасия Геннадьевна, научный сотрудник кафедры рекреационной географии и туризма географического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander A. Sarafanov, Candidate in Engineering sciences, Senior Researcher, Department of Recreational Geography and Tourism, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Anastasiya G. Saranova, Research Assistant, Department of Recreational Geography and Tourism, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

УДК 338.48
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-5
EDN YKYBFH

Determinants of the Development of Gastrotourism in the North Kazakhstan Region

¹Sergey V. Pashkov, ²Natalya V. Zhukova, ³Semra Günay, ⁴Aigul M. Sergeyeva

¹M. Kozybayev North Kazakhstan University

86 Pushkin St., Petropavlovsk, 150000, Kazakhstan

²The First City Comprehensive IT Lyceum

196 Zh. Zhabayev St., Petropavlovsk, 150000, Kazakhstan

³Anadolu University

Yunus Emre Campus, Eskişehir, 26470, Türkiye

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University

2 Satpayev St., Astana, 010000, Kazakhstan

sergp2001@mail.ru, nata.ch999@mail.ru, semragunay@anadolu.edu.tr, aiko_sm@mail.ru

Abstract. In the context of current trends in the development of the service sector in the world and Kazakhstan, the article examines the potential for the development of the region's service sector through the diversification of gastronomic offerings. The object of the study is the North Kazakhstan region, a typical agricultural region of Kazakhstan with a maximum share of agriculture in the country (45 %) and a minimum share of a tourist product (0.8 %), the subject of the study is its gastronomic potential. The need to develop the non-manufacturing sector is explained by the fact that the region has become the country's anti-leader in terms of income, population decline, falling standards and quality of life in rural areas. Meanwhile, a powerful agricultural base combined with a multinational population and a rich cultural and historical heritage have formed a significant potential for an important component of the tertiary sector of the economy – gastronomic tourism. The study uses desk research methods (including a group of methods: historical and genetic ones, methods of content analysis, statistical analysis and observations), and the cartographic method. The key factors of gastronomic tourism development in the North Kazakhstan region have been identified: the agricultural specialization of the region, the preservation of ethnic culinary heritage, the formation of event activity and measures of state support for tourism. The authors have developed specific proposals for the development of gastronomic tourism and created a map of its promising centers.

Keywords: authentic gastronomy; gastrotourism, immersive experience, multicultural society, national cuisine, North Kazakhstan region

For citation: Pashkov S.V., Zhukova N.V., Günay S., Sergeyeva A.M. 2025. Determinants of the Development of Gastrotourism in the North Kazakhstan Region. Regional Geosystems, 49(4): 851–863.
DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-5 EDN: YKYBFH

Детерминанты развития гастротуризма Северо-Казахстанской области

¹Пашков С.В., ²Жукова Н.В., ³Гюнай С., ⁴Сергеева А.М.

¹Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева

Казахстан, 150000, Петропавловск, ул. Пушкина, 86

²Первый городской общеобразовательный ИТ-лицей

Казахстан, 150000, Петропавловск, ул. Ж.Жабаева, 196

³Анатолийский университет,

Турция, 26470, Эскишехир, кампус Юнуса Эмре

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

Казахстан, 010000, Астана, ул. Сатпаева, 2

sergp2001@mail.ru, nata.ch999@mail.ru, semragunay@anadolu.edu.tr, aiko_sm@mail.ru

Аннотация. В контексте современных тенденций развития сферы услуг в мире и Казахстане в статье рассматривается потенциал развития сектора услуг региона за счет диверсификации гастрономических предложений. Объектом исследования выступает Северо-Казахстанская область – типичный аграрный регион Казахстана с максимальной в стране долей в ВРП сельского хозяйства (45 %) и минимальной – туристского продукта (0,8 %), предметом исследования является его гастротуристический потенциал. Необходимость развития непроизводственной сферы обусловлена тем, что область стала антилидером в стране по уровню доходов населения, сокращению численности населения, падению стандартов и качества жизни в сельских районах. Между тем, мощная сельскохозяйственная база в сочетании с многонациональным населением и богатым культурно-историческим наследием сформировали значительный потенциал важной составляющей третичного сектора экономики – гастрономического туризма. В исследовании использованы методы кабинетного исследования (включающие группу методов: историко-генетический, контент-анализа, статистического анализа и наблюдений), картографический. Определены ключевые факторы развития гастрономического туризма Северо-Казахстанской области: аграрная специализация региона, сохранение этнического кулинарного наследия, формирование событийной активности и меры государственной поддержки туризма. Разработаны конкретные предложения по развитию гастрономического туризма, создана карта его перспективных центров.

Ключевые слова: аутентичная гастрономия, гастротуризм; иммерсивный опыт, мультикультурное общество, национальная кухня, Северо-Казахстанская область

Для цитирования: Пашков С.В., Жукова Н.В., Гюнай С., Сергеева А.М. 2025. Детерминанты развития гастротуризма Северо-Казахстанской области. Региональные геосистемы, 49(4): 851–863. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-5 EDN: YKYBFH

Introduction

In 2024, the global gross domestic product (GDP) amounted to USD 111.3 trillion, of which USD 11.1 trillion (10 %) was accounted for by the contribution of the travel and tourism sector [World Bank, 2025]. The spatial structure of tourism is heterogeneous, because tourist destinations generally show clustering and regional concentration. This clustering is affected by the natural environment, transportation, socio-economic development, as well as historical and cultural factors. The emergence of large regional differences in the spatial course of tourism developments is also reflected in the distribution of tourism revenues. Tourism revenues do not show a balanced distribution around the world. The reasons for such imbalance include geographical conditions [Aktaş, 2016], macroeconomic factors, taxation policies [Forsyth, Dwyer, 2002], and security. Tourism product diversification is very important to color the sector in areas where tourism supply is weak for a balanced distribution of tourism revenues. One type of tourism product is not enough to attract tourists from within and outside the country continuously. It is necessary to transform the existing tourism resources in a destination into a touristic attractive product. The main purpose of new tourism destinations and product supply is to constantly create excitement as a tourist attraction. New tourism products can attract many new tourists to a destination [Benur, Bramwell, 2015].

The aim of this study is to determine ways to improve tourism attractiveness through gastronomic touristic product diversification in regions that are disadvantaged in terms of geographical location. This study has three main goals. The first goal is to analyze the geographical structure of the area. Along with natural resources, it plays an important and critical role in the formation of tourism. Geographical features and resources create numerous opportunities for tourism development and new potential. The opportunities and challenges of producing new destinations and products are often shaped by geography. Geography is also crucial for determining the gastronomy of a place. Geographical conditions directly affect the culinary culture and ingredients used in a region. While geographical conditions affect the ingredients and recipes used, local products and geographical indications also contribute to the

development of gastronomic tourism [Yayla, Aktaş, 2021]. Therefore, the culinary culture of a region is a reflection of its geographical and cultural characteristics. The second goal is to determine the local culinary products and conditions, as local cuisine is a key element of gastronomic tourism, which occupies a prominent place in the global travel and tourism sector (1.17 trillion dollars, 2024) [World Travel & Tourism Council, 2025].

Gastronomic tourism (gastrotourism) has become one of the dynamically developing sectors of the global tourism market, having huge potential and all objective prerequisites for its development in Kazakhstan.

The North Kazakhstan Region (NKR) has been chosen as the study area. The comparative analysis of tourism development in Kazakhstan and its share in the gross regional product (GRP) demonstrates the spatial heterogeneity of the territory with predictable dominance of megacities, with Almaty and Astana accounting for 52 % of the republican tourist product. The NKR is one of the most disadvantaged parts of the country in terms of tourism.

Among the key factors in the development of gastronomic tourism in Kazakhstan are the interesting traditions of the Kazakh people, the sophistication of Kazakh dishes, their original and intricate presentation [Aktymbaeva, Trifonova, 2021]. Some authors express concern about the widespread of European and Asian cuisine restaurants and fast-food outlets in Kazakhstan, citing the loss of culinary culture and the assimilation of Kazakh cuisine, which is an important part of the national heritage [Sandybayev, 2019]. At the same time, other researchers, on the contrary, are pleased to note that Kazakh chefs are increasingly borrowing modern technologies and flavors for their dishes, combining traditions and innovations, which makes dishes more popular among tourists [Tagmanov, Ulema, 2024]. Ready to satisfy any culinary needs, chefs make vegan food, replacing meat ingredients with tofu or tempeh. The analysis of the situation demonstrates that Kazakh cuisine is an important factor in ensuring the satisfaction of tourists in spite of the purpose of the travelling [Tagmanov, Ulema, 2023].

This article confirms the hypothesis that the main factors that differentiate the formation and current status of the gastronomic tourism potential of the NKR are the multicultural environment and natural and agricultural resources. The additional value of the study lies in the possibility of studying them in other old developed regions of Kazakhstan, focusing on the important role of the synergy of these factors.

Material and Methods

Since the study aims to develop a general result based on the data obtained, we have adopted an inductive approach. The strategy of the research is based on document analysis, comparative geographical and geoinformation analysis, using a systemic approach, as well as geographical monitoring, forecasting, mathematical and statistical analysis, and SWOT analysis. While document analysis and SWOT analysis used in determining the geographical conditions and the characteristics of the local cuisine are qualitative methods, geographical analyses are quantitative methods.

Data and Research Methods

Geographical and geoinformation analyses were based on data from geography information systems (GIS). The content analysis process was carried out in four stages: data collection, theme identification, data analysis, and interpretation of the results.

The socio-economic indicators characterizing the development of the NKR were taken from the websites of the Departments of Agriculture and Land Relations, Passenger transport and Highways of the Akimat of the NKR, as well as the Bureau of National Statistics [Bureau of National Statistics ..., 2025; Department of Agriculture ..., 2025; Department of Passenger ..., 2025].

The most preferred tool for analyzing the potential of gastronomic tourism is SWOT analysis, a universal method of strategic planning used to assess phenomena and factors influencing the course of a particular process.

Study Area

NKR is located in the far north of Kazakhstan within the forest-steppe and steppe natural zones, at the junction of the West Siberian plain and the Kazakh low hills, which caused the heterogeneous nature of the relief. The region with its centre, Petropavlovsk, covers an area of 98 thousand km². In the north, the region borders on the Kurgan, the Tyumen and the Omsk regions of the Russian Federation, while in the south it shares the border with the Kostanay, the Akmola, and the Pavlodar regions of Kazakhstan.

As of October 01, 2025, the population of NKR amounted to 515.4 thousand people, including 258.2 thousand people (50.1 %) – urban and 257.2 thousand people (49.9 %) – rural inhabitants, decreasing by 6 thousand people since the beginning of the year [Bureau of National Statistics..., 2025]. The population of NKR, due to the previously mentioned historical processes, has a variegated ethnic structure (table 1).

Table 1
Таблица 1

Ethnic composition of the population in the NKR
(compiled by the authors according to [Bureau of National Statistics ..., 2025])
Этнический состав населения СКО
(составлено авторами по данным [Бюро национальной статистики ..., 2025])

| ethnos | % |
|--------------|-------|
| Russians | 44.35 |
| Kazakhs | 37.81 |
| Ukrainians | 5.39 |
| Germans | 4.13 |
| Tatars | 2.20 |
| Poles | 2.03 |
| Belorusians | 1.24 |
| Azerbaijanis | 0.34 |
| Armenians | 0.23 |
| Tajiks | 0.18 |
| Other | 2.10 |
| Total | 100 |

The territory of the region is characterized by heterogeneity of both ethnic composition and population density (varying by 7.5 times in districts) with a predictable maximum in the suburban Kyzylzhar district [Bureau of National Statistics ..., 2025].

NKR is a typical agricultural region and the oldest rain-fed farming area in Kazakhstan. In the light of the post-Soviet change in socio-economic formation and large-scale institutional transformations, almost 6,400 agro-formations arose instead of the state farm-collective farm system (297 farms in 1991), where the vast majority (over 4,500) were small peasant homesteads and farms. The small-scale and low-budget nature of these farms has provoked bankruptcy and a reduction in their number by 20 % to the present moment.

Agriculture of NKR, primarily crop production, underwent a significant transformation during the post-Soviet period: digitalization of agriculture allowed to increase the yield of main crops, diversification of the structure of crops contributed to the emergence of fundamentally new directions – the production of buckwheat, soybeans, lentils, crown flax oil and rapeseed oil. The intensification of dairy cattle breeding has brought the region to the leaders in Kazakhstan in terms of its productivity: At dairy farms in the NKR, yields from each cow amount to 6 – 8 tons of milk per year [Department of Agriculture ..., 2025].

Motor transport is the most significant in the NKR in terms of cargo and passenger turnover. The regional sections of the international highways Almaty – Yekaterinburg and Chelyabinsk – Novosibirsk are extremely important for the foreign economic and social relations of

Kazakhstan with the Russian Federation. The low density of highways in Kazakhstan is one of the main constraining factors of the country's development. At the same time, due to the intensive agricultural development of the territory, especially in the virgin period, and the increasing complexity of the network of rural settlements, the NKR's road network is the densest in the country [Bureau of National Statistics ..., 2025].

Results and Discussion

An analysis of the global experience in the development of gastronomic tourism allows us to identify a number of key factors that determine the effectiveness and sustainability of the development of this area of the service sector. They are shown in Figure 1.



Fig. 1. Key factors in the development of gastronomic tourism
Рис. 1. Ключевые факторы развития гастрономического туризма

Based on the analysis of current conditions and available resources, as well as the factors presented above, it is possible to identify priority areas and make specific recommendations aimed at the formation of a competitive and sustainable regional gastronomic tourism product.

In the conditions of the NKR, which has a rich food base and ethnocultural diversity, the following forms of development of gastronomic tourism products are becoming relevant: culinary workshops, tasting tours, home restaurants, gastronomic villages and festivals. For example, master classes on cooking traditional Kazakh and Russian dishes (*beshbarmak*, *baursaks*, sour-dough bread) can become an element of an immersive gastronomic experience.

Another promising area is the organization of tasting tours and so-called immersive experiences: visits to cheese factories, apiaries, honey and dairy farms with the opportunity to participate in the process, tastings and master classes. Such practices contribute to the formation of emotionally rich memories and a deep connection with the cultural context of the region.

The development of home gastronomy, including the formation of small restaurants and guesthouses with national cuisine, makes it possible to expand the gastronomic infrastructure in rural areas. It also creates jobs and increases the involvement of local residents in tourism. Holding gastronomic festivals ("Bread Festival", "Honey Festival", "Milk Day") can enhance the event calendar of the region and attract tourists in certain seasons.

From the point of view of strategic planning, comprehensive work is important in the following areas: economy and investment, government support, infrastructure, legal regulation, branding, human resources, and digitalization. In the economic plane, the key direction is the launch of projects in the format of public-private partnerships (agricultural estates, gastronomic routes, farmer festivals), which can ensure an influx of investment and employment growth. In terms of state support, it has been proposed to develop a separate regional program for the development of gastronomic tourism.



Equally important is the development of a simplified legal framework, in particular, for the operation of home restaurants, farms hosting tourists, and manufacturers of craft products. The legalization of such initiatives and support at the local level will create a favorable institutional environment for the sustainable development of the sector.

Branding plays a key role in positioning the region. We propose the creation of a gastronomic brand "Taste of North Kazakhstan Region", which will include local products, recipes, as well as event formats and interactive forms of presentation of regional cuisine. The brand will increase the recognition of the region and integrate it into national and international tourism chains.

The personnel issue needs to be addressed through the creation of educational programs, courses and trainings on gastronomic tourism. This will create a professional environment capable of providing a high level of service and offers for tourists. Special attention should be paid to digitalization. The creation of a single online platform for gastronomic tourism in the North Kazakhstan region with information about routes, restaurants, farms, events and the possibility of online booking will increase the availability of travel products and simplify travel planning.

Traditional Kazakh cuisine and its modern transformation.

The gastronomic offerings of the Kazakh national cuisine differ significantly by categories of service recipients (external and internal tourists), since they include, first of all, authentic meat dishes (*beshparmak*, *shuzhuk*, *kazy*) and dairy products (*kumys*, *shubat*, *ayran*, *kurt*) that are little familiar to Western tourists.

1. *Kumys* is a drink made from fermented mare's milk, which has a thousand-year history among the Turkic peoples and has become popular among the Kazakhs due to the simplicity of manufacture and transportation in nomadic conditions. Through a unique fermentation process, the product has a high therapeutic and nutritional value and contains a large amount of protein, vitamins, and trace elements. Depending on the method of preparation, the time of year and the type of feed, more than ten types of kumys are distinguished [Kymyz, 2025], even more varieties are caused by geographical differences in production traditions.

2. *Beshparmak* is a traditional Kazakh dish (boiled horsemeat with dough and onions), perceived as a structuring part of the identity of the Kazakh nation. The cooking technology varies by region: in the west of Kazakhstan, in the absence of horsemeat, fish is put, in the north, potatoes are sometimes added for satiety. Recently, lemons or kiwifruits have come to be used in the dish, the acid contained in them making horsemeat softer and juicier.

3. Any festive feast among the Kazakhs begins with *baursaks* (pieces of unleavened or sour dough made from ordinary wheat flour, fried in vegetable oil, whereas earlier it used to be cooked with fermented flour, on melted mutton fat). Moreover, depending on the region, baursaks differ both in their ingredient composition (sunflower oil is used in the north, while cotton oil is popular in the south), and in size and shape (round, diamond-shaped, elongated ones).

4. Various spices (mainly garlic and bay leaf) are added to *shuzhuk* and *kazy* horse sausages to enhance the taste, and *kazy* has a cooking technology that varies by region: in the southern regions it consists of horse ribs simply covered with intestines, in the north, it is a gut filled with horse meat and fat with spices.

5. *Kurt* is Kazakh dish made of salted dried cottage cheese – small balls, usually 1.5–2 cm in diameter. Its form and ingredient composition are not interesting for foreign tourists, however, after a gastronomic and aesthetic upgrade (adding natural dyes, fenugreek shoots, sesame seeds, as well as giving the product bizarre and fabulous shapes of animal figures or parts of their body – for example, a horse's head), its popularity and attractiveness can increase significantly.

6. The most common sweet of the Kazakh national cuisine is *zhent* – fried millet groats with the addition of dried crushed cottage cheese, ghee, sugar or honey. However, the recipe of this dish, like any other, has changed over time and due to circumstances. During the Second World War and the post-war years, due to the lack of sugar, the following recipe was widespread

in the south of Kazakhstan: the pulp of Aport apples was mixed with millet or corn grain and pounded until the apple juice soaked the crushed grain [Zhent, 2025]. Given the special organoleptic properties of this apple variety due to the uniqueness of the Kazakhstan terroir, this could have an additional effect on the popularization of both products abroad. Recently, the composition has been experimented with, adding nuts and dried fruits to the invariant, covering with milk chocolate and packaging in designer boxes decorated with elements of national flavor (for example, decorated with the most common zoomorphic ornament) in industrial production: for sale to the public, but, most importantly, for offering to foreign tourists.

Restaurant gastronomic tourism

The influence of restaurants on the development of gastronomic tourism has been studied extremely poorly. However, available studies indicate the significant role of restaurants as generators and accumulators of advanced culinary knowledge. High-quality food has gone beyond restaurants and moved, if not into the mass market, then at least into the affordable segment. Important competencies of modern restaurants are respect for the national culinary heritage combined with the use of local products and traditional recipes. During the post-Soviet period, a representative network of restaurants and cafes of the national cuisine of the ethnic groups of Kazakhstan was formed in the region's center, Petropavlovsk (table 2):

Table 2
Таблица 2

National restaurants and cafes in Petropavlovsk
Национальные рестораны и кафе г. Петропавловска

| Cuisine | Name | Authentic dishes | Distinctive Features |
|-----------|-------------------|--|---|
| Georgian | Gamarjoba | Khachapuri, khinkali, satsivi, shashlik, churchkhela | Authentic interior, waiters wearing national clothes |
| | Tbilisi | Khachapuri, khinkali, lobio, kebabs, Georgian wines | Live music, family and friendly meetings |
| | Khochupuri | Khachapuri of various types, khinkali, traditional Georgian dishes | Specialization in khachapuri |
| Ukrainian | Shinok-Khutorok | Borsch, deruny, vareniki, dumplings | Stylized decoration of the hall, waiters wearing national clothes |
| Uzbek | Chaihana Bakshish | Pilaf, lagman, mantis, samsa, shurpa, oriental sweets | Oriental interior, theme nights |
| | Topchan | Pilaf, shashlik, lagman, mantis | Regional Uzbek cuisine |
| | Barberry | Oriental dishes, pilaf, shashlik, mantis | Stylized decoration of the hall, waiters wearing national clothes |
| Italian | Pitstsoli | Pizza, pasta, risotto, tiramisu | Modern interior, family audience |
| | Roman Holiday | Pizza, pasta, lasagna, gelato, bruschetta | National style |
| Armenian | Urartu | Shashlik, dolma, lavash, lamb dishes, armenian sweets | Traditional presentation, national style |
| Turkish | Ozhak Kebap | Kebab, meze, grilled dishes | Oriental interior, live Turkish music |
| Kazakh | Khan-Auyly | Beshbarmak, kazy, kuyrdak, bursaks, horse meat and lamb dishes | National style, traditions of the feast |
| German | Berlin | Sausages, schnitzel, strudels, baumkuchen, seltz | Stylized decoration of the hall, waiters wearing national clothes |

However, the most important location on the map of gastronomic tourism in Petropavlovsk is represented by two restaurants: "Semenov" and "Meat Jagger": the first specializes in cheeses from its own cheese factory, and the second one has become a brand of meat cuisine – here you can taste dishes made of various meat types and representing many national cuisines. The emerging gastronomic brands of restaurants attract not only local residents, but also guests of the region, forming the operant behavior of both categories of gastronomy consumers.

In Kazakhstan, the lack of certified food suppliers for restaurant chains of both local and global brands is considered a very serious risk factor. An example is the case of McDonald's, when the company was forced to withdraw from the Kazakh market in 2023, as the supplies of semi-finished meat and dairy products from Russia were halted [Why McDonald's ..., 2025]. The technological regime of milk and meat production (primarily beef) using Western technologies, as well as the volume of products produced, allow us to speak optimistically about the possible transformation of the NKR into a key producer of certified livestock products in order to saturate local and metropolitan restaurants, taking into account the virtually unlimited potential of the latter.

Another limiting factor in the full-fledged development of the Kazakhstan association of hotels and restaurants is the lack of mechanisms for differentiating the quality of service and culinary art of domestic restaurants on the model of Michelin stars [For the first time ..., 2025]. The introduction of such practices, followed by the release of the Kazakh equivalent of the Michelin Red Guide, will create a competitive environment in order to activate entrepreneurial initiatives and search for innovative solutions to create authentic dishes and drinks. These measures will make it possible to form a regional gastro-tourist destination that meets the needs and preferences of tourists of various age categories and, accordingly, taste preferences.

Territorial organization of gastronomic tourism in the North Kazakhstan region

Gastronomic tourism is rightfully considered a creative sub-sector of the service economy, stimulating various innovations, both in the ways of cooking new dishes and improving already known ones. Culinary innovations in gastronomic tourism should be put on a permanent basis [UNWTO, 2017]. The most well-known form of gastronomic events contributing to this are all kinds of food and drink festivals. As gastronomic tourism develops, more and more events are offered to promote a particular product, forming a different experience of participation – from tasting and consumption to cooking.

Festive (event-based) gastrotourism in the territory of NKR is presented only in the form of the nascent Kumysfest festival, where its participants are limited only to tasting basic Kazakh national dishes. At the same time, many festive (usually agricultural) events are held in the region – agricultural fairs taking place all year round in regional and district centers, as well as "Field Day", "Livestock Breeder's Day", which help achieve the main goal and simultaneously popularize the national dishes of the ethnic groups inhabiting the region.

The next stage is the construction of a territorial system of gastrotourism. For visualization, we have compiled a cartography of promising centers represented by objects of event, ethnic and ecological tourism, reflecting both the cultural heritage and the gastronomic uniqueness of the region (fig. 2).

Based on the analysis of the potential of the NKR territory, it is advisable to identify two zones where gastronomic tourism has good development prospects:

1. The Northern zone covers facilities capable of meeting the gastronomic needs of residents and guests of the region's center, Petropavlovsk.

2. The Southern zone includes a number of facilities focused on the formation of gastronomic offers for recipients of the country's capital, Astana, as well as nearby regional centers – the cities of Kostanay and Kokshetau, taking into account optimal transport accessibility.

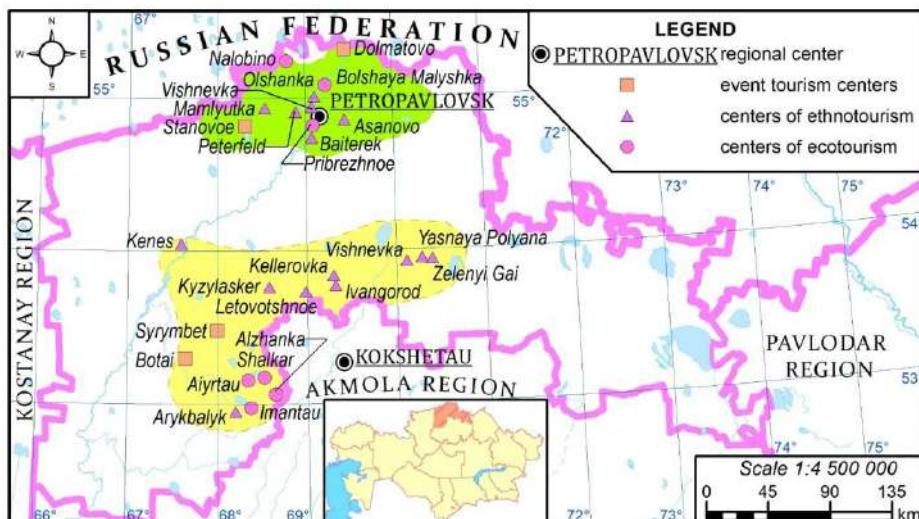


Fig. 2. Promising centers of gastronomic tourism in the North Kazakhstan region

Рис. 2. Перспективные центры гастрономического туризма Северо-Казахстанской области

To achieve the purpose of the study, we have identified the strengths and weaknesses, threats and opportunities of the NKR in terms of gastronomic tourism, based on previous analyses (table 3).

Table 3
 Таблица 3

SWOT-analysis of the gastronomic tourism development in the NKR
 SWOT-анализ развития гастрономического туризма в СКО

| Strengths (S) | Weaknesses (W) |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Expanded reproduction of food resources of both plant and animal origin; - The most multiethnic population structure in Kazakhstan; - Advantageous economic and geographical position of the region relative to that of the country's capital and major cities of Russia; - Heterogeneous landscape structure of the territory of the region, providing aesthetic appeal to external tourists; - The absence of dependence of gastrotourism on seasonality – the possibility of year-round organization of combined tours. | <ul style="list-style-type: none"> - Underdeveloped transport network in peripheral areas; - The narrow domestic market of the region; - Lack of targeting of regional gastrotourism and promotion on the Internet in the domestic and foreign markets; - The lack of a state program to support entrepreneurial initiatives of gastrotourism in the regions; - Acute shortage of qualified managers, especially the younger generation who speak foreign languages; - The predominance of low-budget farms that are unable to form a rural service economy. |
| Opportunities (O) | Threats (T) |
| <ul style="list-style-type: none"> - The multiplicative effect of the development of related industries; - Extensive raw material base for the development of organic farming (both rain-fed and irrigated); - The rapidly growing popularity of gastrotourism amid the recovery of domestic and foreign tourism from the effects of COVID-19; - High marginality of the product | <ul style="list-style-type: none"> - Unavailability of the proposed product for the average Kazakh consumer; - Risk of non-repayment for investors financing rural food projects |

Modern trends in the formation of society, especially of a multicultural one with a nature-centered worldview have led to an ever-increasing interest of the urban population toward visiting rural areas. The purpose of such visits is to combine outdoor recreation and tasting of local environ-



mentally friendly products, usually dairy and meat (fish) ones, in the ideal case, cooked by the recreants themselves. This significantly expands the opportunities for the development of rural tourism as an important sector of the service economy in such an agricultural region as NKR.

Gastrotourism is closely intertwined with rural tourism (agro-tourism), complementing each other, diversifying the rural economy and creating a higher-margin product. For example, during a visit to mare farms as part of a gastronomic tour [Saparov et al., 2024], it is advisable to organize not just a tasting of *kumys*, but to include participation in animal care and milking of mares, watching walking, horseback riding and sledding, etc. In order to popularize such places, the creation of sites of these farms will help to monitor the birth and growth of foals, their grazing and development online.

During the post-Soviet period, Kazakhstan has developed a steady public demand for the study of the cultural heritage of the Kazakh people, including such important component of intangible culture as gastronomy. Its preservation contributes not only to strengthening the genetic code of the nation, but also has an important socio-communicative significance: gathering at the *dastarkhan* (a special table for eating) family members make important decisions, and guests are greeted there with obligatory treats with *bauraks* and *beshparmak* – archetypes of Kazakh hospitality.

Modern Kazakh cuisine, as well as ethnical minorities' gastronomy, is trying to strike a balance between traditions and innovations. Particular importance for the gastrotourism of Kazakhstan in general and the region in particular is food pairing both within any national cuisine and the search for ideas to harmonize dishes and drinks of various ethnic groups, which will become a driver for the development of not only the gastronomic, but also the entire tourism business as a whole. However, it is advisable to activate food pairing from cuisines that are close in genesis, where dishes and drinks have many similarities, for example, Asian (Kazakh, Uzbek, Tatar), Slavic (Russian, Ukrainian, Belarusian, Polish), Transcaucasian (Armenian, Georgian), etc. Many dishes of national cuisines of the NKR ethnic groups are similar to each other and represent only variations of ingredients: *senkach* and *baumkuhen*, *kuyrdak* and *kyzdyrma*, *meat jelly* and *zelts*, *mead* and *krupnik*, etc.

Considering authenticity as an important and unique feature in the formation of future gastro-tourist products of Kazakhstan, contributing to the creation of unique tourist experiences [Tiberghien, 2018], local products with geographical indication occupy a special place. The geographical indication protects the culture, traditions and customs, tourist assets and cultural heritage of the region and supports its sustainability. A geographical indication emphasizes the natural or cultural and historical uniqueness of the place of cultivation or manufacturing, increasing the product cost and at the same time advertising it.

For the NKR, such areas with a unique (protected) geographical indication (name) can serve as floodplain meadows of the Ishim River and natural pastures of the Ualikhanov district for environmentally friendly dairy and beef cattle products, respectively. In addition, wild plants (mushrooms, berries, herbs) growing in birch-aspen forests of the forest-steppe zone can play an important role in creating an authentic gastronomic product of the region with a protected geographical indication. Today, they are only used by the local population, but certain types of mushrooms (rollrim milkcap and white mushroom) have recently been included in the menu as delicacies in restaurants and cafes in Petropavlovsk and district centers. Some local kinds of tea (sage, thyme, cypress, lime blossom tea) and drinks (strawberry, drupe, rosehip) based on local natural herbs, fruit or berries can also become products with geographical indication. Thyme added to tea is widely used in folk medicine, having pronounced preventive properties.

The development of gastronomic tourism and the formation of a full-fledged entrepreneurial ecosystem should be accompanied by the creation of an industry association, following the example of the EU and neighboring states. It will allow coordinating the work and sharing the experience of regional participants in the food business, providing assistance in targeting and promoting gastronomic routes, developing strategies and brands of gastronomic destinations, training managers, restaurateurs and producers of authentic dishes and drinks.

Conclusion

Currently, the entrepreneurial ecosystem of gastrotourism in NKR is at an early stage of development. It is due to the initiatives of local businessmen that it has been introduced in the region's center and become represented in restaurants of national cuisine. At the same time, the rural areas, especially those remote from the regional center, have not been covered by any gastronomic projects due to the lack of necessary transport, social infrastructure, and skilled personnel. The study shows that the region has a huge potential for the development of gastronomic tourism due to its multicultural society and diversity, relying on significant natural and agricultural resources.

Gastrotourism is traditionally based on the synergy of a multicultural environment and new experiences through the cuisine of various ethnic groups, contributing to the strengthening of the role of tourism and food in the branding of the nation. Acquaintance with it can be carried out both through eating authentic dishes in restaurants or cafes (catering services), and gaining culinary experience through a personalized approach to participating in the preparation of the dishes (for example, fish), while studying the recipe of local cuisine. Gastrotourism does not depend on the time of year and almost does not depend on weather conditions. On the contrary, it allows tourists to appreciate and enjoy seasonal dishes of various national cuisines and to be inspired by their diversity.

The gastro-cultural identity of the NKR is expressed in the synergy of dishes of ethnic groups inhabiting the region, borrowing certain ingredients or recipes from each other to improve authentic dishes or drinks, creating new forms adapted to the needs of internal and external consumers. However, at the moment, the national cuisine of the ethnic groups of the region is available only in the restaurants of the regional center, in district centers, as a rule, restaurants offer only Kazakh or Russian national dishes.

Historically, the territorial differences in the cooking of the Kazakh dishes and drinks discussed above create objective prerequisites for the differentiation of the territory in order to develop regional gastronomic tourism and enrich the own experience of domestic recreants. For foreign guests, combined gastronomic offers are advisable, combining products of both local origin and cosmopolitan dishes that have conquered the entire planet in the menu. At the same time, it is important to remember that national dishes, for better popularization, should be promoted in a form adapted to modern realities, without losing sight of the aesthetic component.

The most important factor in the development of gastrotourism in the region is the presence of numerous peasant and farm farms that are potential suppliers of agricultural products, and here gastronomic tourism is closely intertwined with nascent agrotourism (rural tourism), which makes it possible to classify this integration-symbiotic formation as agro-gastronomical tourism. Another important area is ethno-gastronomical tourism, based on a multicultural society, and poorly represented so far in the restaurant segment.

One of the most important competitive advantages of the region's gastronomy can be organic dishes and drinks, the production of which is based on nascent organic farming. Thus, lentil dishes have all the prerequisites to become the hallmark of the organic gastronomy of the NKR, since they are widely known and popular in many cuisines of the world, including German and Polish. The potential of organic cattle and horse breeding products is much more significant since they primarily cover the domestic consumer. In the future, the premium organic products offered by the food industry will trigger the food industry from a trivial industrial product to an authentic, ecologically balanced, high-margin product. The inclusion of dishes with organic products on the menu has a positive effect on their choice.

To popularize local dishes and drinks, it is advisable to organize gastronomic festivals and contests in the region, organize a creativity area, release branded products for gastro-tourists with the symbols of iconic events and popularized products (T-shirts, baseball caps, souvenirs). Inviting people to participate in the jury of famous Kazakhstani and European restaurateurs will



help promote crystallized gastronomic products first to the republican and then to the international restaurant market. This will greatly facilitate the establishment of contacts for the training of qualified personnel abroad, inspired by the experience of the best European and Asian restaurants. However, to promote a regional gastronomic product, it is necessary to combine the efforts of all players in the gastronomic market.

The formation of a gastro-tourist destination through the synergy of natural, agricultural, and creative assets will contribute to the formation of a tourist food landscape, the preservation of traditions, original culture, and ethnocultural heritage of national villages, the expansion of gastronomic preferences of the population and guests of the region. Due to this, the outflow of young people from the countryside will decrease, diversifying the service economy and forming a positive image of agricultural regions, ensuring their sustainable development.

References

- Aktaş G.S. 2016. Tourism Geography. Eskişehir, Türkiye, Publ. Anadolu Üniversitesi.
- Aktymbaeva B.I., Trifonova T.V. 2021. Gastronomic Tourism as a Way to Attract Attention to a Tourism Destination. Central Asian Economic Review, 1(136): 73–83 (in Russian). <https://doi.org/10.5282/2224-5561-2021-1-73-83>.
- Benur A.M., Bramwell B. 2015. Tourism Product Development and Product Diversification in Destinations. Tourism Management, 50: 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.02.005>.
- Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. Electronic resource. URL: <https://stat.gov.kz/ru/> (accessed: 15.10.2025)
- Department of Agriculture and Land Relations of the Akimat of the North Kazakhstan Region. Electronic resource. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/sko-agro/activities/4981?lang=ru> (accessed: 15.08.2025)
- Department of Passenger Transport and Highways of the Akimat of the North Kazakhstan Region. Electronic resource. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/sko-transport?lang=ru> (accessed: 15.08.2025)
- For the first time in my life in a Michelin-starred restaurant. Electronic resource. URL: <https://365info.kz/2024/04/vpervye-v-zhizni-v-mishlenovskom-restorane> (accessed: 15.08.2025)
- Forsyth P., Dwyer L. 2002. Market Power and the Taxation of Domestic and International Tourism. Tourism Economics, 8(4): 377–399. <https://doi.org/10.5367/000000002101298197>
- Kymyz. Electronic resource. URL: <https://kk.wikipedia.org/wiki/%D2%9A%D1%8B%D0%BC%D1%8B%D0%B7> (accessed: 15.08.2025).
- Saparov K., Omirzakova M., Yeginbayeva A., Sergeyeva A., Saginov K., Askarova G. 2024. Assessment for the Sustainable Development of Components of the Tourism and Recreational Potential of Rural Areas of the Aktobe Oblast of the Republic of Kazakhstan. Sustainability, 16(9): 3838. <https://doi.org/10.3390/su16093838>
- Sandybayev A. 2019. Innovative Gastronomic Tourism as a New Trend. Evidence from Kazakhstan. International Journal of Research in Tourism and Hospitality, 1(5): 1–7. <https://doi.org/10.20431/2455-0043.0501001>
- Tagmanov U., Ulema Š. 2024. Gastronomy Tourism Potential of Kazakhstan: A Research on Swot Analysis. Journal of Travel and Hospitality Business, 21(2): 408–421. <https://doi.org/10.24010/soid.1478326>
- Tagmanov U., Ulema Š. 2023. A Research on Determining the Level of Tourists' Satisfaction Regarding Kazakh Cuisine. Revista Anais Brasileiros De Estudos Turísticos, 13: 1–14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8404339>
- Tiberghien G. 2018. Managing the Planning and Development of Authentic Eco-Cultural Tourism in Kazakhstan. Tourism Planning and Development, 16(479): 494–513. <https://doi.org/10.1080/21568316.2018.1501733>
- Yayla Ö., Aktaş G.S. 2021. Mise en Place for Gastronomy Geography Through Food: Flavor Regions in Turkey. International Journal of Gastronomy and Food Science, 26(1): 100384. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2021.100384>.
- UNWTO. 2017. Second Global Report on Gastronomy Tourism. Spain, Madrid, World Tourism Organization, 198 p.

Why McDonald's left Kazakhstan. Electronic resource. URL: https://forbes.kz/articles/pochemu_mcdonalds_ushel_iz_kazahstana. (accessed: 15.08.2025)

World Bank. Electronic resource. URL: <https://www.worldbank.org/en/home> (accessed: 15.08.2025)

World Travel & Tourism Council. Electronic resource. URL: <https://wttc.org/Research/EconomicImpact> (accessed: 15.08.2025)

Zhent. Electronic resource. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BD%D1%82> (accessed: 15.08.2025).

Received September 02, 2025;

Revised November 06, 2025;

Accepted November 28, 2025

Поступила в редакцию 02.09.2025;

поступила после рецензирования 06.11.2025;

принята к публикации 28.11.2025

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 AUTHORS

Sergey V. Pashkov, Professor of the Department of Geography and Ecology, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

Natalya V. Zhukova, Geography teacher, First City Comprehensive IT Lyceum, Petropavlovsk, Kazakhstan

Semra Günay, Professor of the Department of Tourism Management, Anadolu University, Eskişehir, Türkiye

Aigul M. Sergeeva, Professor of the Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пашков Сергей Владимирович, профессор кафедры географии и экологии, Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

Жукова Наталья Викторовна, учитель географии, Первый городской общеобразовательный ИТ-лицей, Петропавловск, Казахстан

Гюнай Семра, профессор кафедры менеджмента туризма, Анатолийский университет, Эскишехир, Турция

Сергеева Айгул Максатовна, профессор кафедры физической и экономической географии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан



УДК 911.3; 316.3; 314
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-6
EDN ZHKBGG

Демографический тренд сломан. Белгородская область. Исход населения

Чугунова Н.В., Полякова Т.А.

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

Аннотация. Естественный ход демографической эволюции в Белгородской области сломан: изменение geopolитической ситуации 2014 г., февраля 2022 г. привели к смене демографического статуса Белгородской области из реципиентов в доноры. Целью работы является установление детерминанты смены вектора демографического развития; роли миграций, поколений Миллениалов и Зумеров в трансформации процессов воспроизведения населения. Исследование основано на официальных данных Управления Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области. Установлено, что длительное время область выполняла функции аттрактора мигрантов переселенцев-соотечественников, позднее «северян», гастарбайтеров, что приводило к росту численности населения в условиях естественной убыли. Определено, что поколения Миллениалов, Зумеров малочисленны и не ориентированы на многодетность. Выявлено, что пронаталистская государственная политика повышения рождаемости не принесла ожидаемых результатов. Установлены факторы высокой смертности. Определена типология Исхода населения из Белгородской области.

Ключевые слова: процессы воспроизведения населения, реципиент, донор, миграция, Зумеры, Миллениалы, иммиграция, приграничье

Для цитирования: Чугунова Н.В., Т.А. Полякова Т.А. 2025. Демографический тренд сломан. Белгородская область. Исход населения. Региональные геосистемы, 49(4): 864–876. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-6 EDN: ZHKBGG

The Demographic Trend is Broken. Belgorod Region. Population Exodus

Nadezhda V. Chugunova, Tatiana A. Polyakova

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

Abstract. The natural course of demographic evolution in the Belgorod region has been broken: the changing geopolitical situation in 2014 and February 2022 led to a change in the region's demographic status from that of a recipient to a donor. The aim of the work is to establish the determinants of the change in the vector of demographic development, the role of migrations, and the place of Generation Y and Generation Z in the transformation of demographic development. The study is based on official data from the Office of the Federal State Statistics Service for the Belgorod Region. It has been established that for a long time the region served as an attractor for displaced compatriots, and subsequently for northerners and guest workers, which led to an increase in the population in conditions of natural decline. The generations of Millennials and Zoomers have proved to be small in number and not focused on having many children. The study shows that the pro-natalist state policy of increasing the birth rate has not brought the expected results. The authors' findings include the identification of factors in high mortality rate and a typology of the population outflow from the Belgorod region.

Keywords: population reproduction processes, recipient, donor, migration, Zoomers, Millennials, immigration, border regions

For citation: Chugunova N.V., Polyakova T.A. 2025. The Demographic Trend is Broken. Belgorod Region. Population Exodus. Regional Geosystems, 49(4): 864–876 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-6 EDN: ZHKBGG

Введение

Актуальность темы исследования вызвана необходимостью оценки проблем естественной и миграционной убыли (Исхода) населения, смены поколений, структуры иммиграционных потоков в Белгородскую область, последствия которых недооцениваются институтами власти.

Острота демографических проблем последних десятилетий в регионах России подтверждается публикациями известных специалистов: о смене поколений [Блюм, Захаров, 1997]; эффективности/неэффективности мер семейной политики [Захаров, 2006], перспективах демографического развития страны [Мукомель, 2021], проблемах воспроизводства населения [Лещенко, 2021], замещающей миграции [Валлерстайн, 2005; Вишневский, 2011; Политика замещающей миграции ..., 2025].

Наши предыдущие исследования [Чугунова, 2011; Чугунова, Яковенко, 2022; Chugunova et al., 2024] свидетельствуют об актуальности изучения демографических процессов в Белгородской области. Изменение geopolитической ситуации с 2014 г., СВО в Украине привели к смене статуса области из реципиентов в доноры, возникновению Исхода населения.

Терминология:

– миграция и Исход имеют разные коннотации и значения: миграция – перемещение людей из одного места в другое, доминантой которой, как правило, являются экономические причины;

– Исход – массовое перемещение людей относительно внезапно, быстро по травмирующим или политическим событиям.

– Термин «поколение» имеет множество значений, изложенных как в академических изданиях [Советский энциклопедический ..., 1982, с. 1021; Народонаселение..., 1994, с. 326], так и определенных классиками отечественной экономической науки [Урланис, 1968], современными социологами, политологами [Левада, 2001; Глотов, 2004], решением конференций [Асадуллина и др., 2021].

Согласно теории поколений Нейла Хоува и Уильяма Штрауса [Ожиганова, 2015], отличия поколений обусловлены не возрастом, а различием ценностей, влиянием одних и тех же исторических событий на формирование когорт, вырабатывающих похожие модели поведения, общие убеждения.

Социологи России считают, что теория поколений – это концепция, предполагающая, что у каждого поколения свои уникальные характеристики, ценности, убеждения и поведенческие особенности, которые определяются социальной и исторической средой.

Аксиома из энциклопедических словарей: если население не обеспечивает рождаемости, необходимой для полного замещения поколений (коэффициент суммарной рождаемости, фертильности не достигает 2,15 рождений на одну женщину) и численность пополняется мигрантами, «то иммигранты их потомки и потомки смешанных браков заменят нынешнее население, сложится новый этнос» [Демографический энциклопедический ..., 1985, с. 145; Народонаселение..., 1994, с. 148; Коулмен, 2007].



Целью работы является установление детерминанты трансформации Белгородской области из реципиента в доноры, роли миграций и Исхода векторе демографического развития, определение прогноза воспроизводства населения на 2030 г.

Задачи работы: анализ динамики численности населения; определение места естественного движения, роли поколений Миллениалов и Зумеров в воспроизводстве населения; последствий миграционных процессов области; прогноз замещения поколений на 2030 г. в Белгородской области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является население Белгородской области.

Информационной базой в достижении поставленной цели служили официальные данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области, материалы Всероссийских переписей населения, данные текущего учета Белгородстата, Базы данных по муниципальным образованиям.

Для составления таблиц использованы статистические сборники [Статистический ежегодник ...2015; 2024; Белгородская область ..., 2024].

Основные цели статьи достигнуты с использованием методов пространственно-временного и сравнительно-географического анализа, статистических.

Использование статистических методов позволило рассчитать индивидуальный индекс динамики численности населения (аналогичный темпам роста/убыли), среднегодовые темпы (роста/убыли) [Балдин, Рукосуев, 2010], включавшие два периода: текущий и базисный. Выбор базисного уровня определялся задачами работы.

Суммарный коэффициент рождаемости (СКР) (репродуктивности, фертильности – количество детей, рожденных одной женщиной в течение жизни) получен из официальных данных Белгородстата.

Среднесрочный прогноз количества женщин активного репродуктивного возраста (16–49 лет) на 2030 г рассчитан методом подвижек возрастов без учета влияния миграции на основе официальных статистических данных [Статистический ежегодник ..., 2015; 2024].

Результаты и их обсуждение

Детерминанты масштаба изменений численности населения Белгородской области

Социальные потрясения XX века – войны, голод, социально-экономические эксперименты – нарушили естественный ход демографической эволюции и оказались на судьбах поколений [Белозеров и др., 2022].

Белгородская область как субъект РФ, образованная 06.01.1954 г., насчитывает на 01.01.2025 г. 1482,0 тыс. чел. [Белгородская область..., 2024]. Катализмы прошедшей эпохи, демографические переходы (первый в XX веке, второй в конце XX – начале XXI, с наличием третьего [Захаров, 2006] трудно согласиться); СВО в Украине наложили отпечаток на процессы воспроизводства населения, направление миграций, динамику численности населения области. Среднегодовые темпы роста/убыли населения Белгородской области (в современных границах) почти за столетний период отражает рис. 1.

По данным переписи населения 1926 г., в современных границах Белгородской области проживали 1677 тыс. чел., достигнув максимума в 1930 г. – 1850 тыс. чел. Самыми тяжелыми для населения были 30-е годы (голод, коллективизация, репрессии), когда область в среднем теряла 2,5 % жителей в год. Позитивные изменения в социально-экономическом, демографическом развитии области заметны с 1970 г., приведшие к стабильному росту численности населения вплоть до 2018 г.

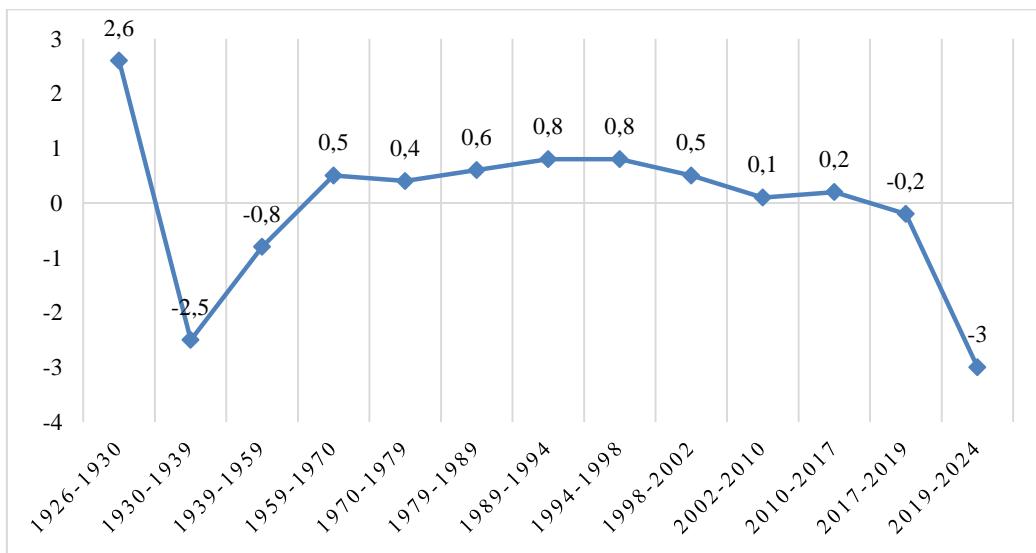


Рис. 1. Среднегодовые темпы роста/убыли населения Белгородской области (в современных границах) 1926–2024 гг., % (по данным переписей населения, текущего учета [Белгородская область..., 2024, Сводные итоги..., 2014])

Fig. 1. The average annual population growth/decline rate in the Belgorod region (within modern borders), 1926–2024, % (according to population censuses, current records [Belgorod region...2024, Summary results..., 2014])

Численность населения области достигла максимальной величины – 1555 тыс. чел. в 2017 г., на 01.01.2025 г. – 1482,0 тыс. чел. [Население Белгородской области..., а, 2025] потери – 73 тыс. В столице области, ГО г. Белгород численность населения на 01.01.2018 г. составляла 391,6 тыс. чел. [Население Белгородской области..., б, 2025]; на 01.01.2025 г. – 321,8 тыс. чел. [Население Белгородской области..., в, 2025], потери – 79,8 тыс. чел. Позволим себе выразить сомнения в достоверности статистических данных по сокращению численности всего населения, в частности, по муниципальным районам (в Валуйском муниципальном округе сократилась численность населения за последний год на 3,0 %, Грайворонском – 2,7 %).

Радикальные изменения пространственного демографического развития Белгородской области отмечаются с 24 февраля 2022 г. – положительное сальдо миграции сменилось отрицательным. Наиболее значительные сокращения численности населения характерны для десяти приграничных с Украиной районов и муниципальный округов, столицы – ГО г. Белгород (граница с ЛНР муниципалитеты относим к приграничным в связи с обстрелами территорий) площадью в 11,3 тыс. км² (41,9 % площади области), с числом жителей 806,5 тыс. чел. (53,3 % населения области) [Муниципальные образования..., 2024].

В приграничных муниципалитетах имел и имеет место Исход населения.

Исход населения

Официальных данных об Исходе населения за пределы Белгородской области нет и, по разным причинам, не может быть, поскольку структура выехавших стратифицирована и не поддается точному учету.

По нашему мнению, Исход можно разделить на три группы: 1) классический-безвозвратный – переезд на ПМЖ в другие регионы России, иные страны; 2) временный – пережить СВО в другом городе, регионе и вернуться; 3) неопределенчившиеся в конечной цели.

Классический-безвозвратный: обеспеченные люди с «финансовой подушкой безопасности»; молодые-самодостаточные, целеустремленные; эмигранты – «утечка умов»; гастарбайтеры с двойным гражданством (преимущественно, Таджикистана – России).

Временный (организованные администрацией области временные вывозы детей в другие регионы не учитывались): релоканты с возможностью работать в режиме онлайн; временно проживающие у родственников или на съемных квартирах; гастробайтеры; разделенные семьи: муж «добытчик» – «дома», жена с детьми – вне области.

Не определившиеся: студенты иностранных государств – стран Восточной и Юго-Западной Азии, Африки, Латинской Америки, стран СНГ (только в НИУ «БелГУ» 16 % иностранных студентов); студенты иных регионов России (от Мурманска до Камчатки, поступившие в вузы до 2022 г., сейчас, преимущественно, магистранты); экспанты (работающие вне родины, в иностранных компаниях).

Считаем, что масштаб Исхода населения значителен: уезжали и уезжают, в основном, профессионалы с опытом работы в компаниях, учреждениях (данные закрыты); для многих сегментов экономики Белгородской области стали актуальны хантинг (направление поиска ключевых специалистов), аутсорсинг (делегирование непрофильных задач сторонним организациям). Многие переехавшие не сняты с регистрационного учета.

Миграции населения. Последствия иммиграции для принимающей стороны

Внешние миграции населения в Белгородскую область играли важную роль в росте численности населения с 70-х гг. XX века в связи с освоением Курской магнитной аномалии, строительством Старооскольского металлургического комбината бездоменной технологии. Пика внешняя миграция достигла в середине 90-х годов ХХ в., после распада Советского Союза, когда Белгородская область, по разным причинам, оказалась привлекательной для соотечественников-переселенцев [Чугунова, 2011]. В конце 90-х гг. ушедшего века в структуре мигрантов доминировали россияне уже с восточных и северных районов страны (в определенной степени Белгородская область служила устьем «западного дрейфа»). Таким образом, область в течение полувека выполняла функции мощного реципиента русскоязычных мигрантов.

В начале XXI века масштаб миграции сократился, но до 2018 г. перекрывал естественную убыль населения [Чугунова и др., 2023]. Отрицательное сальдо миграции впервые сложилось в 2022 г.

Главным вызовом ХХI века для области стало радикальное изменение структуры внешней миграции: иммиграция коренных жителей Центральной Азии [Муниципальные образования..., 2022]; рост эмиграции профессионалов-белгородцев. В составе мигрантов из Центральной Азии – неквалифицированная рабочая сила с иной культурой (в широком понимании этого слова), менталитетом, чем коренные жители области.

Необходимость широко открытых дверей России для въезда гастробайтеров, работодатели, разработчики Стратегий РФ, Стратегии-2030 Белгородской области [Об утверждении стратегии..., 2025], многие чиновники объясняют дефицитом трудовых ресурсов, игнорируя при этом низкий уровень производительности труда в стране и области на фоне развитых стран. «Смысл Стратегии не только в том, что надо делать, даже в ситуации международной неопределенности и заведомого дефицита ресурса, но и в том, что не надо делать, отчего следует отказаться, даже если за это придется платить недовольством тех или иных социальных групп» [Политика замещающей миграции ..., 2025].

Главным потенциальным драйвером роста российской экономики должно стать повышение производительности труда. «В сегменте низкоквалифицированного труда, где в основном заняты внешние мигранты, существует огромный потенциал внедрения трудозамещающих технологий, который сегодня тормозится исключительно из-за доступности демпинговой рабочей силы» [Политика замещающей миграции ..., 2025]. Кроме того, не оценены внутренние резервы: в России сохраняется «торгово-

бюрократический флюс», велика и избыточна доля охранников в учреждениях, предприятиях.

Низкое качество человеческого капитала иммигрантов разработчики Стратегии области (и не только области) предлагают решать за счет государства «мерами адаптации и интеграции мигрантов в Белгородской области», что, по мнению независимых экспертов с учетом их расселения анклавами, осуществить нереально. Депутат Государственной Думы, д.э.н. М.Г. Делягин, выступая на ее заседании 09.03.2024 г, отметил, что иммигранты из Центральной Азии не адаптируются в России и не желают интегрироваться, создают этнические анклавы, не соблюдают принятые в обществе нормы, приводят к возникновению латентных конфликтов с местным населением.

Исход коренных жителей Белгородской области, приток иммигрантов из Центральной Азии представляет угрозу национальной идентичности, качеству человеческого капитала.

Воспроизводство населения. Прогноз уровня рождаемости

Известно, что численность населения территории меняется в зависимости от интенсивности миграционных процессов и результатов естественного движения. Рождаемость и смертность – две стороны демографического воспроизводства населения, их анализ позволяет понять, как протекает процесс замещения поколений, предусмотреть будущее развитие.

Значительное снижение уровня рождаемости отмечены с начала 90-х гг. XX века. Белгородская область вступила в фазу естественной убыли населения и суммарный коэффициент рождаемости (СКР) (репродуктивности, fertильности – количество детей, рожденных одной женщиной в течение жизни) снизился до 1,073 (для простого замещения поколений СКР необходим в 2,15) (рис. 2).

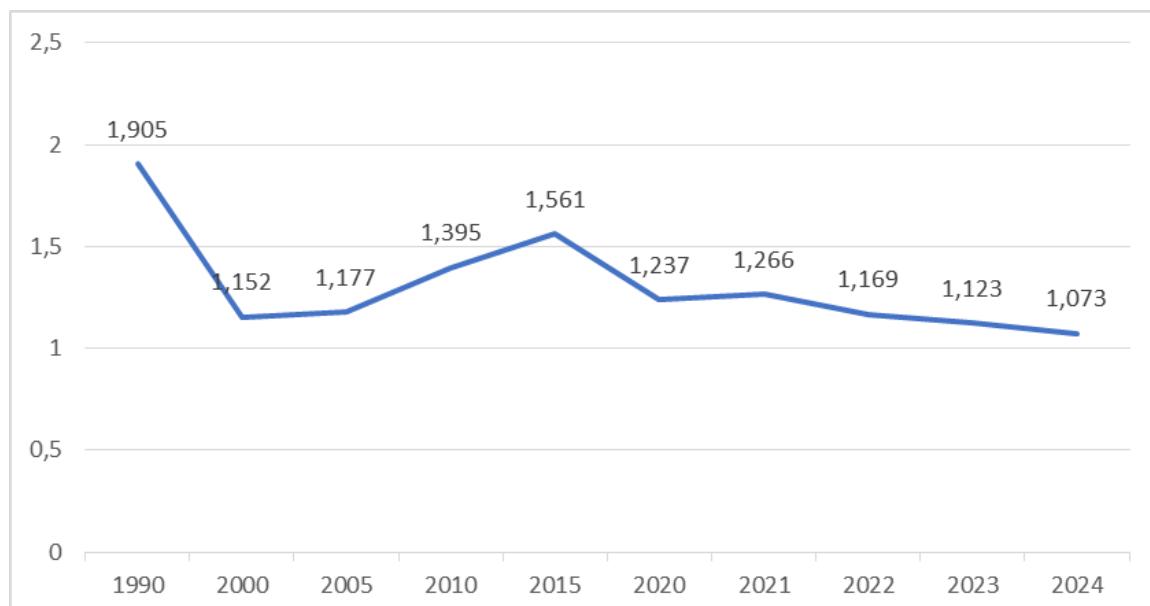


Рис. 2. Суммарный коэффициент репродуктивности 1990–2024 гг.

Белгородская область [Статистический ежегодник..., 2015; 2024]

Fig. 2 The coefficient of reproduction 1990–2024. Belgorod region [Statistical yearbook..., 2015; 2024]

Активная пронаталистская государственная политика повышения рождаемости проводится с 2007 г., по которой в «Концепции демографического развития России» СКР предполагалось увеличить с 1,3 до 1,65–1,77 к 2015 г. Ряд демографов сомневались, насколько этот целевой ориентир в демографической сфере сбалансирован с приоритетами в сфере труда и занятости, образования, здравоохранения.

Показатели процессов воспроизводства населения подтвердили обоснованность сомнений: «целевой ориентир» суммарного коэффициента не достигнут ни в стране, ни в Белгородской области – достаточно успешной в социально-экономическом и, до недавнего прошлого, демографическом отношении, субъекте РФ. Напротив, уровень рождаемости сократился к 2024 г., а уровень смертности превзошел ее более, чем в два раза (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Демографические показатели Белгородской области 2010, 2018, 2024 гг.

Demographic indicators of the Belgorod region in 2010, 2018, and 2024

| Показатели | 2010 г. | 2018 г. | 2024 г. |
|---|---------|---------|---------|
| Численность населения, тыс. чел. | 1532,5 | 1549,9 | 1500,1 |
| Рождаемость, на 1000 чел. населения | 10,9 | 9,2 | 6,2 |
| Суммарный коэффициент рождаемости (ре-продуктивности) | 1,51 | 1,54 | 1,073 |
| Смертность на 1000 чел. населения | 14,4 | 13,5 | 14,1 |
| Естественный прирост/убыль (–) на 1000 чел. | –3,5 | –4,3 | –7,9 |

Примечание: Составлено по данным [Статистический ежегодник..., 2015; 2024; Белгородская область..., 2024]

Падение рождаемости в кризисные годы порождает демографическую волну, которая, один раз возникнув, воспроизводится многократно в следующих поколениях, оборачиваясь позднее дефицитом матерей и, соответственно, очередным дефицитом рождений.

Количество женщин активного репродуктивного возраста в области сокращается и тенденция стойкая, которая продолжится, как показали наши расчеты (методом подвижек возрастов без учета влияния миграции) в среднесрочной перспективе (на 2030 г.). Расчеты основаны на статистических данных на 01.01.2015 г. и 01.01.2022 г., не вызывающих сомнений в достоверности и не в экстремальных условиях (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Численность женщин активного репродуктивного возраста. Белгородская область.

2015, 2022, 2030 гг., тыс. чел.

The number of women of active reproductive age. Belgorod region, 2015, 2022, 2030, thousand people

| Возрастные группы | 2015 г | 2022 г. | 2030 г. (прогноз) |
|-------------------|--------|---------|-------------------|
| 20–24 | 49,2 | 33,5 | 38,5 |
| 25–29 | 64,8 | 42,3 | 33,3 |
| 30–34 | 60,9 | 60,8 | 32,3 |
| 35–39 | 56,6 | 64,4 | 45,7 |
| Всего | 231,2 | 201,2 | 149,8 |

Примечание: Таблица составлена и рассчитана по [Статистический ежегодник... 2015; 2024]

С учетом Исхода населения из области 2022–2025 гг., реальные, количественные результаты в 2030 г. будут негативнее.

Статистика свидетельствует о старении материнства и самой рожающей является группа 25–29 лет [Чугунова, Яковенко, 2022]. Часть женщин будет рожать после 30 лет.

Сейчас в возрасте 25–29 лет находится малочисленное поколение женщин, родившееся в конце 90-х гг. и начале 2000-х гг. (в период предыдущей демографической ямы). Для лучшего понимания изменений количества женщин самого активного возраста рождения детей, на основе предыдущей составлена новая таблица (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Численность возрастных групп женщин 25–34 г. Белгородская область. 2015, 2022, 2030 гг., тыс. чел.

The number of women in age groups comprising 25–34 year-olds
in the Belgorod region in 2015, 2022, 2030, thousand people

| Возрастные группы | 2015 г | 2022 г. | 2030 г. (прогноз) |
|-------------------|--------|---------|-------------------|
| 25–34 | 125,7 | 103,1 | 65,6 |

Поколения женщин в возрасте 25–34 года в 2030 г. будет на 47,8 % меньше, чем в 2015 г., естественно, и меньше детей: от малочисленного поколения рождается мало детей. «То, что обусловлено по преимуществу эволюцией рождаемости, невозможно исправить с помощью миграции» [Коулмен ..., 2025].

Особенно проблематичны процессы воспроизводства населения в малых населенных пунктах сельской местности [Chugunova et al., 2024], как в настоящем, так и в прогнозном 2030 году в связи с малым количеством молодых женщин в составе населения.

Провозглашенный в 2024 г. новый национальный проект «Семья», по нашим расчетам и мнению независимых демографов, значительного увеличения рождаемости не принесет: для роста СКР необходимы масштабные ресурсоемкие меры – увеличение материнского капитала на второго и третьего ребенка до двух миллионов рублей, высокий уровень жизни, качественное социальное недорогое съемное жилье, наличие яслей (по факту, а не по вывеске на здании детского сада) и их доступность, институт нянь.

«Лепту» в снижение рождаемости внесут поколения Миллениалов и Зумеров.

Миллениалы, Зумеры в воспроизводстве населения

По данным Государственной статистики Территориального органа по Белгородской области, в современном населении рассчитана доля поколений Миллениалов, Зумеров на 01.01.2024 г. (в соответствии с принятой в России поколенческой классификации) (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Поколения Миллениалов, Зумеров в населении Белгородской области, 2024 г.

Generations of Millennials and Zoomers in the population of the Belgorod region, 2024

| Поколение Миллениалов, Y. тыс. чел. | Поколение Зумеров, Z. тыс. чел. | Индекс убыли: Z к Y, % |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 349,6 | 324,7 | 92,8 |

Примечание: Рассчитано по [Статистический ежегодник..., 2024]

Поколение Миллениалы (Y, Игрек), 1985–2002 гг. рождения (39–22 года), родились на стыке тысячелетий в эпоху распространения мобильных телефонов, компьютеров, Интернета, позднего создания семьи.

Поколение Зумеры (Z, Зет), 2003–2024 гг. рождения (21–0 лет), для которых определяемыми являются цифровые технологии, Интернет, искусственный интеллект.

Миллениалы-Зумеры, активного репродуктивного возраста, родившиеся в 90-е – начале 2000-х гг., малочисленны, отличаются демографической особенностью поздних браков, сожительством (не регистрируемое совместное проживание), малодетностью. Для них характерны поздний выход на рынок труда, частые смены места работы и/или профессии, высокий уровень компьютеризации, цифровизации, прагматизма.

Поколение Z (Зумеров) выросло (и растущее) в период перехода от аналогового мира к цифровому, к технологиям (IT), включает уверенных молодых людей, требующих от общества уважения к себе, своим интересам, жизненным планам.

Какая часть сегодняшних детей, молодежи (Зумеров) дойдет/доживет до зрелого возраста, учитывая повышенную смертность населения, особенно мужского в активном трудоспособном возрасте в России? Высокая смертность мужчин существенно укорачивает время их использования в экономике: к сожалению, в стране не проводится политика снижения смертности; здравоохранение РФ существенно недофинансировано из государственных источников [Мукомель, 2021]. Оно ниже в ВВП по сравнению с «новыми-8» странами ЕС (5,0 %) и в 2,5 раза ниже со «старыми» странами ЕС (7,9 %) [Улумбекова, 2019].

Низкая рождаемость, высокий индекс депопуляции поколений, сокращение трудоспособного населения, квалифицированных специалистов становятся угрозой инновационному развитию страны, что отмечают исследователи из многих регионов России [Дмитриева, 2023].

К высокому уровню рождаемости не вернуться (по объективным, глобальным причинам – демографическим переходам – законы демографии неумолимы. Ценности Миллениалов, Зумеров сложились на малодетность.

Второй фактор воспроизведения населения – смертность – институты власти игнорируют, но снизить смертность можно и нужно.

Работа с официальными статистическими данными показывает отсутствие возрастных, половых показателей уровня смертности (с 2010 г.) и их причин, затушевываются факторы и уровень смертности в воспроизводстве населения, в то время, как вызовом для страны является высокая младенческая смертность и, особенно, смертность мужчин в активных трудоспособных возрастах. В Белгородской области, по данным статистического ежегодника [Белгородская область..., 2024], преобладание женщин над мужчинами возникает в возрасте 35–36 лет (для справки: мальчиков всегда рождается на 5–7 % больше девочек), что свидетельствует об избыточной смертности мужчин. В развитых странах количественное преобладание женщин над мужчинами начинается только после 60 лет.

Заключение

Социально-экономические катаклизмы XX века, демографические переходы, СВО в Украине наложили отпечаток на процессы воспроизведения населения, направление миграций, динамику численности населения Белгородской области, трансформировав ее из реципиента в доноры. Приграничные с Украиной районы и городские округа, составляющие 41,9 % площади области, с числом жителей 806,5 тыс. чел. – 53,3 % населения, стремительно теряют население, количественно недостоверно отражаемое в официальных статистических сборниках.

С 70-х гг. ХХ века до 2022 г. главным источником роста численности населения служили внешние миграции: до середины 90-х гг. ХХ столетия русскоязычные

соотечественники-переселенцы с высоким уровнем образования и квалификации; до конца десятих годов XXI столетия – обеспеченные «северяне» восточных и северных регионов России – «западный дрейф»; с 2018 г. – «эмиграция талантов» – молодых, креативных, не находящих спроса на свои способности, в дальнее зарубежье (внесших определенный вклад в донорство); в течение всего XXI века – неквалифицированные рабочие руки из Центральной Азии, не интегрирующиеся в российское общество, культуру.

Пронаталистская государственная политика повышения рождаемости, не сбалансированная с приоритетами и целевыми ориентирами в сфере труда и занятости, образования, здравоохранения, не принесла ожидаемых результатов. Значительное повышение суммарного коэффициента рождаемости не реально и к 2030 г. в связи со значительным сокращением количества женщин активного репродуктивного возраста; невысокими выплатами маткапитала, низкими доходами; высокой жилищной плотности населения (количество комнат на человека). Кроме того, глобальный тренд низкой (снижающейся) рождаемости не преодолеть.

Поколения Миллениалов-Зумеров характеризуются моделью малодетности.

Смертность и ее уровень – о ней не говорится в институтах власти, не разрабатываются эффективные меры снижения. Основными детерминантами высокой смертности являются: недофинансирование здравоохранения; сокращение медучреждений и дефицит персонала; низкие доходы населения и высокая стратификация в уровне жизни, вредные привычки, особенно у мужчин (алкоголь, курение).

Список источников

- Балдин К.В., Рукосуев А.В. 2010. Общая теория статистики. М., Дашков и К, 312 с.
- Белгородская область в цифрах. 2024. Краткий статистический сборник. Белгород, Белгородстат, 232 с.
- Валлерстайн И. 2005. Замещающая миграция. Электронный ресурс. URL: <https://www.demoscope.ru/weekly/2005/0199/analit05.php> (дата обращения: 14.09.2025).
- Демографический энциклопедический словарь. 1985. М., Советская энциклопедия, 609 с.
- Коулмен Д. 2007. Миграция перестает быть падчерицей современной демографии. Электронный ресурс. URL: <https://www.demoscope.ru/weekly/2007/0299/tema01.php> (дата обращения 10.02.2025).
- Муниципальные образования Белгородской области: демографический аспект. 2022. Белгород, Белгородстат, 193 с.
- Муниципальные образования и численность населения Белгородской области. 2024. Белгород, Белгородстат, 78 с.
- Народонаселение. Энциклопедический словарь. 1994. М., БРЭ, 639 с.
- Население Белгородской области. Оперативная информация. Электронный ресурс. URL <https://31.rosstat.gov.ru/naselenie> (дата обращения: 12.09.2025а).
- Население Белгородской области. Оперативная информация. Электронный ресурс. URL http://belg.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/belg/resources/33fdb10047f3b6d391c6b5ed3bc4492f/peopl_MO18.htm (дата обращения: 12.09.2025б).
- Население Белгородской области. Оперативная информация. Электронный ресурс. URL <https://31.rosstat.gov.ru/folder/149733/document/265233> (дата обращения: 12.09.2025в).
- Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2030 г. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/406733192?ysclid=ltshimuc7h639933772> (дата обращения: 14.09.2025).
- Политика замещающей миграции. Доклад рабочей группы Института национальной стратегии. Электронный ресурс. URL: <https://riss.ru/news/smi/politika-zameshchayushchey-migratsii-v-rossii---posledstviya-i-alternativy/?ysclid=ltv9y1yybz351857646> (дата обращения: 13.08.2025).
- Сводные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года по Белгородской области. 2014. Белгород, Белгородстат, 366 с.
- Статистический ежегодник. Белгородская область. 2015. Белгород, Белгородстат, 564 с.



Статистический ежегодник. Белгородская область. 2024. Белгород, Белгородстат, 568 с.
Советский энциклопедический словарь. 1982. М., Советская энциклопедия, 1600 с.
Урланис Б.Ц. 1968. История одного поколения. М., Мысль, 268 с.

Список литературы

- Асадуллина Г.Р., Бесчасная А.А., Гайсина Л.М., Гайфуллин А.Ю., Данилов А.Н., Ефлова М.Ю., Заводян И.С., Козлова Ю.В., Колосова Е.А., Коровкина Н.В., Майорова-Щеглова С.Н., Максимова О.А., Озерова К.А., Садыкова Р.Р., Садретдинова Э.В., Шайхисламов Р.Б., Шаповалова И.С., Щербакова Д.В. 2021. Поколение Z: многообразие идентичностей, ориентаций, поведения. Уфа, Башкирский государственный университет, 228 с.
- Белозеров В.С., Щитова Н.А., Сопнев Н.В., Подолкин М.О. 2022. Территориальное планирование и демографическое развитие Кавминводской городской агломерации. Географический вестник, 4(63): 19–33. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-4-19-33>.
- Блюм А., Захаров С.В. 1997. Демографическая история СССР и России в зеркале поколений. Мир России. Социология. Этнология, 6(4): 3–11.
- Вишневский А.Г. 2011. Миграционная стратегия России и политика толерантности. Национальный психологический журнал, 2(6): 90–97.
- Глотов М.Б. 2004. Поколение как категория социологии. Социологические исследования, 10(246): 42–48.
- Дмитриева Ю.Н. 2023. Региональные особенности возрастной структуры населения Сибири. География и природные ресурсы, 44(4): 108–117. <https://doi.org/10.15372/GIPR20230411>
- Захаров С.В. 2006. Демографический анализ эффекта мер семейной политики в России в 1980-х гг. SPERO. Социальная политика: Экспертиза. Рекомендации. Обзоры, 5: 33–69.
- Левада Ю.А. 2001. Поколения XX века: возможности исследования. Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены, 5(55): 7–14.
- Лещенко Я.А. 2021. О некоторых проблемах воспроизводства населения России. В кн.: Демография и глобальные вызовы. Международный демографический форум, Воронеж, 30 сентября – 02 октября 2021. Воронеж, Цифровая полиграфия: 246–252.
- Мукомель В.И. 2021. Перспективы демографического развития России: региональный аспект. В кн.: Демография и глобальные вызовы. Международный демографический форум, Воронеж, 30 сентября – 02 октября 2021. Воронеж, Цифровая полиграфия: 55–57.
- Ожиганова Е.М. 2015. Теория поколений Н. Хоува и В. Штрауса. Возможности практического применения. Бизнес-образование в экономике знаний, 1(1): 94–97.
- Улумбекова Г.Э., Гиноян А.Б., Калашникова А.В., Альвианская Н.В. 2019. Финансирование здравоохранения в России (2021–2024 гг.). Факты и предложения. ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ, 5(4(18)): 4–19. <https://doi.org/10.24411/2411-8621-2019-14001>.
- Чугунова Н.В., Яковенко Н.В. 2022. Реальность и перспективы улучшения демографической ситуации в «Стратегии-35» Воронежской области. Региональные геосистемы, 46(3): 311–321. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-3-311-321>
- Чугунова Н.В. 2011. Социально-демографическое развитие Белгородской области изменяющейся России. М., ГЕОС, 138 с.
- Чугунова Н.В., Полякова Т.А., Морковская Д.Н., Ткачев Е.В. 2023. Поляризация пространства староосвоенного региона как фактор «сжатия». На материалах Белгородской области. Региональные геосистемы, 47(2): 226–237. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-2-226-237>
- 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, 17(3): 98–108. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3168>.

References

- Asadullina G.R., Beschasnaya A.A., Gaysina L.M., Gayfullin A.Yu., Danilov A.N., Eflova M.Yu., Zavodyan I.S., Kozlova Yu.V., Kolosova E.A., Korovkina N.V., Mayorova-Shcheglova S.N., Maksimova O.A., Ozerova K.A., Sadykova R.R., Sadretdinova E.V., Shaykhislamov R.B., Shapovalova I.S., Shcherbakova D.V. 2021. Pokoleniye Z: mnogoobrazie identichnostey,

- ориентаций, поведения [Generation Z: Diversity of Identities, Orientations, and Behaviors]. Ufa. Pabl. Bashkirskiy gosudarstvenny universitet, 228 p.
- Belozerov V.S., Shchitova N.A., Sopnev N.V., Podolkin M.O. 2022. Territorial Planning and Demographic Development of the Kavminvodskaya Urban Agglomeration. Geographical bulletin, 4(63): 19–33 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-4-19-33>.
- Blyum A., Zakharov S. 1997. Demograficheskaya istoriya SSSR i Rossii v zerkale pokolenij [The Demographic History of the USSR and Russia Through the Lens of Generations]. Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya, 6(4): 3–11.
- Vishnevskij A.G. 2011. Migratsionnaya strategiya Rossii i politika tolerantnosti [Russia's Migration Strategy and Tolerance Policy]. Natsionalnyy psikhologicheskiy zhurnal, 2(6): 90–97.
- Glotov M.B. 2004. Generation as a Category of Sociology. Sociological Studies, 10(246): 42–48 (in Russian).
- Dmitrieva Yu.N. 2023. Regional Specific Features of the Siberian Population Age Structure. Geography and Natural Resources, 44(4): 108–117 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/GIPR20230411>
- Zakharov S.V. 2006. Demograficheskiy analiz effekta mer semeynoy politiki v Rossii v 1980-kh gg [Demographic Analysis of the Effect of Family Policy Measures in Russia in the 1980s]. SPERO. Sotsialnaya politika: Ekspertiza. Rekomendatsii. Obzory, 5: 33–69.
- Levada Yu.A. 2001. Generations of the XXth Century: Opportunities for Research. Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes, 5(55): 7–14 (in Russian).
- Leshchenko Ya.A. 2021. O nekotorykh problemakh vosproizvodstva naseleniya Rossii [On Some Problems of Population Reproduction in Russia]. In: Demografiya i globalnyye vyzovy [Demography and Global Challenges]. International Demographic Forum, Voronezh, 30 September – 2 October 2021. Voronezh, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 246–252.
- Mukomel V.I. 2021. Perspektivy demograficheskogo razvitiya Rossii: regionalnyy aspect [Prospects for Demographic Development of Russia: Regional Aspect]. In: Demografiya i globalnyye vyzovy [Demography and Global Challenges]. International Demographic Forum, Voronezh, 30 September – 2 October 2021. Voronezh, Pabl. Tsifrovaya poligrafiya: 55–57.
- Ozhiganova E.M. 2015. Straus Howe Generational Theory. Opportunities of Practical Application. Biznes-obrazovaniye v ekonomike znaniy, 1(1): 94–97 (in Russian).
- Ulumbekova G.E., Ginoyan A.B., Kalashnikova A.V., Alvianskaya N.V. 2019. Healthcare Financing in Russia (2021–2024). Facts and Suggestions. Healthcare Management: News. Views. Education. Bulletin of VSHOUS, 5(4(18)): 4–19 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2411-8621-2019-14001>.
- Chugunova N.V., Yakovenko N.V. 2022. Assessment of the Reality of the Tasks to Improve the Demographic Situation in the "Strategy-35" of the Voronezh Region. Regional Geosystems, 46(3): 311–321 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-3-311-321>
- Chugunova N.V. 2011. Sotsialno-demograficheskoye razvitiye Belgorodskoy oblasti izmenyayushcheysha Rossii [Social and Demographic Development of the Belgorod Region in a Changing Russia]. Moscow, Pabl. GEOS, 138 p.
- Chugunova N.V., Polyakova T.A., Morkovskaya D.N., Tkachev E.V. 2023. Polarization of the Space of the Old-Developed Region as a Factor of "Compression". Regional Geosystems, 47(2): 226–237 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-2-226-237>
- 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, 17(3): 98–108. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3168>.

Поступила в редакцию 30.10.2025;
поступила после рецензирования 19.11.2025;
принята к публикации 05.12.2025

Received October 30, 2025;
Revised November 19, 2025;
Accepted December 05, 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

Чугунова Надежда Васильевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Полякова Татьяна Анатольевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nadezhda V. Chugunova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Tatiana A. Polyakova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia