



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 5 2026



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 5 2026



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398 от 16.10.2015.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентирован на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Технический редактор

Доронкина Е. Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Корректор

Галенкина Е. С.,
Дудкина Н. А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.х.н., к.ф.-м.н., проф. *Алоев В. З.* (Нальчик); д.г.н., доцент *Андреева Е. С.* (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент *Анищенко Л. Н.* (Брянск); д.т.н., проф. *Бейсембаев К. М.* (Караганда); д.б.н., доцент *Белоус О. Г.* (Сочи); д.г.-м.н., к.т.н., проф. *Бондарев В. И.* (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. *Гавришин А. И.* (Новочеркасск); д.т.н., профессор *Галкин А. Ф.* (Якутск); д.с.-х.н. *Горянин О. И.* (Самара); д.с.-х.н., доцент *Григорьев М. Ф.* (Кемерово); д.с.-х.н., проф. *Данилин И. М.* (Красноярск); д.х.н., проф. *Дресвянников А. Ф.* (Казань); д.с.-х.н., проф. *Залесов С. В.* (Екатеринбург); д.б.н., доцент *Захарченко А. В.* (Тюмень); д.г.-м.н., доцент *Копылов И. С.* (Пермь); д.с.-х.н., проф. *Костылев П. И.* (Зерноград); д.с.-х.н. *Коцарева Н. В.* (Белгород); д.б.н., проф. *Ларионов М. В.* (Саратов); д.ф.-м.н., проф. *Лерер А. М.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., к.б.н., проф. *Луговской А. М.* (Москва); д.т.н., проф. *Мусаев В. К.* (Москва); д.с.-х.н. *Никитин С. Н.* (Ульяновск); д.с.-х.н., доцент *Сокольская О. Б.* (Саратов); д.т.н., проф. *Степанов В. В.* (Санкт-Петербург); д.т.н. *Теплухин В. К.* (Октябрьский); д.с.-х.н., проф. *Титов В. Н.* (Саратов); д.т.н., доцент *Ульрих Е. В.* (Кемерово); д.ф.-м.н., проф. *Ширанов Д. Ш.* (Улан-Удэ); д.г.-м.н., проф. *Юргенсон Г. А.* (Чита); д.г.н., проф. *Яковенко Н. В.* (Воронеж); д.т.н., проф. *Ямалетдинова К. Ш.* (Уфа).

ISSN 1681-7494

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,976

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,458

Периодичность	12 номеров в год		
Учредитель, издатель и редакция	ООО ИД «Академия Естествознания»		
Почтовый адрес	105037, г. Москва, а/я 47		
Адрес редакции и издателя	440026, обл. Пензенская, г. Пенза, ул. Московская, влд. 27		
Типография	ООО «НИЦ Академия Естествознания» 410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5		
E-mail	edition@rae.ru	Телефон	+7 (499) 705-72-30
Подписано в печать	29.05.2026	Дата выхода номера	29.06.2026
Формат	60x90 1/8	Усл. печ. л.	13,75
Тираж	1000 экз.	Заказ	УСЕ 2026/5

Распространяется по свободной цене

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. **Certificate – PI No. FS 77-63398** dated October 16, 2015.

«**Advances in current natural sciences**» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (**HCC RF**). **K2**.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

Main scientific directions: 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

CHIEF EDITOR

Ledvanov Mikhail Yurievich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Technical editor

Doronkina E. N.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Corrector

Galenkina E. S.,

Dudkina N. A.

EDITORIAL BOARD

D.Sc., C.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Docent *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., C.Sc. Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocherkassk); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Yakutsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Docent *Grigoriev M.F.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tyumen); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc. *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Prof. *Larionov M.V.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Lerer A.M.* (Rostov-on-Don); D.Sc., C.Sc. Prof. *Lugovskoy A.M.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Musaev V.K.* (Moscow); D.Sc. *Nikitin S.N.* (Ulyanovsk); D.Sc., Docent *Sokol'skaya O.B.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Stepanov V.V.* (Saint Petersburg); D.Sc. *Teplukhin V.K.* (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. *Titov V.N.* (Saratov); D.Sc., Docent *Ulrich E.V.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Shirapov D.Sh.* (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. *Yurgenson G.A.* (Chita); D.Sc., Prof. *Yakovenko N.V.* (Voronezh); D.Sc., Prof. *Yamaletdinova K.Sh.* (Ufa).

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,976

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,458

Periodicity	12 issues per year
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address	440026, Penza region, Penza, Moskovskaya st., bldg. 27
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5
E-mail	edition@rae.ru
Signed for print	29.05.2026
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	29.06.2026
Conditionally printed sheets	13,75
Order	YCE 2026/5

Distribution at a free price

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДЖУНГАРО-ЗАЙСАНСКОЙ МЕЖГОРНОЙ КОТЛОВИНЫ <i>Барышников С. Г., Сметанин Н. В., Барышникова О. Н.</i>8	8
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ МОНОГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАНЯТОСТИ ПО КАТЕГОРИЯМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (2024 ГОД) <i>Гневашева В. А.</i>16	16
АНАЛИЗ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО УРАЛА <i>Зуев Д. М., Коньшев Е. В., Русских А. С., Фадеева С. М.</i>22	22
ОПАСНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ <i>Козырева Ю. В., Ненашева Г. И., Слажнева С. С.</i>30	30
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА НЕДР «КУРЬЯН-2» В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ) <i>Липина Л. Н.</i>38	38
ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА И АВАНДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН В 2025 ГОДУ <i>Михалко А. С., Подобедова А. В., Решетняк О. С., Саятин В. В., Сазонов А. Д.</i>43	43
ДИНАМИКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ <i>Тимофеев М. А.</i>51	51
ВЛИЯНИЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ПЕРЕНОСОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ 2023–2025 ГОДОВ В ПОСЕЛКЕ СМЫЧКА <i>Харченко С. А., Ганзей К. С.</i>59	59
НАУЧНЫЙ ОБЗОР	
АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ «ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»: ПЛЮРАЛИЗМ В ТРАКТОВКАХ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ <i>Ашихмина Т. В., Сидельников А. В.</i>67	67

Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)
СТАТЬИ

ЛИТОЛОГИЯ, СОСТАВ И ФОРМИРОВАНИЕ МАРКИРУЮЩЕГО
ГОРИЗОНТА ГЛАУКОНИТОВЫХ ПЕСЧАНИКОВ В ПОЗДНЕМ
АЛЬБЕ – РАННЕМ СЕНОМАНЕ (БАХЧИСАРАЙСКИЙ РАЙОН,
РЕСПУБЛИКА КРЫМ)

Кривошеин Р. А., Щеколдин Р. А.75

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ
РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА И АНАЛИЗ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Лапиков П. И., Яковлев Е. Ю.81

РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СКАРНОИДОВ ДАХОВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО
ВЫСТУПА (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

Латун С. В., Попов Ю. В.88

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)
СТАТЬЯ

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ
МОНТМОРИЛЛОНИТОВЫХ И КАОЛИНИТОВЫХ ЧАСТИЦ

Тютрина С. В., Мясникова Н. В., Ахметшин Б. С.95

Физико-математические науки (1.6.22)
СТАТЬЯ

К ВОПРОСУ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ
ПУНКТОВ НА «ОПАСНОМ КРУГЕ» ПРИ ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАСЕЧКЕ

Гурский И. Н., Солодунов А. А., Пишдаток С. К., Шичиях З. З.102

CONTENTS

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

NATURAL AND ECONOMIC SYSTEM OF THE DZUNGAR-ZAISAN INTERMOUNTAIN BASIN

Baryshnikov S. G., Smetanin N. V., Baryshnikova O. N.8

ECONOMIC GEOGRAPHY OF SINGLE-INDUSTRY TOWNS OF THE RUSSIAN FEDERATION: ANALYSIS OF EMPLOYMENT DISTRIBUTION BY SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT CATEGORIES

Gnevasheva V. A.16

ANALYSIS OF THE TOURIST POTENTIAL OF THE TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE NORTHERN URALS

Zuev D. M., Konyshov E. V., Russkikh A. S., Fadeeva S. M.22

DANGEROUS METEOROLOGICAL PHENOMENA IN THE ALTAI REGION

Kozyreva Yu. V., Nenasheva G. I., Slazhneva S. S.30

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE MINING INDUSTRY AND DEVELOPMENT OF LAND RECLAMATION MEASURES (USING THE EXAMPLE OF THE KURYAN-2 SUBSOIL SITE IN THE AMUR REGION)

Lipina L. N.38

CHARACTERISTICS OF PRODUCTION-DESTRUCTION PROCESSES IN THE EASTERN PART OF TAGANROG BAY AND THE DON RIVER AVANDELTA IN 2025

Mikhalko A. S., Podobedova A. V., Reshetnyak O. S., Sayapin V. V., Sazonov A. D.43

DYNAMICS OF GROWING SEASON LENGTH IN YAKUTIA

Timofeev M. A.51

THE IMPACT OF TRANSBOUNDARY TRANSFERS ON ATMOSPHERIC POLLUTION IN PRIMORSKY KRAI ON THE EXAMPLE OF 2023–2025 IN THE VILLAGE OF SMYCHKA

Kharchenko S. A., Ganzey K. S.59

REVIEW

ANALYSIS OF THE DEFINITION OF THE CONCEPT “GEOECOLOGICAL SYSTEM”: PLURALISM IN INTERPRETATIONS AND SYSTEMATIZATION OF TERMINOLOGY

Ashikhmina T. V., Sidelnikov A. V.67

Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)
ARTICLES

LITHOLOGY, COMPOSITION, AND FORMATION OF A MARKER
GLAUCONITIC SANDSTONE HORIZON (LATE ALBIAN – EARLY
CENOMANIAN) IN THE BAKHCHYSARAI AREA, CRIMEA

Krivoshein R. A., Schekoldin R. A.75

ASSESSMENT OF RADIONUCLIDE CONTENT IN SOILS
OF THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA AND ANALYSIS
OF THEIR SPATIAL DISTRIBUTION

Lapikov P. I., Yakovlev E. Yu.81

RESULTS OF MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL
STUDIES OF SKARNOIDS FROM THE DAKHOVSKY CRYSTALLINE
LEDGE (GREATER CAUCASUS)

Latun S. V., Popov Yu. V.88

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)
ARTICLE

THE EFFECT OF THE ULTRASONIC FIELD ON THE SORPTION
CAPACITY OF MONTMORILLONITE AND KAOLINITE PARTICLES

Tyutrina S. V., Myasnikova N. V., Akhmetshin B. S.95

Physical and mathematical sciences (1.6.22)
ARTICLE

ON THE ISSUE OF QUICKLY DETERMINING THE POSITION
OF DESIGNATED POINTS ON THE "DANGER CIRCLE"
DURING REVERSE GEODETIC NOTATION

Gurskiy I. N., Solodunov A. A., Pshidatok S. K., Shichiyakh Z. Z.102



ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДЖУНГАРО-ЗАЙСАНСКОЙ МЕЖГОРНОЙ КОТЛОВИНЫ

¹Барышников С. Г. ORCID ID 0009-0005-2883-6760,

²Сметанин Н. В. ORCID ID 0009-0002-5599-7592,

²Барышникова О. Н. ORCID ID 0000-0002-8205-0970

¹*Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения
Российской академии наук, Барнаул, Российская Федерация;*

²*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный университет», Барнаул, Российская Федерация,
e-mail: kirillsimin8@gmail.com*

Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина располагается в центре Евразии, по её днису протекает река Черный Иртыш. В историческое время территория была частью Великого шелкового пути. В наши дни она активно развивается в рамках проекта «Большого освоения Запада Китая». В связи с этим усиливается давление на окружающую среду. Цель исследования – дать характеристику природно-хозяйственной системе Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины и обосновать рекомендации по снижению экологических ограничений развития региона. Метод палеогеографических и исторических аналогий позволил сопоставить события геологического прошлого и возможные последствия природных и природно-антропогенных изменений природной среды на территории Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины. В качестве современных аналогов рассматривались гидроузлы, существующие на реках Китая. Пространственное развитие экологических ситуаций устанавливалось на основе данных дистанционного зондирования Земли. Оценка потерь воды на испарение рассчитана для средней площади водоемов и на основе данных о технических параметрах канала Черный Иртыш – Карамай. Природные условия осложняют дальнейшее освоение ресурсов данной территории. Установлено, что в условиях аридного климата, за счет потерь воды из канала Черный Иртыш – Карамай и воды, испарившейся с поверхности оз. Зайсан, можно было бы обеспечить питьевой водой около трех миллионов человек или ежегодно орошать более 2000 гектаров сельхозугодий. Природно-хозяйственная система Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины представляет собой парадинамическое единство, в котором уровни озера Зайсан, Черного Иртыша с притоками обусловлены характером изменения тектонических процессов, климата и интенсивности антропогенного воздействия. В XXI веке наряду с традиционными отраслями хозяйства развиваются: угольная, нефтегазовая, металлургическая, нефтехимическая промышленности; машиностроение и переработка сельскохозяйственного сырья. Для минимизации экологических ограничений развития региона необходимо исключить потери при хранении и транспортировке воды, а также применять водосберегающие сельскохозяйственные технологии.

Ключевые слова: Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина, природно-хозяйственная система, экологические ограничения

NATURAL AND ECONOMIC SYSTEM OF THE DZUNGAR-ZAISAN INTERMOUNTAIN BASIN

¹Baryshnikov S. G. ORCID ID 0009-0005-2883-6760,

²Smetanin N. V. ORCID ID 0009-0002-5599-7592,

²Baryshnikova O. N. ORCID ID 0000-0002-8205-0970

¹*Institute of Water and Environmental Problems, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation;*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Altai State University», Barnaul, Russian Federation, e-mail: kirillsimin8@gmail.com*

The Dzungar-Zaisan Intermontane Basin is located in the center of Eurasia, with the Black Irtysh River flowing through its floor. Historically, the area was part of the Great Silk Road. Today, it is actively developing as part of the Great Western China Development Project. This is causing increasing environmental pressure. The aim of this study is to characterize the natural and economic system of the Dzungar-Zaisan Intermontane Basin and to substantiate recommendations for mitigating environmental constraints on the region's development. A method of paleogeographic and historical analogies allowed us to compare geological events and the possible consequences of natural and anthropogenic changes to the environment in the Dzungar-Zaisan intermountain basin. Hydroelectric power stations on Chinese rivers were considered as modern analogs. The spatial development of environmental situations was determined using Earth remote sensing data. Evaporation losses were estimated for the average area of the reservoirs and based on technical parameters of the Black Irtysh-Karamay Canal. Natural conditions complicate further development of the territory's resources. It has been established that, in an arid climate, water losses from the Black Irtysh-Karamay Canal and water evaporated from Lake Zaysan could provide drinking water for approximately three million people or irrigate over 2,000 hectares of agricultural land annually. The natural and economic system of the Dzungar-Zaisan intermountain basin represents a paradyamic unity, in which the levels of Lake Zaysan, the Black Irtysh, and its tributaries are determined by the nature of tectonic processes, climate change, and the intensity of anthropogenic impact. In the 21st century, alongside traditional economic sectors, coal, oil and gas, metallurgy, and petrochemical industries are developing, as well as mechanical engineering and agricultural processing. To minimize environmental constraints on regional development, it is necessary to eliminate losses during water storage and transportation and implement water-saving agricultural technologies.

Keywords: Dzungar-Zaisan intermountain basin, natural and economic system, environmental constraints

Введение

Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина располагается в центре Евразии, на ее территории находится точка, максимально удаленная от океанов ($46^{\circ}16,80'$ с. ш. и $86^{\circ}40,20'$ в. д.). По днищу котловины протекает река Черный Иртыш, которая впадает в озеро Зайсан, занимающее одноименную впадину. Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина отделена горными сооружениями, а в ее юго-восточной части пустыней Дзосотын-Элисуан от основных территорий республики Казахстан и Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая. Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина принадлежит бассейну Черного Иртыша, имеет общую геологическую историю, тенденции развития современных тектонических и климатических процессов.

В исторические времена население Джунгарии занималось скотоводством и растениеводством на орошаемых землях. Эта территория была частью Великого шелкового пути, которую контролировали джунгары, они грабили караваны, совершали нападения на поселения. Набеги прекратились после победы династии Цин над Джунгарским ханством, но историческая память уйгурского населения сохраняет определенный протестный потенциал. Для его снижения, в настоящее время, правительство Китая проводит политику выравнивания уровней экономического развития Западных и Восточных районов Китая [1]. Территория исследования входит в проект «Большого освоения Запада Китая», рассчитанный до 2050 г. Его реализация сопровождается усилением давления на окружающую среду. Современная территориальная организация хозяйства данного региона характеризуется исторической преемственностью, но с открытием месторождений полезных ископаемых и развитием промышленных технологий появились новые отрасли хозяйства, использующие местные минеральные ресурсы. Суровые природные условия Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины осложняют хозяйственное освоение этого региона.

Цель исследования: дать характеристику природно-хозяйственной системе Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины и обосновать рекомендации по снижению экологических ограничений развития региона.

Материалы и методы исследования

Метод палеогеографических и исторических аналогий позволил установить

сходство между событиями геологического прошлого и возможными последствиями современных природных и природно-антропогенных изменений природной среды на территории Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины. В качестве современных аналогов рассматривались гидроузлы, созданные на реках Китая [2]. Пространственное развитие экологических ситуаций исследовалось на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Оценка потерь воды на испарение с поверхности оз. Зайсан рассчитана для средней площади водоема, а с поверхности воды в канале Иртыш – Карамай – на основе данных [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Джунгаро-Зайсанская межгорная котловина представляет собой комплекс выровненных поверхностей, сформировавшихся на разных этапах геологической истории. Они отличаются геологическим строением, морфометрическими особенностями и относятся к различным геоморфологическим формациям [4, с. 26-28]: современных транзитных аллювиальных равнин, пластовых равнин, эоловых равнин, пролювиальных наклонных равнин, денудационного и линейного мелкосопочников.

Самое молодое геоморфологическое образование – это современная долина Черного Иртыша, структурными элементами которой являются: пойма, первая и вторая надпойменные террасы. Мощность их аллювия соответствует зонам тектонических опусканий и достигает шести метров. Осадочные отложения долины не ограничивают свободное развитие русловых процессов, формируется сегментно-гравистая пойма, с наложенными на её поверхность дельтами правых притоков Черного Иртыша. В поймах рек произрастают: тополь разнолистный (*Populus heterophylla* L.), лох (*Eleagnus angustifolia*), ивы, гребенщик стройный (*Tamarix gracilis*). Террасированные склоны этой части долины осложнены слабо закрепленными барханными или грядовыми песками (рис. 1), которые создают риски для сельскохозяйственного освоения территории. Долина современного Иртыша выработана в отложениях пластовых равнин. В дельтах рек, примыкающих к руслу Черного Иртыша, возделывается культурная растительность. Но доминируют на территории исследования ассоциации опустыненных степей в сочетании с полынно-солянковыми и полынно-злаковыми сообществами.



Рис. 1. Участки озерной равнины: А – в Зайсанской впадине; Б – в Джунгарской котловине;
 В – золотые пески дельты и террас Пра-Иртыша в уезде Бурунчи;
 Г – пески на левом берегу Иртыша в уездах Хабахэ и Бурчун
 Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования

Пластовые равнины характеризуются наличием в фундаменте глинистых слоев раннего и среднего кайнозоя, на протяжении которого в Джунгаро-Зайсанской межгорной котловине существовал водоем значительно больших размеров, чем современное озеро Зайсан. После его регрессии сформировалась озерная равнина (рис. 1. А, Б), сложенная глинами, гипсом, суглинками и песками с линзами соли. В фундаменте этих пород залегает мощный слой древних и новейших рыхлых отложений. Озерная равнина возвышается над урезом воды на 10-15 м и может достигать ширины более 30 км.

На поверхности встречаются временные озера с такырами. Плоские водоразделы заняты полынно-ковыльными, тырсово-типчаковыми степями и ковыльно-караганово-таволговыми сообществами на светло-каштановых почвах. В пустынях Джунгарии произрастают: саксаулы (*Haloxylon ammodendro*), джужгун (*Calligonum comosum*), эфедра (*Ephedra distachya*), осока (*Carex gunchorphyusa*), а на солончаках – солянки.

Еще один уровень равнин сформировался в неогеновое время (25 млн лет назад) после опускания Зайсанской впадины и поднятия Калбинского хребта, который стал преградой движению вод Пра-Иртыша в северо-западном направлении, образовалось озеро Зайсан и изменилось направление течения реки Иртыш при выходе из него [5; 6].

Основными источниками питания Пра-Иртыша в Сартанское время были ледниковые воды. Отложения русловой, пойменной и дельтовой фаций бывшей реки распространены в центральной части района исследования. На днище призайсанской долины Черного Иртыша обнаружены [7] фрагменты русла Пра-Иртыша, а на предгорной равнине, перекрытой отложениями щебня и галечника, дельты его притоков. Последние в настоящее время располагаются существенно выше современного базиса эрозии, что указывает на новейшие погружения днища котловины. К древним дельтам приурочены массивы сельскохозяйственных угодий, которые подвергаются ветровой эрозии.

Переходное положение между озерными ступенчатыми равнинами и горами Алтая занимает пролювиальная наклонная равнина, сформировавшаяся в эпоху тектонического покоя. В ее фундаменте находится мел-палеогеновая кора выветривания, с отложениями которой связаны месторождения благородных металлов. На предгорных наклонных равнинах преобладают опустыненные степи на светло-каштановых почвах. Они представлены полынно-дерновинно-злаковыми сообществами из ксерофитных злаков (*Festuca valesiaca*, *Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *S. sareptana*) и полыней (*Artemisia sublessingiana*, *A. gracilescens*,

A. marschalliana). На холмистых равнинах, расположенных в предгорьях, произрастают разнотравно-типчаково-ковыльные степи, а по ложбинам стока тырсовые степи сочетаются с зарослями караганы (*Caragana camilli-schneideri*) на лугово-каштановых промытых почвах. Для Джунгарской котловины характерны сообщества с доминированием ковылька (*Stipa orientalis*).

В северной части Зайсанской котловины существуют вытянутые возвышенности шириной до 5 км и протяженностью до 50 км. Они могут быть отнесены к геоморфологической формации форбергов [7] и представляют собой признак поднятия периферических частей межгорных впадин. Эти процессы должны учитываться при создании и эксплуатации гидротехнических сооружений на территории исследования. На склонах сопок Южного Алтая распространяются полынно-тырсово-ковыльковые сообщества на щебнистых бурых почвах. В нижних частях склонов они переходят в дерновинно-злаково-холоднополынные

сообщества на светло-каштановых сильно щебнистых малоразвитых почвах.

Важное значение для хозяйственного использования территории имеет исследование закономерностей формирования эоловой равнины [8], относящейся к геоморфологической формации наложенного типа. Ее образование началось в позднем плейстоцене-голоцене в процессе эолового переноса песков из долины Пра-Иртыша. Поверхность песчаных эоловых равнин отличается бугристо-западинным или грядовым рельефом (рис. 1 В, Г). На днище Джунгарской котловины песчаные массивы лишь частично закреплены растительностью. В соответствии с преобладанием ветров юго-западного и южного направлений на расстоянии 80-150 км от области питания, песок перемещается ветром и формирует наложенные эоловые формы на водоразделе рек Бурчун и Карасу, где высота барханов достигает 70 метров, а в левобережье реки Бурчун песком покрываются сельскохозяйственные поля (рис. 2А).

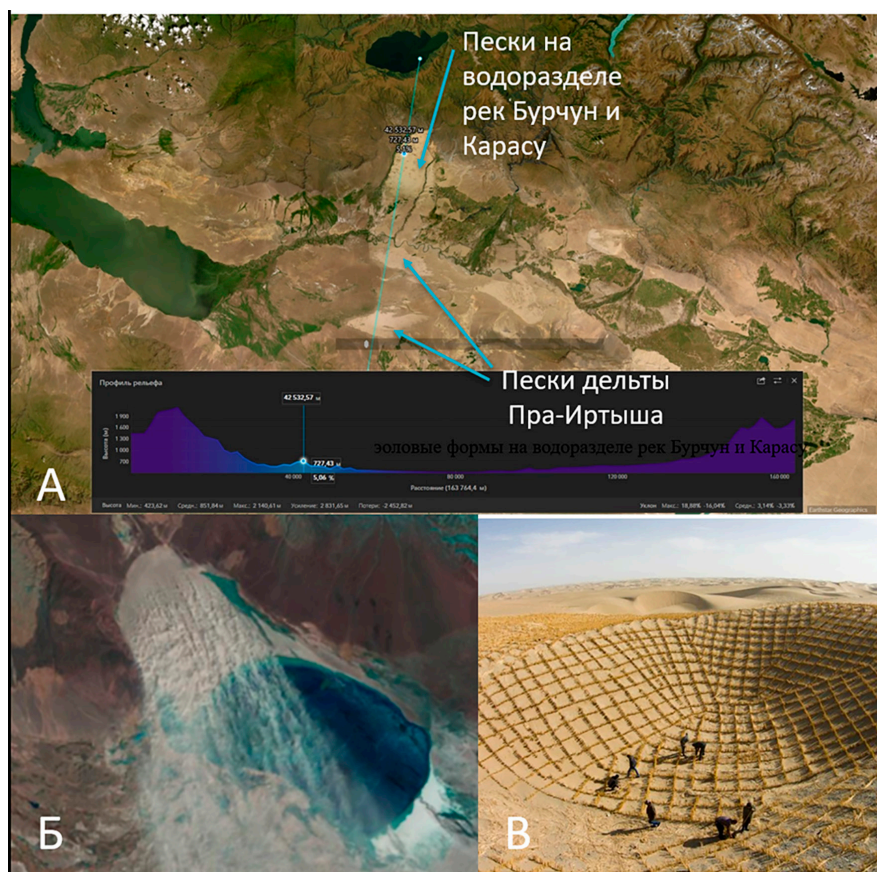


Рис. 2. Ветровая эрозия и способы борьбы с ней: А – песчаный массив на водоразделе рек Алкабек и Бурчун и его область питания; Б – эоловый перенос соли из котловины оз. Эби-Нур (снимок LANDSAT-5 TM); В – строительство кольцевой лесополосы вокруг пустыни Такла-Макан
Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования

Результаты расчета потерь воды на испарение из водохранилищ, каналов

Объект исследования	Количество испарившейся воды	Площадь или протяженность объекта
Черный Иртыш – Карамай	4,24 км ³ в год 34 300 000 м ³ /год 34 300 000 000 л/год	571 км, ширина 6 м Площадь зеркала воды – 3426 км ²
Зайсан	36 600 000 м ³ /год (пустыня); 18 100 000 м ³ /год (степь); 36 600 000 000 л/год (пустыня) 18 100 000 000 л/год (степь)	До сооружения Бухтарминской ГЭС площадь озера составляла 1830 км ² , длина 140 км, ширина около 30 км

Примечание: составлено авторами на основе источника [3] и данных, полученных в ходе исследования.

Конфигурация горных сооружений, обрамляющих Джунгаро-Зайсанскую котловину, усиливает климатический эффект внутриконтинентального положения территории и создает явление орографической континентальности, которая выражается в формировании резко континентального климата ($K_k=10$, Σt_{10} от 2600 до 3000 °С, r от 100 до 200 мм, K_u от 0,2 до 0,1). Среднегодовое количество осадков составляет 200 мм в западной части и 100 мм в восточной части района исследования. В предгорьях, благодаря барьерному эффекту гор, количество осадков возрастает до 600 мм. Особенностью климата является частая повторяемость высоких скоростей ветра.

В условиях дефицита осадков, значительных суточных и сезонных амплитуд температуры воздуха активно протекает физическое выветривание и дефляция, происходит соленакопление в почвах. В течение всего вегетационного периода в почве наблюдается недостаток влаги. В предгорной зоне, где влагообеспеченность повышается, встречается дикорастущая люцерна – ценная кормовая культура. Степные ландшафты представляют собой естественные пастбища, на которых кормятся: дикий верблюд, кулан, дикая лошадь Пржевальского (тахь), джейран, антилопа сайгак.

На протяжении многих веков в регионе было развито пастбищно-кочевое скотоводство, которое сопровождалось изменением видового состава травостоя, снижением продуктивности лугов, эрозийными процессами, сокращением ареала древесно-кустарниковой растительности. Тем не менее животноводство остается основной отраслью специализации хозяйства Джунгаро-Зайсанской природно-хозяйственной системы [9; 10]. В бассейне Черного Иртыша разводят верблюдов и лошадей. Это важнейший для Китая район пастбищного скотоводства.

Среди земель, перспективных для выгона скота, более 47% занимают опустыненные степи и пустыни; 29% – степи; 23,5% – луга; 2% – заболоченные участки. Для предотвращения процессов дигрессии, среди которых наибольшую опасность представляет золотой перенос незакрепленного субстрата, необходима оценка емкости пастбищ. Для водных экосистем актуально нормирование вылова рыбы. Рыболовство развито на озере Зайсан, а в верхнем течении Черного Иртыша оно запрещено.

Земледелие развивается в оазисах и на орошаемых землях. Растениеводство представлено зерновым хозяйством (пшеница, кукуруза, рис), хлопководством, льноводством, овощеводством (сахарная свёкла и др.). В предгорьях существует плодоводство и виноградарство. В долине Черного Иртыша на долю орошаемых сельхозугодий приходится около 96% от общей площади пашни. Последние приурочены к древним и современным дельтам притоков Черного Иртыша и к речным террасам (рис. 2А), сложенным мелкозернистыми песчаными, супесчаными и суглинистыми грунтами. После полива загрязненные воды с полей попадают в Черный Иртыш. Они несут с собой сложное окисляемые органические вещества, пестициды, нитраты и нитриты. На орошаемых полях, в условиях мощного испарения, происходит вторичное засоление.

Естественной реакцией населения на дефицит воды является создание водохранилищ и прудов. С конца XX века для решения проблем водоснабжения осуществляется переброска вод по открытым каналам системы Иртыш – Карамай – Урумчи, на что тратится 10-11% от общего объема стока Черного Иртыша [3]. Обсуждается проект продления канала до оз. Эби-Нур, расположенного в зоне крайне высокой испаряемости. Это наряду с временным эффектом

стабилизации уровня оз. Эби-Нур и обеспечения водой сельхозугодий приведет к дополнительным потерям воды на испарение (табл.) не только из-за высокой температуры воды, но и иссушения ветром (рис. 2Б), весной и осенью высока повторяемость пыльных бурь. За счет потерь воды из канала Черный Иртыш – Каратай можно обеспечить питьевой водой около двух миллионов человек, из расчета 18 250 л/(чел./год), или ежегодно орошать 1608 гектаров сельхозугодий. Водой, испарившейся с поверхности оз. Зайсан, – 991 781 человек и 862 га/год.

В настоящее время на территории округа Алтай построены водохранилища и две ГЭС на реке Бурчун: Бурчун-Чункур (2009) и Бурчун-Шанькоу (2014) [11], увеличилось потребление воды на промышленные и сельскохозяйственные нужды. По этой причине за последние 30 лет объем стока, поступающего с территории Китая в Казахстан, уменьшился почти в три раза [12], что привело к понижению уровня озера и заболачиванию дельты Черного Иртыша. Дальнейшее падение уровня воды в нем вызовет врезание реки Черный Иртыш и ее притоков, более активный вынос аллювия, формирование террас и осушение сельхозугодий на территории округа Алтай (СУАР, Китай), что нивелирует эффект от создания ирригационных систем. Водоохранилища небольшого объема, созданные на горных и полугорных реках округа Алтай, быстро заносятся аллювием. Задержка наносов в их чашах и регулирующие сбросы активизируют глубинную эрозию в их нижних бьефах, а посадка уровней приводит к понижению грунтовых вод на пойме и увеличению гидростатического давления на плотину [2], которое может вызывать аварийные ситуации. Они имели место в 2013 и 2016 годах, а в 2024 году произошёл прорыв плотины на реке Бурчун. Поток воды от гидропоста Наньвань (СУАР) увеличился до 2070 м³/с. После впадения р. Бурчун в Черный Иртыш уровень последнего (гидропост Боран) поднялся до 543 см – это на 18 см выше критического уровня [13]. Расход воды в реке Черный Иртыш на гидропосту Боран при этом достигал 1700 м³/с. Казахская сторона увеличила сброс воды из Усть-Каменогорского водохранилища (контррегулятор Бухтарминского водохранилища) в среднем с 500 до 800 кубометров в секунду, трагедии удалось избежать.

Дальнейшее развитие экономики СУАР неизбежно влечет за собой рост населения, энергопотребления и строительство новых

ГЭС, а также рост изъятия воды из Черного Иртыша. Строятся 13 новых водохранилищ малой и средней мощности и ГЭС – «Цяобатэ». К 2030 году вслед за ростом населения на 15% суммарное водопотребление может достигнуть 4,5 км³ [12; 14]. Это обусловлено тем, что отраслями специализации хозяйства района исследования становятся: водоемкое нефтехимическое производство и энергоёмкое машиностроение.

На территории располагается Зайсанская нефтегазоносная область (Казахстан) и месторождение Каратай (Китай). Запасы последнего составляют: 1,955 млрд тонн нефти и 109,1 млрд кубометров природного газа. Ежегодная добыча достигает более 20 млн тонн нефтяного эквивалента в год. Неизбежное нефтяное загрязнение в аридных ландшафтах Зайсано-Джунгарской впадины исчезает быстрее, чем в северных районах, а с применением биоремедиации разложение нефтепродуктов происходит за несколько месяцев [15]. Из-за большого количества солнечной радиации быстро разлагаются нефтепродукты и нефть. Самоочищение водным путем идет медленно, так как годовой слой стока не превышает 30–10 мм. Дефицит воды является основным фактором, сдерживающим дальнейшее развитие всего региона.

На территории исследования ведется разработка месторождений угля (Джунгарское и Зайсанское), строительных материалов (ТОО «СМУ–Шыгыс»), добыча соли и соды. Производятся удобрения (ООО «Чжэнчжоу Шанда Биотек», СУАР), пиломатериалы, фанера «Синьцзян-Линьюань» и мебель. В округе Алтай ведется обработка кожи и шерсти, производство хлопчатобумажных тканей и продукции швейной промышленности. Пищевая промышленность представлена производством муки, мяса (более 1 000 000 тонн баранины и говядины). Существенное значение для экономики района имеет таможенный переход, через который осуществляется торговля с Китаем. Последний реализует инфраструктурные проекты для интенсификации взаимодействия с приграничными регионами и странами. Новая зона приграничной торговли между КНР и Казахстаном открылась в районе КПП Цзимунай, который является важным коридором международной торговли Китая с Казахстаном, Россией и другими странами. Пропускная способность КПП – 200 тыс. тонн и 100 тыс. человек в год. Постепенно формируется единая инфраструктурная сеть, обеспечивающая международную торговлю [16].

В процессе реализации проекта «Большого освоения Запада Китая» может быть поглощен весь сток Черного Иртыша, который формируется до вреза канала Иртыш – Карамай – Урумчи. Прогноз возможных последствий для экономики региона должен создаваться с учетом ожидаемого изменения объема стока реки под влиянием природных факторов [15] и структуры водопотребления. В настоящее время большая часть пресной воды расходуется на нужды сельского хозяйства – 49 860 млн м³/год; промышленности – 1137 млн м³/год; коммунально-бытового хозяйства – 1288 млн м³/год. Исходя из того, что 65% от объема водопотребления использует сельское хозяйство, необходимо применение водосберегающих технологий: капельное орошение, поливы через экраны из интерполимерного комплекса; использование защитного слоя (мульчи) на бороздах, лазерное выравнивание, применение специальных добавок, использование галафитов, создание на поверхности водоемов тростниковых матов для выращивания сельскохозяйственных культур. Перечисленные меры позволят существенно снизить расходы воды на суммарное испарение и предупредить вторичное засоление орошаемых массивов. На территории СУАР успешно внедряется традиционная технология для предотвращения миграции песчаных отложений (рис. 2В). На песках пустыни Такла-Макан было высажено 3 000 км лесных полос общей площадью более 30 млн га, доля лесов возросла с 10% до 25%. Необходимо также внедрение агроландшафтной системы земледелия [17].

Современная экологическая ситуация на территории Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины изменяется от удовлетворительной в горах Алтая, где преобладает традиционное природопользование и взаимодействие этнических групп населения, до критической в долине Черного Иртыша [18], где преобладает орошаемое земледелие, а в растениеводстве занято преимущественно уйгурское население. Из-за нарастающей аридизации климата, понижения уровня грунтовых вод возможна потеря урожайности сельхозкультур, активизация эоловых процессов и, как следствие, – снижение уровня жизни коренного населения.

Заключение

Природно-хозяйственная система Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины формировалась на протяжении многих веков. Традиционными отраслями хозяй-

ства являются животноводство и растениеводство на орошаемых землях. В XX веке существенно возросла роль горнодобывающей (угольная, нефтегазовая, металлургическая) и нефтехимической промышленности, отраслей машиностроения и переработки сельскохозяйственного сырья. Рыночная специализация хозяйства базируется на местных природных ресурсах, но дальнейшее экономическое развитие сдерживается дефицитом воды. Джунгаро-Зайсанская природно-хозяйственная система представляет собой парадинамическое единство, в котором уровни озера Зайсан, Черного Иртыша с притоками обусловлены характером изменения тектонических процессов, климата и интенсивности антропогенного воздействия. Особенности природы Джунгаро-Зайсанской межгорной котловины определяют пороги дальнейшего развития. Для минимизации экологических ограничений необходимо исключить потери при хранении и транспортировке воды, а также применять водосберегающие сельскохозяйственные технологии.

Список литературы

1. World Bank. China Economic Update, December 2020: From Recovery to Rebalancing – China's Economy in 2021. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2020. 56 p.
2. Чалов Р. С., Чжао Е., Волкова Т. И., Лю Ш., Чалов С. Р., Завадский А. С. Влияние гидроузлов на русловые процессы в нижнем течении рек Хуанхэ и Янцзы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. С. 67-75. URL: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/176?locale=ru_RU (дата обращения: 22.03.2026).
3. Терехов А. Г. Технические характеристики водного канала Кара-Ерчис-Урумчи: спутниковые оценки // Гидрометеорология и экология. 2018. № 4. С. 63–74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskie-harakteristiki-vodnogo-kanala-kara-ertis-urumchi-sputnikovyie-otsenki> (дата обращения: 07.04.2026).
4. Новиков И. С. Геоморфологические формации юга Западной Сибири и прилегающих территорий // Геоморфология и палеогеография. Т. 55. № 4. 2024. С. 26–41. DOI: 10.31857/S2949178924040037.
5. Малолетко А. М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: Томский государственный университет, 2008. 288 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000350177> (дата обращения: 04.03.2026) ISBN: 5-94621-266-4.
6. Деев Е. В., Зольников И. Д., Курбанов Р. Н. Проблема мегапаводков и катафлювиальных отложений в понимании четвертичной истории северной Евразии (от редколлегии) // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 55 (4). С. 5-12. DOI: 10.31857/S2949178924040014. EDN: FHCGIW.
7. Мамедов Г. М., Новиков И. С. Геоморфология Джунгарской равнины и ее горного обрамления // Геоморфология. 2015. № 1. С. 88-100. DOI: 10.15356/0435-4281-2015-1-88-100.
8. Зыкина В. С., Зыкин В. С., Маликова Е.Л. Лёссово-почвенная последовательность и эоловый рельеф плейстоцена Западной Сибири: хронология и особенности их формирования // Геоморфология и палеогеография. 2024.

Т. 55. № 2. С. 34-62 URL: <https://journals.eco-vector.com/2949-1789/article/view/660702> (дата обращения: 07.04.2026).

9. Черных Д. В. Ландшафтные основы формирования и оптимизации территориальной организации природопользования в горах (на примере гор Южной Сибири) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2016. № 2 (41). С. 22-31 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/landshaftnye-osnovy-formirovaniya-i-optimizatsii-territorialnoy-organizatsii-prirodopolzovaniya-v-gorah-na-primere-gor-yuzhnoy-sibiri/viewer> (дата обращения: 07.04.2026).

10. Черных Д. В., Лубенец Л. Ф. Дробное природно-хозяйственное районирование Алтае-Саянского горного региона: опыт выделения субрегиональных природно-хозяйственных систем // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2016. № 3 (42). С. 13-26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/drobnoe-prirodno-hozyaystvennoe-rayonirovanie-altae-sayanskogo-gornogo-regiona-opyt-vydeleniya-subregionalnyh-prirodno> (дата обращения: 07.04.2026).

11. Зонн И. С., Жильцов С. С., Семенов А. В., Костяной А. Г. Трансграничные реки Казахстана и Китая // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2018. № 4 (27). С. 82-90. URL: <https://vestnik-mui.v.ru/article/transgranichnye-reki-kazakhstan-i-kitaya/> (дата обращения: 07.04.2026). DOI: 10.21777/2587-554X-2018-4-82-90.

12. Михайлова Н. И., Логиновская А. Н. Прошлое, настоящее и будущее водной системы Зайсан-Иртыш // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proshloe-nastoyashee-i-budushee-vodnoy-sistemy-zaysan-irtysh> (дата обращения: 14.02.2026).

13. Министерство водных ресурсов и ирригации Казахстана сообщило о прорыве дамбы в Китае, 22 мая 2024. URL:

<https://ru.sputnik.kz/20240522/dambu-prorvalo-v-kitae---na-vo-stoke-kazakhstan-povyshaetsya-uroven-vody-44483556.html> (дата обращения: 07.04.2026).

14. Зиновьев А. Т., Кошелева Е. Д. Произошедшее и ожидаемое изменение объема стока рек Обь-Иртышского бассейна под влиянием природно-климатических факторов // Вопросы географии. Сб. 145: Гидрологические изменения. М.: Кодекс, 2018. С. 77-88. URL: <http://www.igras.ru/sites/default/files/%D0%92%D0%93-145.pdf> (дата обращения: 07.04.2026).

15. Кужамбердиева С. Ж., Нарманова Р. А., Радкевич М. В. Эффективность биоремедиации нефтезагрязненных почв с использованием адаптированных микробных консорциумов в условиях аридного климата республики Казахстан // Universum: химия и биология. 2025. № 8 (134). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/20514> (дата обращения: 07.04.2026).

16. Глянц М. Китайская инициатива «Один пояс — один путь»: что может сделать «бренд» // Проблемы постсоветского пространства. 2017. № 4 (1). С. 8-19. DOI: 10.24975/2313-8920-2017-4-1-8-19.

17. Кочуров Б. И., Лобковский В. А. Агрорландшафтная система земледелия как фундаментальная технологическая программа борьбы с опустыниванием земель // Проблемы региональной экологии. 2021. № 2. С. 44-51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agrolandshaftnaya-sistema-zemledeliya-kak-fundamentalnaya-tehnologicheskaya-programma-borby-s-opustynivaniem-zemel> (дата обращения: 07.04.2026).

18. Барышников С. Г. Геоэкологические проблемы в трансграничном бассейне реки Иртыш // Вопросы степеведения. 2025. № 4. С. 48-60. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-4-48-60.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ МОНОГОРОДОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: АНАЛИЗ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАНЯТОСТИ ПО КАТЕГОРИЯМ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (2024 ГОД)**

Гневашева В. А. ORCID ID 0000-0002-3596-661X

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный институт международных отношений (университет)
Министерства иностранных дел Российской Федерации», Москва, Российская Федерация,
e-mail: vera_cos@rambler.ru*

Монопрофильные организации представляют собой специфические территориально-хозяйственные системы, характеризующиеся высокой зависимостью от географической и экономической конъюнктуры, а также повышенной уязвимостью в отношении внешних шоков и провалов рынка. Подобная ситуация обуславливает необходимость постоянного мониторинга пространственного развития и структурных трансформаций территорий расположения монопрофильных организаций. Исследование направлено на выявление пространственных закономерностей распределения занятости в моногородах и оценку их взаимосвязи территориальной категоризацией в соответствии с социально-экономическими и географическими критериями. Материалами исследования выступают данные официальной статистики, в частности данные о среднесписочной численности работников по официальному реестру монопрофильных организаций за 2024 г. В работе применялись методы группировки в соответствии с категориями и выбранными социально-экономическими и географическими критериями, в сопряженности с федеральными округами РФ, рассчитывался индекс концентрации, проведен корреляционный анализ для проверки гипотез созависимости социально-экономической и географической зависимости. В ходе исследования установлено, что наибольшая доля трудовых ресурсов сосредоточена на территориях, отнесенных к группе среднего риска, что объясняется присутствием крупных промышленных центров, сохраняющих устойчивость и емкость рынка труда благодаря агломерационным эффектам и внутриотраслевым связям, несмотря на формальную уязвимость. Выявлена выраженная территориальная асимметрия, при которой ведущие позиции занимают восточные и центральные регионы, демонстрирующие умеренную поляризацию при общей фрагментации трудового потенциала. Сопоставление эмпирических данных с нормативной классификацией показало ограниченную прогнозную силу текущей категоризации, поскольку объем занятости не всегда отражает реальную степень адаптивности и сопряженности с территорией размещения. Полученные выводы подтверждают, что устойчивость монопрофильных поселений определяется не текущими объемами рабочих мест, а способностью локальных экономик формировать сетевые взаимодействия и диверсифицировать смежные производства. Результаты обосновывают переход от унифицированных мер государственной поддержки к адресным стратегиям пространственного развития, учитывающим отраслевую специфику и институциональный контекст каждого конкретного муниципалитета.

Ключевые слова: моногорода, экономическая география, занятость, региональное развитие, пространственное неравенство, градообразующие предприятия

**ECONOMIC GEOGRAPHY OF SINGLE-INDUSTRY
TOWNS OF THE RUSSIAN FEDERATION:
ANALYSIS OF EMPLOYMENT DISTRIBUTION
BY SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT CATEGORIES**

Gnevasheva V. A. ORCID ID 0000-0002-3596-661X

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry
of Foreign Affairs of the Russian Federation”, Moscow, Russian Federation,
e-mail: vera_cos@rambler.ru*

Single-industry organizations are specific territorial and economic systems characterized by high dependence on geographical and economic conditions, as well as increased vulnerability to external shocks and market failures. This situation makes it necessary to constantly monitor the spatial development and structural transformations of the territories of single-industry organizations. The purpose of this study is to identify spatial patterns of employment distribution in single-industry towns and to assess their relationship by territorial categorization in accordance with socio-economic and geographical criteria. The research materials are official statistics, in particular, on the average number of employees in the official register of single-industry organizations for 2024. The paper used grouping methods in accordance with categories and selected socio-economic and geographical criteria, in conjunction with the federal districts of the Russian Federation, the concentration index was calculated, and correlation analysis was performed to test hypotheses of codependency of socio-economic and geographical dependence. The study found that the largest share of labor resources is concentrated in areas classified as medium-risk, which is explained by the presence of large industrial centers that maintain the stability and capacity of the labor market due to agglomeration effects and intra-industry connections, despite formal vulnerability. A pronounced territorial asymmetry has been

revealed, in which the leading positions are occupied by the eastern and central regions, demonstrating moderate polarization with a general fragmentation of labor potential. A comparison of empirical data with the normative classification has shown limited predictive power of the current categorization, since the volume of employment does not always reflect the actual degree of adaptability and proximity to the location. The findings confirm that the sustainability of single-industry settlements is determined not by the current volume of jobs, but by the ability of local economies to form networks and diversify related industries. The results substantiate the transition from unified state support measures to targeted spatial development strategies that take into account the industry specifics and the institutional context of each particular municipality.

Keywords: single-industry towns, economic geography, employment, regional development, spatial inequality, urban enterprises

Введение

Моногорода представляют собой уникальный объект исследования экономической географии, сочетая черты локальной экономической специализации и высокой зависимости от конъюнктуры отдельных отраслей. В Российской Федерации, где исторически сложилась модель территориального развития, ориентированная на ресурсодобычу и крупную индустрию, проблема устойчивости монопрофильных поселений сохраняет высокую актуальность.

Согласно официальной классификации, моногорода РФ делятся на три категории в зависимости от социально-экономического положения:

- категория 1 – наиболее сложное положение, включая риски функционирования градообразующих организаций;
- категория 2 – наличие рисков ухудшения ситуации;
- категория 3 – стабильное социально-экономическое положение.

Проблема устойчивого развития моногородов Российской Федерации занимает центральное место в современных исследованиях по экономической географии и региональной экономике. Специфика данных территориальных образований, характеризующихся высокой зависимостью от градообразующего предприятия, требует комплексного анализа пространственных, институциональных и социально-экономических факторов их трансформации.

В современной научной литературе моногород определяется как специфическая социально-экономическая система, где пространственная организация хозяйства подчинена логике функционирования доминирующего предприятия. С точки зрения экономической географии критически важным является анализ территориальной структуры взаимосвязей между населенным пунктом и градообразующим субъектом, определяющим не только занятость, но и социальную инфраструктуру, миграционные потоки и инвестиционную привлекательность территории.

О. В. Рогач и А. В. Фролов в своей работе акцентируют внимание на кооперационных механизмах как факторе социально-экономического развития, подчеркивая, что интеграция малого и среднего бизнеса с крупными промышленными активами способна снизить риски монозависимости и стимулировать инновационную активность на локальном уровне [1]. Данный подход коррелирует с системным видением моногорода как узла в региональной производственно-логистической сети, где кооперация выступает инструментом повышения адаптивности территории к внешним шокам.

Д. М. Агвердиев проводит детализацию факторов, детерминирующих уязвимость моногородов, выделяя среди них: географическую периферийность, ограниченность трудовых ресурсов, инфраструктурную деградацию и институциональную инерцию [2]. С позиции экономической географии эти факторы формируют пространственные диспропорции, воспроизводящие центр-периферийные отношения внутри национальной экономической системы. Оценки устойчивости региональных систем приводятся в анализе Б. Р. Набиева, что подтверждает, что моногорода являются традиционным элементом российской экономической модели, унаследовавшим черты планового размещения производительных сил, что обуславливает необходимость адаптации современных инструментов развития к специфике их пространственной организации [3].

Одним из ключевых инструментов стимулирования кооперации в моногородах выступают территории опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР). А. В. Зубарев и Я. П. Мотякина на основе панельных данных 279 моногородов (2015–2021 гг.) демонстрируют, что присвоение статуса ТОР способствует росту числа действующих предприятий на 2–4 % в год присвоения и более чем на 8 % через два года, однако не приводит к статистически значимому снижению доли занятых на градообразующем предприятии [4]. Данный вывод указывает на то, что институциональ-

ные стимулы эффективны для количественного расширения бизнес-среды, но требуют дополнения мерами по качественной трансформации структуры занятости и развитию межфирменных кооперационных связей.

В контексте обеспечения экономической безопасности Е. А. Земсков рассматривает расширение географии зарубежных проектов ГК «Росатом» как фактор диверсификации рисков для атомных моногородов, подчеркивая роль внешнеэкономической кооперации в стабилизации локальных экономик [5]. Этот подход иллюстрирует масштабирование кооперационных моделей от локального до глобального уровня, что особенно актуально для высокотехнологичных монопрофильных центров.

Теоретически обосновываются понятия социальной инфраструктуры в контексте современных реалий моногородов, указывая на ее двойственную роль: с одной стороны, как фактора качества жизни, с другой – как элемента, интегрированного в производственно-территориальную систему градообразующего предприятия [6]. Л. А. Цой анализирует трансформацию социальной инфраструктуры, подчеркивая необходимость ее адаптации к изменяющимся демографическим и экономическим условиям, что требует кооперации между органами власти, бизнесом и гражданским обществом [7].

Ю. Ф. Аношина и Ш. Джакоби рассматривают пространственное развитие как инструмент улучшения экономики и социальной сферы, аргументируя, что сбалансированная территориальная организация способствует снижению издержек взаимодействия между экономическими агентами и повышает привлекательность моногорода для инвестиций [8]. Д. А. Баландин, И. Г. Ионова и С. С. Федосеева систематизируют ключевые подходы к исследованию моногородов в пространственном развитии, выделяя критерии полицентричности, связности и функциональной диверсификации как основы для разработки стратегий кооперационного развития [9].

М. А. Никонова и Е. В. Акинфеева акцентируют внимание на прогнозировании демографического положения, указывая, что миграционная привлекательность моногородов напрямую зависит от диверсификации экономики и развития кооперационных сетей, создающих альтернативные возможности занятости [10]. В условиях цифровизации Н. А. Богатов и Н. В. Шмелева предлагают алгоритмы принятия решений на основе больших данных для устойчивого

развития промышленных предприятий, подчеркивая роль цифровых платформ в оптимизации кооперационных взаимодействий внутри моногородов [11].

В исследованиях отмечается необходимость межведомственной и межтерриториальной координации для реализации кооперационных проектов в разного типа городах [12]. А. С. Туманов рассматривает передачу полномочий и контроль за их исполнением как фактор повышения эффективности управления, подчеркивая, что четкое разграничение ответственности между уровнями власти способствует снижению транзакционных издержек кооперационных процессов [13].

А. И. Товкач обобщает современные способы развития моногородов, выделяя кластерные инициативы, государственно-частное партнерство и развитие внутреннего туризма как направления кооперационной диверсификации [14]. Вместе с тем авторы единодушно отмечают, что успех кооперационных моделей зависит от учета пространственной специфики, институционального контекста и человеческого капитала каждого моногорода.

Проведенный анализ источников позволяет констатировать, что кооперация рассматривается в современной экономической географии как многоуровневый механизм, включающий межфирменные связи, институциональное взаимодействие, пространственную интеграцию и цифровую координацию. Наиболее перспективными направлениями дальнейших исследований представляются: (1) разработка типологии кооперационных моделей с учетом отраслевой и территориальной специфики моногородов; (2) оценка эффективности инструментов пространственного развития (ТОСЭР, ОЭЗ, агломерационные проекты) с позиции стимулирования кооперационных связей; (3) анализ роли человеческого капитала и социальных сетей в формировании устойчивых кооперационных практик. Только комплексный учет экономической географии, институциональной экономики и социальной политики позволит разработать адекватные стратегии трансформации моногородов в условиях современной экономической неопределенности.

Цель исследования – выявление пространственных закономерностей распределения занятости в моногородах Российской Федерации и оценка их взаимосвязи с официальной категоризацией территорий по социально-экономическому положению.

Материалы и методы исследования

Эмпирическую базу исследования составили официальные статистические данные о среднесписочной численности работников всех организаций, функционирующих на территории 319 монопрофильных муниципальных образований Российской Федерации за 2024 г. Выборка охватывает полный перечень официально признанных моногородов, что обеспечивает репрезентативность результатов и исключает риск смещения выборки.

Методологическую основу работы составил комплексный пространственно-статистический подход, направленный на выявление территориальных закономерностей распределения трудовых ресурсов и оценку их связи с институциональной категоризацией моногородов. Для достижения цели исследования применен набор взаимосвязанных количественных и картографических методов:

1. Метод группировки и сравнительного анализа. Данные систематизированы по двум ключевым классификационным признакам: официальной категории социально-экономического положения (категории 1, 2 и 3) и принадлежности к федеральным округам. Данный метод позволил выявить структурные диспропорции в концентрации занятости, определить территориальные полюса притяжения трудовых ресурсов и сопоставить формальный статус территорий с фактической емкостью локальных рынков труда.

2. Расчет индекса концентрации Херфиндаля – Хиршмана (ННН). Для оценки степени поляризации занятости внутри массива моногородов использована стандартная формула.

Расчет выполнен на межмуниципальном уровне для фиксации степени фрагментации или агрегации трудового потенциала.

3. Корреляционный анализ. Для проверки статистической связи между категорией моногорода и уровнем занятости применен расчет коэффициента корреляции Пирсона.

Данный метод использован для верификации гипотезы о наличии или отсутствии линейной зависимости между институциональной классификацией и абсолютными показателями трудоустройства, что позволяет оценить прогностическую ценность текущей системы категоризации.

Проведена типологизация по масштабу занятости. На основе кластерного принципа выделены три группы моногородов: крупные промышленные центры (свыше 50 тыс. работников), средние (10–50 тыс.) и малые (1–10 тыс.). Классификация проведена с целью оценки дифференциации управленческих подходов и выявления пороговых значений, при которых меняются механизмы устойчивости и уязвимости территории.

Обработка данных, расчет статистических показателей и проверка корреляционных связей выполнялись в табличном процессоре с применением встроенных аналитических функций. Достоверность результатов обеспечена применением верифицированных официальных источников, стандартизированной методикой расчета концентрационных индексов и перекрестной проверкой данных по федеральным округам.

Результаты исследования и их обсуждение

Общая численность работников во всех моногородах составила 2,84 млн чел., что отражает значительную долю занятости в специализированных территориальных образованиях (табл. 1).

Наибольшая концентрация занятости наблюдается в моногородах категории 2 (табл. 1), что может свидетельствовать о том, что территории с «рисками ухудшения» часто представляют собой крупные промышленные центры с высоким потенциалом, но уязвимые к внешним шокам.

Пространственная структура занятости

Анализ по федеральным округам выявил выраженную асимметрию (табл. 2).

Таблица 1

Распределение по категориям

Категория	Количество моногородов	Доля в общей численности работников, %	Средняя численность на моногород, чел.
Категория 1	112	38,2	9680
Категория 2	134	41,5	8790
Категория 3	73	20,3	7850

Примечание: составлена автором на основе анализа официальных статистических данных [15].

Таблица 2

Доля моногородов в совокупной занятости

Федеральный округ	Доля в совокупной занятости моногородов, %	Крупнейшие моногорода (численность > 50 тыс.)
Уральский	24,1	Нижний Тагил, Магнитогорск, Каменск-Уральский
Сибирский	21,3	Новокузнецк, Норильск
Приволжский	18,7	Тольятти, Набережные Челны, Нижнекамск
Северо-Западный	12,4	Череповец, Северодвинск, Кировск
Центральный	9,2	–
Южный	7,8	Каспийск, Новороссийск
Дальневосточный	6,5	Комсомольск-на-Амуре, Усолье-Сибирское

Примечание: составлена автором на основе анализа официальных статистических данных [15].

Череповец и некоторые другие города формально отнесены к моногородам, но имеют диверсифицированную экономику.

Индекс концентрации Херфиндаля – Хиршмана для распределения занятости по моногородам составил 0,042, что указывает на умеренную концентрацию: 15 крупнейших моногородов аккумулируют около 42 % всей занятости в данной группе территорий.

Рассматривая типологию моногородов по масштабу занятости, можно выделить: крупные промышленные центры (> 50 тыс. работников); средние моногорода (10–50 тыс.); малые моногорода (1–10 тыс.).

Результаты анализа подтверждают ограниченную прогностическую силу текущей трехуровневой классификации. Категории 1 и 3 демонстрируют близкие показатели средней численности работников (9680 и 7850 чел. соответственно), что нивелирует различия в управленческих подходах. Это указывает на необходимость внедрения многокритериальных индексов, учитывающих не только объем занятости, но и ее качество, уровень межфирменной кооперации, доступ к инфраструктуре ТОСЭР и цифровым платформам, что справедливо отмечают Н. А. Богатов и Н. В. Шмелева. Институциональные инструменты (ТОСЭР, ОЭЗ) действительно стимулируют количественный рост предприятий, как показывают А. В. Зубарев и Я. П. Мотякина, однако без развития кооперационных сетей и человеческого капитала они не способны снизить структурную уязвимость занятости.

С методологической точки зрения исследование опирается на агрегированные статистические данные за 2024 г., что позволяет зафиксировать структурный срез, но не отражает динамические процессы (сезонную миграцию, трансформацию за-

нятности в неформальном секторе, влияние внешнеэкономических ограничений на экспортно-ориентированные моногорода). Кроме того, расчет ННИ на муниципальном уровне не учитывает внутриотраслевую концентрацию, которая в сырьевых и энергоемких секторах может быть значительно выше. Будущие исследования целесообразно направить на верификацию полученных закономерностей с помощью панельных данных, интеграцию качественных индикаторов (удовлетворенность занятостью, трудовая мобильность) и разработку типологии моногородов на основе кластерного анализа по признакам экономической устойчивости и кооперационной связанности.

Таким образом, пространственное распределение занятости в моногородах РФ характеризуется выраженной территориальной поляризацией и слабой корреляцией с формальной категоризацией. Устойчивость монопрофильных территорий зависит не столько от текущего объема рабочих мест, сколько от способности градообразующих предприятий и локальных властей формировать кооперационные сети, диверсифицировать смежные отрасли и адаптировать социальную инфраструктуру к демографическим вызовам. Полученные выводы обосновывают переход от унифицированной государственной поддержки к адресным стратегиям пространственного развития, учитывающим отраслевую специфику, институциональный контекст и человеческий капитал каждого моногорода.

Заключение

Проведенный анализ подтверждает, что экономическая география моногородов Российской Федерации характеризуется выраженной пространственной неоднород-

ностью. Концентрация занятости в ограниченном числе крупных промышленных центров при одновременной фрагментации и уязвимости малых моногородов требует дифференцированного подхода к региональной политике управления.

Список литературы

1. Фролова А. В., Рогач О. В. Новые контуры развития кооперации в России // Социологические исследования. 2025. № 4. С. 35–45. DOI: 10.7868/S3034601025040032.
2. Агвердиев Д. М. Факторы формирования социально-экономических проблем моногородов Российской Федерации // Социально-гуманитарные технологии. 2023. № 3 (27). С. 29–36. EDN: HUWNMJ.
3. Набиев Б. Р. Социальный инновационный потенциал в контексте устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Экономика и предпринимательство. 2016. № 11–4 (76–4). С. 305–309. EDN: XGUUEB.
4. Зубарев А. В., Мотякина Я. П. Территории опережающего развития и занятость в моногородах Российской Федерации // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2024. Т. 59. № 3. С. 144–170. DOI: 10.55959/MSU0130-0105-6-59-3-7.
5. Земсков Е. А. Обеспечение экономической безопасности атомной энергетики Российской Федерации на основе расширения географии портфеля зарубежных проектов ГК «Росатом» // Russian Journal of Management. 2024. Т. 12. № 4. С. 159–163. DOI: 10.29039/2500-1469-2024-12-4-159-163.
6. Фролов А. А. Моногорода как традиционный элемент российской экономической системы: историко-политологический аспект // Вопросы национальных и федеративных отношений. 2023. Т. 13. № 10 (103). С. 4185–4196. DOI: 10.35775/PSI.2023.103.10.022.
7. Цой Л. А. Трансформация социальной инфраструктуры моногородов Российской Федерации // Социальная политика и социология. 2024. Т. 23. № 4 (153). С. 107–113. DOI: 10.17922/2071-3665-2024-23-4-107-113. EDN: WWZETL.
8. Аношина Ю. Ф., Джакоби Ш. Пространственное развитие как инструмент улучшения экономики и социальной сферы моногородов Российской Федерации // Социальная политика и социология. 2025. Т. 24. № 2 (155). С. 107–115. DOI: 10.17922/2071-3665-2025-24-2-107-115. EDN: OKXXRS.
9. Баландин Д. А., Ионова И. Г., Федосеева С. С. Ключевые подходы к исследованию моногородов в пространственном развитии Российской Федерации // Управленческий учет. 2023. № 3. С. 217–225. DOI: 10.25806/uu32023217-225.
10. Никонова М. А., Акинфеева Е. В. Прогнозирование демографического положения в моногородах Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. 2023. Т. 21. № 4 (511). С. 699–728. DOI: 10.24891/ге.21.4.699.
11. Богатов Н. А., Шмелева Н. В. Цифровизация алгоритмов принятия решений для устойчивого развития промышленных предприятий в моногородах Российской Федерации // Вестник российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева: Гуманитарные и социально-экономические исследования. 2025. № 16–2. С. 22–27. EDN: FYXZKT.
12. Дошатов А. А. Конституционно-правовая роль комиссий Государственного Совета Российской Федерации в обеспечении социально-экономического развития Российской Федерации // Правовая позиция. 2025. № 1 (62). С. 30–41. EDN: KAXFDW.
13. Туманов А. С. Передача полномочий Российской Федерации субъектам Российской Федерации и контроль за их исполнением: правовые и экономические аспекты // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Право. 2022. № 3 (50). С. 64–73. DOI: 10.17308/law/1995-5502/2022/3/64-73.
14. Товкач А. И. Современные способы развития моногородов в Российской Федерации // Экономика и бизнес: теория и практика. 2024. № 10–2 (116). С. 112–114. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-10-2-112-114.
15. Федеральная служба государственной статистики. Среднесписочная численность работников всех организаций по моногородам за 2024. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 01.04.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



АНАЛИЗ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО УРАЛА

^{1,2}Зуев Д. М., ¹Коньшев Е. В., ¹Русских А. С., ^{1,3}Фадеева С. М.

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Российская Федерация, e-mail: dzkizel@gmail.com;

²Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 33», Пермь, Российская Федерация;

³Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Краевой индустриальный техникум имени В. П. Сухарева», Пермь, Российская Федерация

Туризм становится ключевым драйвером развития удаленных территорий, однако отсутствие унифицированных количественных методик оценки туристского потенциала осложняет межмуниципальное сравнение и стратегическое планирование. Цель исследования – комплексная количественная оценка и пространственный анализ туристского потенциала муниципальных образований Северного Урала на основе метода анализа иерархий. Объектом исследования выступили 28 муниципальных образований Пермского края, Свердловской области, Республики Коми и Ханты-Мансийского автономного округа. Использован метод анализа иерархий Т. Саати. 23 показателя сгруппированы в четыре блока: природный, культурный, социально-экономический и инфраструктурный. Для типологии применен метод кластеризации DBSCAN. Интегральный индекс туристского потенциала (от 0 до 1) варьируется от 0,179 до 0,561 при среднем значении 0,325, что свидетельствует об умеренной дифференциации территории по уровню туристского развития. Коэффициент вариации составил 23,1 %. Наиболее вариативными являются культурный (55,5 %) и социально-экономический (45,7 %) компоненты. Выделено три кластера с различной структурой потенциала. Установлено, что территории с высоким природным потенциалом локализованы вдоль Уральского хребта, однако их интегральный потенциал сдерживается недостаточным уровнем инфраструктурного развития. Ханты-Мансийский автономный округ формирует особую модель туристского развития, ориентированную на культурно-событийный и деловой туризм. Впервые выполнена сопоставительная количественная оценка туристского потенциала муниципалитетов Северного Урала, результаты которой могут быть использованы при разработке мастер-плана развития территории. Предложенная методика может быть адаптирована для оценки туристского потенциала других горных территорий Российской Федерации. Полученные результаты позволяют обосновать приоритетные направления инвестирования в туристскую инфраструктуру и могут служить основой для межрегионального взаимодействия в сфере туризма.

Ключевые слова: туристский потенциал, Северный Урал, кластерный анализ, мастер-план, метод анализа иерархий

ANALYSIS OF THE TOURIST POTENTIAL OF THE TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE NORTHERN URALS

^{1,2}Zuev D. M., ¹Konyshov E. V., ¹Russkikh A. S., ^{1,3}Fadeeva S. M.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Perm State National Research University”, Perm, Russian Federation, e-mail: dzkizel@gmail.com;

²Municipal Autonomous General Education Institution “Gymnasium № 33”, Perm, Russian Federation;

³State Budgetary Professional Educational Institution “Regional Industrial College named after V. P. Sukharev”, Perm, Russian Federation

Tourism is becoming a key driver for the development of remote territories, but the lack of unified quantitative methods for assessing tourist potential complicates inter-municipal comparison and strategic planning. The aim of the study is a comprehensive quantitative assessment and spatial analysis of the tourist potential of municipalities of the Northern Urals based on the analytic hierarchy process. The object of the study was 28 municipalities of Perm Krai, Sverdlovsk Oblast, the Komi Republic and Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. The method of T. Saaty's analytic hierarchy process was used. 23 indicators are grouped into four blocks: natural, cultural, socio-economic and infrastructural. The DBSCAN clustering method was used for typology. The integral index of tourist potential (ranging from 0 to 1) varies from 0.179 to 0.561, with an average value of 0.325, which indicates a moderate differentiation of the territory by the level of tourist development. The coefficient of variation was 23.1 %. The most variable components are cultural (55.5 %) and socio-economic (45.7 %). Three clusters with different potential structures were identified. It has been established that territories with high natural potential are localized along the Ural Range, but their integral potential is constrained by an insufficient level of infrastructural development. Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug forms a special model of tourist development focused on cultural, event and business tourism. For the first time, a comparative quantitative assessment of the tourist potential of the municipalities of the Northern Urals has been carried out, the results of which can be used in the development of a master plan for the development of the territory. The proposed methodology can be adapted to assess the tourist potential of other mountain territories of the Russian Federation. The obtained results make it possible to justify priority areas for investment in tourist infrastructure and can serve as a basis for interregional cooperation in the field of tourism.

Keywords: tourist potential, Northern Urals, cluster analysis, master plan, analytic hierarchy process

Введение

Актуальность данной работы заключается в том, что в условиях современной экономики туризм становится катализатором развития экономики для удаленных территорий. Одной из тенденций развития современного туристского бизнеса является интенсивное освоение новых территорий, в том числе природных, слабо обеспеченных туристской инфраструктурой, но обладающих значительным туристско-рекреационным потенциалом. Оценка туристско-рекреационного потенциала является нетривиальной задачей. Ее реализация осложняется несовершенством статистического учета объектов туристской деятельности, особенно на муниципальном уровне, и отсутствием утвержденной и общепринятой методики.

Среди множества подходов к оценке туристского потенциала выделяется географический. Особенностью географического подхода является учет территориальных и пространственных особенностей местности и акцент на повышение уровня и качество жизни местного населения. Можно отметить, что теоретической основой исследования потенциала туристских территорий служат труды по рекреационной географии, в которых сформирована концепция территориальных рекреационных систем [1]. Учитывая иерархическую, функциональную, пространственную и процессуальную структуры территориальных рекреационных систем [2, с. 54–67], можно более полно описать компоненты туристско-рекреационного потенциала и их роль в формировании регионального капитала.

Результаты, полученные в ходе оценки туристского потенциала, в первую очередь применяются в сфере территориального планирования и управления. На данный момент в России территориальное планирование в туризме осуществляется в том числе и на основе мастер-планов [3]. В области развития теории и практики мастер-планирования на территории России можно отметить работы В. И. Кружалина [4; 5], в которых дано комплексное описание технологии разработки мастер-планов и приведена роль географических факторов для стратегического планирования в сфере туризма. Также в сфере мастер-планирования выделяются работы Н. В. Шабалиной и Е. Г. Кропиновой [4], где обосновывается необходимость применения комплексной методологии для стратегического планирования в сфере туризма.

В качестве территории для мастер-планирования в рамках данного исследования выступает Северный Урал. Территория Северного Урала неоднородна и требует особого подхода к туристско-рекреационному освоению [6]. В ее составе выделяется четыре туристских района и полюса недоступности (А. Ю. Королев) – территории, которые максимально удалены от транспортной и социальной инфраструктуры, что накладывает определенные ограничения, но создает потенциал для автономных видов туризма [7]. В целом Северный Урал рассматривается в качестве перспективной территории для формирования межмуниципального кластера [8].

Раскроем новизну данного исследования. Метод анализа иерархий ранее уже применялся для оценки туристского потенциала на примере Северо-Восточного Кавказа и других горных территорий России. Однако для Северного Урала комплексная количественная оценка на муниципальном уровне до настоящего времени не выполнялась. В отличие от предшествующих работ, где внимание акцентировалось преимущественно на природных или инфраструктурных факторах, данное исследование предлагает четырехкомпонентную модель, включающую природный, культурный, социально-экономический и инфраструктурный блоки. Модель объединяет 23 показателя и впервые охватывает все муниципальные образования горной части Северного Урала. Таким образом, несмотря на развитие методологии оценки туристского потенциала территории и мастер-планирования в сфере туризма, до настоящего времени отсутствовала комплексная количественная оценка туристского потенциала Северного Урала. Данная оценка выполнена на основе унифицированной методики и позволит проводить сопоставительный анализ в границах соответствующих субъектов РФ.

Проблематикой данного исследования выступает отсутствие комплексной оценки туристского потенциала для муниципалитетов Северного Урала, что препятствует комплексному развитию территории и межрегиональному взаимодействию [9].

Цель исследования – проведение комплексной оценки и пространственного анализа туристского потенциала муниципальных образований Северного Урала на основе метода анализа иерархии.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступают муниципальные образования в рамках физи-

ко-географического района Северного Урала и их соседи первого порядка. Проблемами развития туризма на территории Северного Урала занимались А. Ю. Королев и А. И. Зырянов [8]. В анализ включены соседи первого порядка, так как они обладают транспортными и культурными связями с Северным Уралом. Муниципалитеты распределены следующим образом: Пермский край – 7, Свердловская обл. – 9, Республика Коми – 6, Ханты-Мансийский Автономный Округ – 6, всего 28 муниципалитетов. Отбор показателей для оценки туристского потенциала основывался на подходе, апробированном в ряде географических исследований по схожей тематике [10; 11]. Также применение количественных методов для оценки туристского потенциала территорий можно увидеть в работах Х. Ш. Забураева и А. А. Шаипова [12] по оценке туристского потенциала в горных районах России.

Для комплексной оценки туристского потенциала был выбран метод анализа иерархий (АНР), так как он позволяет анализировать наборы данных с многочисленными разнородными критериями. Метод анализа иерархии для оценки туристского потенциала применяется по всему миру, в том числе в Испании, Вьетнаме и КНР [13]. Выбор метода обусловлен тем, что как правило, данные по туризму имеют сильный разброс: от единиц до миллионов. Кроме того, попарное сравнение данных позволяет обеспечить точность и прозрачность процесса оценки. Наиболее важным преимуществом для оценки туристского потенциала является возможность выставлять веса для компонентов оценки, так как для определенных территорий и видов туризма приоритетными будут разные группы показателей.

Данные для оценки были отнесены к четырем группам показателей: природному – объекты природы и природопользование, культурному – объекты культуры и широта их использования, социально-экономическому – показатели уровня жизни и благополучия граждан, инфраструктурному – объекты туристской инфраструктуры и их востребованность, всего показателей 23. Приведем примеры наиболее важных показателей в каждой группе показателей: природный блок включает ООПТ различного уровня, максимальную высоту в рамках муниципалитета и выбросы в атмосферу загрязняющих веществ. Культурный блок включает количество культурных заведе-

ний, мероприятий регионального значения и памятники архитектуры и истории. Социально-экономический блок включает показатели сальдо бюджета, заработную плату, естественный прирост и др. В инфраструктурный блок входит число размещенных лиц в средствах размещения, количество туристских организаций и число мест посадки в заведениях общепита.

Веса групп показателей и показателей внутри групп были определены экспертным путем. В состав экспертной группы вошли 3 специалиста в области рекреационной географии и территориального планирования – докт. геогр. наук А. И. Зырянов, канд. геогр. наук А. А. Сафарян, докт. геогр. наук А. Ю. Королев. Хотя для метода анализа иерархий в ряде исследований рекомендуется привлекать 5–7 экспертов, группа из трех специалистов является достаточной в данном случае по следующим причинам. Во-первых, все эксперты имеют высокую научную квалификацию, являются ведущими специалистами в области рекреационной географии и туристского районирования горных территорий. Во-вторых, коэффициент конкордации Кендалла ($W = 0,911$, $\chi^2 = 8,2$, $p = 0,042$) свидетельствует о высокой степени согласованности экспертных суждений, что подтверждает достаточность трех экспертов для получения статистически значимых и надежных весовых коэффициентов. Попарные сравнения критериев выполнялись по 9-балльной шкале относительной важности. Согласованность экспертных суждений оценивалась через расчет отношения согласованности для каждой матрицы парных сравнений. Все полученные значения согласованности не превысили порогового значения 0,1, что свидетельствует о приемлемом уровне согласованности экспертных оценок [14]. Итоговые веса групп составили: природный блок – 0,35, культурный – 0,20, социально-экономический – 0,15, инфраструктурный – 0,30.

Согласованность экспертных оценок проверялась с помощью коэффициента конкордации Кендалла. Для матрицы ранжирования четырех групп показателей (природный, культурный, социально-экономический, инфраструктурный) значение W составило 0,911 ($\chi^2 = 8,2$, $p = 0,042$), что свидетельствует о высокой степени согласованности экспертных суждений. Матрица парных сравнений для группы показателей «Природный компонент» представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица парных сравнений для группы «Природный компонент»

Показатель	ООПТ местные	ООПТ региональные	ООПТ федеральные	Макс. высота	Выбросы в атмосферу
ООПТ местные	1	1/3	1/4	1/2	2
ООПТ региональные	3	1	1/2	2	3
ООПТ федеральные	4	2	1	3	4
Макс. высота	2	1/2	1/3	1	2
Выбросы в атмосферу	1/2	1/3	1/4	1/2	1

Примечание: отношение согласованности (ОС) = 0,09 (< 0,1).

Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Перед применением метода необходимо провести обработку данных. В первую очередь была использована нормализация для приведения их к диапазону от 0 до 1. Нормализация позволяет добиться более корректных результатов при оценке, так как алгоритм при сравнении показателей между собой в рамках матрицы сможет ориентироваться на крайние значения диапазона данных. Некоторые показатели исчисляются единицами и десятками, а другие – сотнями тысяч и миллионами. Для приведения разнородных показателей к единому масштабу (от 0 до 1) использован метод min-max нормализации. В зависимости от характера влияния показателя на туристский потенциал применялись две формулы. Для показателей-стимуляторов (чем выше значение, тем лучше) – количество ООПТ, музеев, мероприятий, коллективных средств размещения, численность размещенных лиц, заработная плата и др. – нормализация выполнена по формуле

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (1)$$

Для показателя-дестимулятора «Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ» (чем выше выбросы, тем ниже природный потенциал) применена инверсия шкалы:

$$X_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (2)$$

Такая обработка обеспечивает единообразную интерпретацию всех показателей: большее значение нормализованного показателя соответствует лучшему состоянию. Это позволяет корректно применять весовые коэффициенты, полученные из матрицы парных сравнений (табл. 1), для всех по-

казателей независимо от направленности их исходного влияния.

Далее был рассчитан интегральный индекс туристского потенциала для каждого муниципалитета по формуле

$$I = \sum_{j=1}^m \left(WG_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (WP_{ij} \cdot X_{ij}) \right), \quad (3)$$

где I – интегральный индекс туристского потенциала (от 0 до 1), m – количество групп показателей (в данном исследовании $m = 4$; природная, культурная, социально-экономическая, инфраструктурная), WG_j – вес j -й группы показателей (определен экспертным путем с использованием метода анализа иерархий), n_j – количество показателей в j -й группе, WP_{ij} – вес i -го показателя в j -й группе, X_{ij} – нормализованное значение i -го показателя в j -й группе. Таким образом, были получены интегральные показатели для муниципалитетов Северного Урала и отдельные показатели по компонентам. Для типологии муниципалитетов было использовано несколько методов кластеризации [15], но в результате мы будем использовать метод DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), который устойчив к выбросам и не требует априорного задания количества кластеров. Параметры кластеризации подобраны на основе анализа силуэта и визуальной оценки ($\epsilon = 0,25$, $\min_samples = 3$).

Результаты исследования и их обсуждение

В результате оценки туристского потенциала муниципальных образований Северного Урала на основе метода анализа иерархий (АНР) и дальнейшей кластеризации удалось выявить неравномерность развития в сфере туризма и рекреации и простран-

ственные закономерности. Интегральный индекс туристского потенциала муниципалитетов Северного Урала варьируется в широком диапазоне – от 0,179 (Кушвинский муниципальный округ) до 0,561 (Ханты-Мансийский муниципальный район), также в число лидеров входят Соликамский МО, Советский МО. Полученный интегральный коэффициент вариации 23,1 % свидетельствует об умеренной дифференциации интегрального туристского потенциала. Наиболее вариативны культурный (55,5 %) и социально-экономический (45,7 %) компоненты, что указывает на сильный разрыв в уровне жизни и культурной жизни среди муниципалитетов. Природный компонент (47,5 %) также сохраняет высокую вариативность, тогда как инфраструктурный компонент показывает низкую вариативность (34 %). Среди субъектов Ханты-Мансийского АО можно выделить сильное развитие социально-экономических компонентов за счет добывающей промышленности региона.

Приведем пример расчета интегрального показателя для муниципальных образований (3). Для Соликамского муниципального округа интегральный индекс рассчитан следующим образом: природный компонент: Σ (вес показателя \times нормализованное значение) = 0,429; культурный компонент: 0,396; социально-экономический компонент: 0,530; инфраструктурный компонент: 0,303.

$$\text{Интегральный индекс} = 0,35 \times 0,429 + 0,20 \times 0,396 + 0,15 \times 0,530 + 0,30 \times 0,303 = 0,3998.$$

Для кластеризации был применен метод DBSCAN (параметры подобраны на основе анализа силуэта, см. раздел «Материал и методы исследования»), который устойчив к выбросам и не требует априорного задания количества кластеров. В результате кластеризации было выделено три кластера, характеризующихся различной структурой туристского потенциала. Каждый кластер обладает своими особенностями, которые задают направления для развития туризма (табл. 2).

Для проверки того, что выделенные кластеры не являются случайными, использован непараметрический критерий Краскела – Уоллиса. Результаты показали статистически значимые различия между кластерами по всем анализируемым показателям: для интегрального индекса $H = 22,1$, $p < 0,001$; для природного компонента $H = 19,8$, $p < 0,001$; для культурного компонента $H = 9,4$, $p < 0,01$; для социально-экономического компонента $H = 16,3$, $p < 0,001$; для инфраструктурного компонента $H = 21,5$, $p < 0,001$. Post-hoc сравнения с поправкой Бонферрони подтвердили значимые различия между всеми парами кластеров ($p < 0,05$). Следовательно, выделенные группы отражают реальную дифференциацию территории по туристскому потенциалу и не являются артефактом метода кластеризации.

Кластер 1 (низкий потенциал) объединяет 9 муниципальных образований (32,1 %) со средним интегральным индексом $0,227 \pm 0,028$. Это территории с низкими показателями по всем компонентам, особенно культурному (0,059) и инфраструктурному (0,074). Наибольший вклад в интегральный индекс вносит социально-экономический компонент (0,587), что обусловлено относительно высокими заработными платами в некоторых северных территориях. Географически кластер охватывает муниципалитеты Свердловской области и Республики Коми, удаленные от основных туристских маршрутов.

Кластер 2 (высокий природный потенциал) включает 10 муниципальных образований (35,7 %) со средним интегральным индексом $0,378 \pm 0,046$. Кластер характеризуется максимальными значениями природного компонента (0,576) – это территории, примыкающие к Уральскому хребту (Красновишерский МО, МО Вуктыл, Печорский МО, Ивдельский ГО, Североуральский МО). Культурный (0,081) и инфраструктурный (0,203) компоненты значительно ниже средних значений по выборке, что сдерживает реализацию туристского потенциала.

Таблица 2

Характеристика кластеров туристского потенциала (метод DBSCAN)

Кластер / цвет на карте	Количество МО	Доля, %	Интегральный индекс (ср. \pm std)	Природный (ср.)	Культурный (ср.)	Соц.-экон. (ср.)	Инфраструктурный (ср.)
1 / желтый	9	32,1	$0,227 \pm 0,028$	0,299	0,059	0,587	0,074
2 / зеленый	10	35,7	$0,378 \pm 0,046$	0,576	0,081	0,665	0,203
3 / синий	9	32,1	$0,367 \pm 0,088$	0,376	0,303	0,677	0,23

Примечание: составлена авторами по результатам кластеризации ($\text{eps} = 0,25$, $\text{min_samples} = 3$).



Пространственное распределение кластеров туристского потенциала Северного Урала (метод DBSCAN)
 Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.
 Цветовая шкала соответствует кластерам из табл. 2

Кластер 3 (специфика ХМАО) объединяет 9 муниципальных образований (32,1 %) со средним интегральным индексом $0,367 \pm 0,088$. Высокое стандартное отклонение (0,088) отражает неоднородность кластера: от Ханты-Мансийского района с интегральным индексом 0,561 до Чердынского МО с индексом 0,338. Кластер характеризуется высокими значениями социально-экономического (0,677) и культурного (0,303) компонентов при относительно низком природном потенциале (0,376). Ханты-Мансийский район, обладая наибольшими значениями в кластере, не выделяется в отдельную группу, так как его компонентная структура

(высокие социально-экономические и культурные показатели при умеренном природном потенциале) соответствует общей модели кластера.

Пространственный анализ (рисунок) позволяет выделить поляризацию туристского пространства: территории тяготеют к крупным административным центрам или к районам с уникальными природными объектами и развитой инфраструктурой. Кроме того, можно отметить преобладание территорий со средним потенциалом, что дает большие резервы для развития при систематических инвестициях. Также стоит отметить, что наибольшими показателями

ми обладают муниципальные образования, примыкающие к Уральским горам, отдаленные муниципалитеты, как правило, могут выступать инфраструктурными и административными центрами.

На основе проведенной типологии могут быть предложены следующие приоритетные направления инвестирования. Кластер 1 характеризуется крайне низкими значениями культурного (0,059) и инфраструктурного (0,074) компонентов при минимальном интегральном индексе ($0,227 \pm 0,028$). В данных условиях наиболее эффективной мерой является не прямое бюджетное финансирование крупных объектов, а грантовая поддержка локальных инициатив, в первую очередь в Нижнетуринском (интегральный индекс 0,273) и Усть-Куломском (0,256) муниципальных образованиях, где отмечается наличие активных местных сообществ. Кроме того, в связи с высокой долей населения, не имеющего регулярного транспортного сообщения с административным центром (до 18 % в отдельных МО кластера), первоочередными мерами должны стать организация систем туристской навигации, установка информационных щитов и разработка линейных маршрутов, доступных для самостоятельного посещения без использования автотранспорта.

Для муниципальных образований кластера 2 (Красновишерский МО, МО Вуктыл, Печорский МО, Ивдельский ГО, Североуральский МО), обладающих максимальными значениями природного компонента (в среднем 0,576) при низких показателях инфраструктуры (0,203) и культурного развития (0,081), приоритетными направлениями инвестирования являются: строительство модульных гостевых домов и оборудованных кемпингов; создание туристских информационных центров в Североуральске (интегральный индекс 0,344) и Ухте (0,324); дооборудование и включение в туристские навигационные системы экологических троп на особо охраняемых природных территориях федерального значения. Масштабные капитальные проекты (круглогодичные курорты) на первом этапе нецелесообразны ввиду низкой загрузки существующей инфраструктуры.

Кластер 3, объединяющий муниципальные образования Ханты-Мансийского автономного округа, демонстрирует высокие значения социально-экономического (0,677) и культурного (0,303) компонентов при относительно низком природном потенциале (0,376). Учитывая данную структуру, раз-

витие туризма в кластере целесообразно ориентировать на событийный и деловой сегменты. Ханты-Мансийск (интегральный индекс 0,561) обладает потенциалом для формирования регионального туристского хаба. Для Советского (0,395), Кондинского (0,322) и Белоярского (0,311) районов в качестве приоритетного направления предлагается развитие нишевых направлений туризма, направленных на взрослую и состоятельную аудиторию: туры с использованием авиационного, речного и внедорожного транспорта; туры, включающие этнические элементы, и др. Подобные меры могут привлечь туристов на отдаленные территории, а также стимулировать развитие внутреннего туризма среди местного населения.

Заключение

В результате проведена комплексная оценка туристского потенциала Северного Урала с использованием метода анализа иерархий, кластеризации и геоинформационного анализа. В рамках работы впервые выполнена количественная оценка туристского потенциала для муниципалитетов, входящих в физико-географический район Северного Урала на основе четырехкомпонентной модели (природный, культурный, социально-экономический, инфраструктурный блоки) с использованием 23 показателей. Устойчивость выделенных кластеров подтверждена методом силуэта (средний силуэт = 0,314), а также сопоставлением с результатами альтернативных методов кластеризации (Agglomerative, Kmeans, MeanShift). В отличие от предшествующих исследований, предложенная методика адаптирована для задач мастер-планирования и позволяет проводить сопоставительный анализ в границах четырех субъектов РФ. Также проведена типологизация муниципальных образований Северного Урала с выделением оптимального количества кластеров. К результатам исследования можно отнести выделение туристского потенциала территорий Северного Урала в диапазоне от 0,179 до 0,561, среднее 0,325. Выявлены наиболее вариативные компоненты – культурный и социально-экономический.

Хотя прямая экономическая оценка эффекта от внедрения результатов не входила в задачи данного исследования, можно ожидать, что реализация предложенных рекомендаций будет способствовать увеличению туристского потока в территории кластеров 1 и 2 за счет повышения их туристской привлекательности и информиро-

ванности потенциальных туристов. В долгосрочной перспективе это создаст предпосылки для роста налоговых поступлений в бюджеты муниципальных образований и развития смежных отраслей (транспорт, общественное питание, розничная торговля). Количественная оценка этих эффектов требует отдельного исследования с использованием методов экономического моделирования и составляет предмет наших дальнейших изысканий.

Практическая значимость проведенного исследования определяется возможностью использования результатов для обоснования приоритетных направлений развития туризма на территории Северного Урала. Результаты исследования могут быть использованы при разработке мастер-плана туристского развития Северного Урала, в частности для обоснования приоритетного инвестирования в туристскую инфраструктуру территорий кластера 2 и стимулирования событийного и делового туризма в кластере 3. Перспективы дальнейших исследований связаны с углубленным изучением кластеров, анализом туристских потоков, выделения центра туристской территории Северного Урала и комплексной разработки мастер-плана.

Список литературы

1. Шарыгин М. Д., Коньшев Е. В. Туристско-рекреационное пространство: географические особенности формирования, территориализации и функционирования // *Пространственная организация общества: теория, методология, практика: сборник материалов Международной научно-практической конференции (г. Пермь, 07–11 ноября 2018 г.)* / под ред. Т. В. Субботиной, Л. Б. Чупиной. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. С. 115–119. [Электронный ресурс]. URL: <https://elis.psu.ru/node/642302> (дата обращения: 08.04.2026).
2. Кружалин В. И., Мироненко Н. С., Зигерн-Корн Н. В., Шабалина Н. В. География туризма: учебник. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 336 с. ISBN 978-5-4365-0129-1.
3. Пенкина Н. В. Мастер-план как основа формирования туристской территории // *Московский экономический журнал*. 2022. № 7. С. 377–391. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_403.
4. Кропинова Е. Г., Кружалин В. И., Зигерн-Корн Н. В., Никанорова А. Д., Плотникова А. П., Примак Т. К., Шабалина Н. В. Научно-методические подходы к стратегическому мастер-планированию территорий перспективного развития туризма (на примере региона «Русская Балтика») // *Географическая среда и живые системы*. 2024. № 4. С. 84–112. DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-84-112.
5. Кружалин В. И., Мажар Л. Ю. Межрегиональные туристские проекты: актуальные проблемы формирования и перспективы развития // *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2019. № 2. С. 40–53. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-40-53.
6. Королев А. Ю. Структура природоориентированной рекреационной системы Северного Урала // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2023. № 2. С. 233–244. DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-2-233-244.
7. Королев А. Ю. Полосы недоступности и ареалы ненаселенности: дефинирование, структура и масштабная иерархия // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2022. № 1. С. 92–106. DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-1-92-106.
8. Зырянов А. И., Королев А. Ю., Мышлявцева С. Э., Сафарян А. А. Организация территорий активного туризма на Урале // *Современные проблемы сервиса и туризма*. 2017. Т. 11. № 3. С. 130–141. DOI: 10.22412/1995-0411-2017-11-3-130-141.
9. Tanina A., Tashenova L., Konyshev Ye., Mamrayeva D., Rodionov D. The Tourist and Recreational Potential of Cross-Border Regions of Russia and Kazakhstan during the COVID-19 Pandemic: Estimation of the Current State and Possible Risks // *Economies*. 2022. Vol. 10. Is. 8. P. 201. DOI: 10.3390/economies10080201.
10. Гудковских М. В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала // *Географический вестник*. 2017. № 1 (40). С. 102–116. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116.
11. Сафарян А. А. Подходы к оценке туристского потенциала территории // *Географический вестник*. 2015. № 1 (32). С. 89–102. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-turistskogo-potentsiala-territorii> (дата обращения: 08.04.2026).
12. Забураева Х. Ш., Забураев Ч. Ш., Шаипова А. А. Рекреационно-геоморфологическое районирование Северо-Восточного Кавказа // *Russian Journal of Earth Sciences (RJES)*. 2024. № 5. С. 1–13. DOI: 10.2205/2024es000982.
13. Черникова Л. И., Бокарева Е. В. Методы оценки туристского потенциала территории // *Сервис в России и за рубежом*. 2025. № 1. С. 89–98. DOI: 10.5281/zenodo.17130886.
14. Шагеев Д. А. Решения проблемы эффекта «rank reversal» в методе анализа иерархий // *Математические структуры и моделирование*. 2025. № 1 (73). С. 99–115. DOI: 10.24147/2222-8772.2025.1.99-115.
15. Александрова А. Ю. Туристские кластеры: содержание, границы, механизм функционирования // *Современные проблемы сервиса и туризма*. 2007. № 1. С. 51–61. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/turistskie-klastery-soderzhanie-granitsy-mehanizm-funktsionirovaniya> (дата обращения: 08.04.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ОПАСНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

Козырева Ю. В., Ненашева Г. И., Слажнева С. С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prirgeo@geo.asu.ru

В статье приведены результаты анализа встречаемости опасных метеорологических явлений в Алтайском крае. Актуальность исследования обусловлена ростом количества регистрируемых опасных метеорологических явлений из-за возрастающей изменчивости климатических условий. Цель исследования – выявление опасных метеорологических явлений на территории Алтайского края. Для определения вероятности проявления опасных метеорологических явлений применялись показатели интенсивности, повторяемости и частоты. Изучение встречаемости опасных метеорологических явлений важно с точки зрения их неблагоприятного воздействия в физико-географических условиях местности и может помочь в определении риска возникновения катастроф и создании системы предупреждения населения о возможных угрозах. Опасные метеорологические явления высокой интенсивности формируют ключевые климатические риски для экономики, населения и природной среды Алтайского края. К их числу относятся ураганные и очень сильные ветры, периоды аномально высокой температуры, чрезвычайная пожарная опасность, суховеи, а также сильные и аномальные морозы. Наибольшая повторяемость данных явлений в течение года характерна для района метеостанции Бийск-Зональная, где чаще фиксируются случаи аномально холодной погоды, града, туманов, мокрого снега и ледяного дождя, тогда как минимальные показатели отмечаются на метеостанции Камень-на-Оби. Выявлено, что для Алтайского края наибольшей повторяемостью характеризуются такие опасные метеорологические явления, как аномально жаркая погода и очень сильный ветер. Наибольшее число случаев их проявления зафиксировано на метеостанциях Целинное, Усть-Чарышская Пристань и Шипуново. В то же время сильные ливни, ураганы и шквалы отмечаются значительно реже. К группе явлений с относительно меньшей степенью опасности для территории относятся изморозь, мокрый снег, метели, туманы и грозовая деятельность.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления, экстремальные температуры, скорость ветра, осадки, Алтайский край

DANGEROUS METEOROLOGICAL PHENOMENA IN THE ALTAI REGION

Kozyreva Yu. V., Nenasheva G. I., Slazhneva S. S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Altai State University”, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prirgeo@geo.asu.ru

This article presents the results of an analysis of the occurrence of hazardous meteorological events in the Altai Krai. The relevance of the study is due to the increasing number of recorded hazardous meteorological events due to increasingly variable climatic conditions. The aim of the study is to identify hazardous meteorological events in the Altai Krai. Intensity, frequency, and recurrence indicators were used to determine the likelihood of hazardous meteorological events. Studying the occurrence of hazardous meteorological events is important for their adverse impact on the physical and geographical conditions of the area and can help determine the risk of disasters and develop a public warning system for potential threats. High-intensity hazardous meteorological events pose key climate risks for the economy, population, and natural environment of the Altai Krai. These include hurricane-force and very strong winds, periods of abnormally high temperatures, extreme fire danger, dry winds, and severe and abnormally cold weather. The highest frequency of these events throughout the year is typical for the Biysk-Zonalnaya meteorological station, where cases of abnormally cold weather, hail, fog, sleet, and freezing rain are most frequently recorded, while the lowest temperatures are recorded at the Kamen-na-Obi meteorological station. It was found that the most frequent hazardous meteorological phenomena in the Altai Krai include abnormally hot weather and very strong winds. The largest number of such occurrences was recorded at the Tselinnoye, Ust-Charyshskaya Pristan, and Shipunovo weather stations. However, heavy rainfall, hurricanes, and squalls are observed much less frequently. Phenomena with a relatively lower risk for the region include frost, sleet, snowstorms, fog, and thunderstorms.

Keywords: dangerous meteorological phenomena, extreme temperatures, wind speed, precipitation, Altai Krai

Введение

Изучение опасных метеорологических явлений играет ключевую роль в изучении географических условий местности. Это связано с отрицательным воздействием неблагоприятных погодных явлений на хозяйственную деятельность и здоровье людей [1; 2].

Кроме того, опасные метеорологические явления, проявляясь как продукт климатической системы, в динамике и интенсивности отражают изменения в климате, которые наблюдаются в настоящее время [3].

Цель исследования – выявление опасных метеорологических явлений на территории Алтайского края.

Материалы и методы исследования

В статье представлены результаты анализа опасных метеорологических явлений на территории Алтайского края за период с 2005 по 2025 г. Климат Сибири и Алтайского региона в разное время изучали Л. И. Колдомасов [4, с. 4–12], М. Г. Сухова [5, с. 26–43], Н. Ф. Харламова [6, с. 57–96]. Климатические изменения последних десятилетий рассмотрены в работах Д. Ю. Васильева [7], С. П. Гончарова [8], Ю. В. Зинченко [9]. Результаты оценки атмосферных климатических рисков представлены в исследованиях А. В. Головина [10], А. А. Павловского [11], Ю. И. Винокурова [12].

Для определения вероятности проявления опасных метеорологических явлений применялись показатели интенсивности, повторяемости и частоты [13]. На основе данных ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» рассчитано ежегодное количество дней с такими явлениями за период с 2005 по 2025 г.

Опасные метеорологические явления определяются как метеорологические события, которые при достижении критических уровней интенсивности и продолжительности способны угрожать безопасности чело-

века и причинять значительный экономический ущерб [14].

На рис. 1 приведена классификация опасных метеорологических явлений, проявляющихся на территории Алтайского края [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Разнообразие видов подстилающей поверхности оказывает влияние на климат территории и процесс формирования местных воздушных масс. Горы действуют как конденсаторы влаги. А расчлененность Приобского плато долинами и овражно-балочной сетью, присутствие ленточных боров, цепочек озер и болот способствует увеличению количества осадков и снижению летних температур воздуха.

Исходя из физико-географического положения, для Алтайского края характерна наибольшая встречаемость таких опасных метеорологических явлений как сильная метель (29,53 раза/год), аномально жаркая погода (18,53 раза/год) и очень сильный ветер (17,60 раз/год). Реже всего в Алтайском крае встречаются сильные ливни (0,27 раз/год), ураганы (0,40 раз/год) и шквалы (0,47 раз/год) (рис. 2).

<p>Опасные температурные метеорологические явления</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Высокие температуры воздуха • Чрезвычайная пожарная опасность • Сильная жара • Сильный мороз • Аномально холодная погода • Аномально жаркая погода
<p>Опасные ветровые метеорологические явления</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Очень сильный ветер • Ураган • Шквал • Смерч • Сильная метель и сильная пыльная буря • Суховей
<p>Опасные метеорологические явления в виде осадков</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Сильный ливень • Очень сильный дождь • Продолжительный сильный дождь • Очень сильный снег • Продолжительный сильный снег • Крупный град • Сильный туман (сильная мгла)

*Рис. 1. Классификация опасных метеорологических явлений
Примечание: составлен авторами на основе источника [15]*

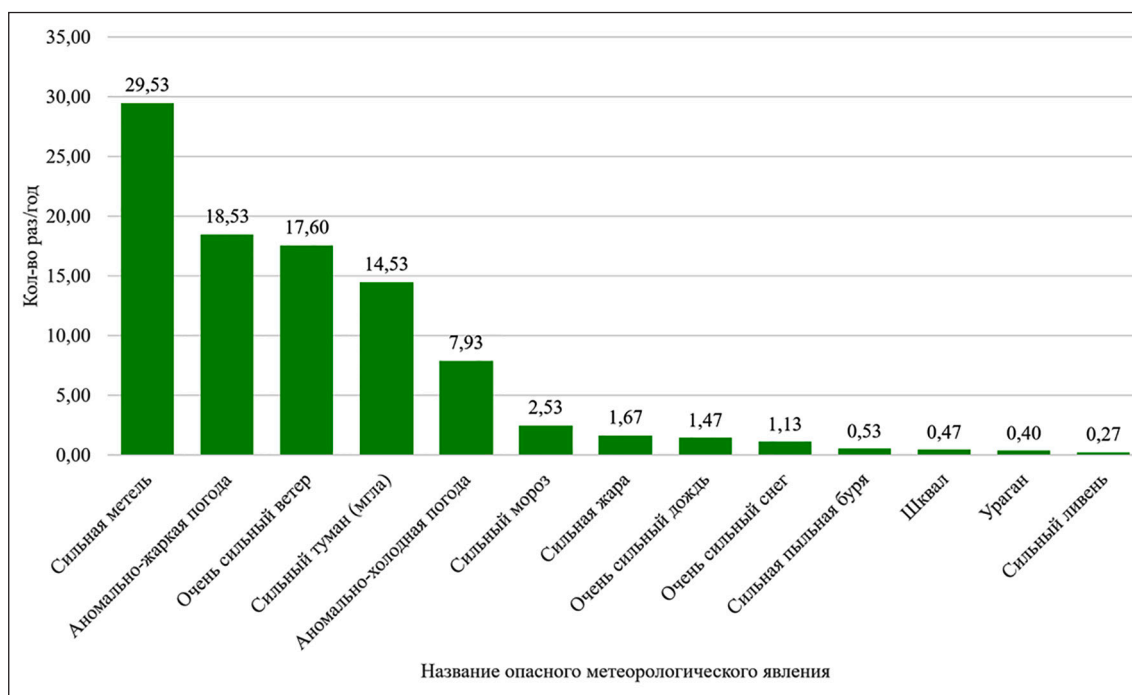


Рис. 2. Частота встречаемости опасных метеорологических явлений в Алтайском крае в период с 2005 по 2025 г.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Наибольшее значение опасных метеорологических явлений наблюдается на метеостанциях Целинное (8 раз/год), Усть-Чарышская Пристань (6,33 раза/год), Шипуново (5,47 раз/год) и Троицкое (5,40 раз/год) (рис. 3). Причем более 80 % опасных метеорологических явлений, встречающихся на этих станциях, – это сильная метель и очень сильный ветер.

Чаще в Алтайском крае встречаются опасные ветровые метеорологические явления в долинах крупных рек и на Бие-Чумышской возвышенности. Такое распределение связано с вытянутыми полосами ленточных боров, которые создают барьерный эффект. Опасные температурные явления равномерно распространены по всей территории края, но наибольшая их встречаемость характерна для южных и западных районов края степной зоны. Опасные метеорологические явления в виде осадков чаще встречаются в предгорьях Алтайского края. Это связано с тем, что горный рельеф является мощным конденсатором влаги.

Сильные метели в зимнее время обусловлены циклонической деятельностью, связанной с ослаблением западного отрога азиатского антициклона. Наибольшая встречаемость сильных метелей характерна для центральных районов степной зоны Ал-

тайского края (Шипуново, Поспелиха) и Бие-Чумышской возвышенности (Целинное, Троицкое) с декабря по февраль.

Аномально жаркие условия и периоды сильной жары на территории Алтайского края приурочены преимущественно к летнему сезону (июнь – август). Наибольшая повторяемость аномально жаркой погоды (при максимальной температуре воздуха +30 °С и выше в течение не менее пяти суток) характерна для западных и юго-западных районов края, включая Угловское, Ключи, Кулунду, Славгород и Родино.

Пространственное распределение экстремально высоких температур, а также сопутствующих им суховеев и засушливых явлений имеет выраженный градиент с востока на запад, достигая максимальных значений в пределах подзоны сухой степи: от минимальных показателей в районе Барнаула до 0,2 в Славгороде. В 2005–2025 гг. наибольшая повторяемость сильной жары отмечалась в Славгороде и в целом по западным и юго-западным территориям региона.

Очень сильный ветер ($V \geq 15$ м/с) фиксируется в течение всего года, однако его сезонная динамика характеризуется максимумом повторяемости в переходные периоды – в апреле и ноябре, при минимальных значениях в июле и сентябре (рис. 4).

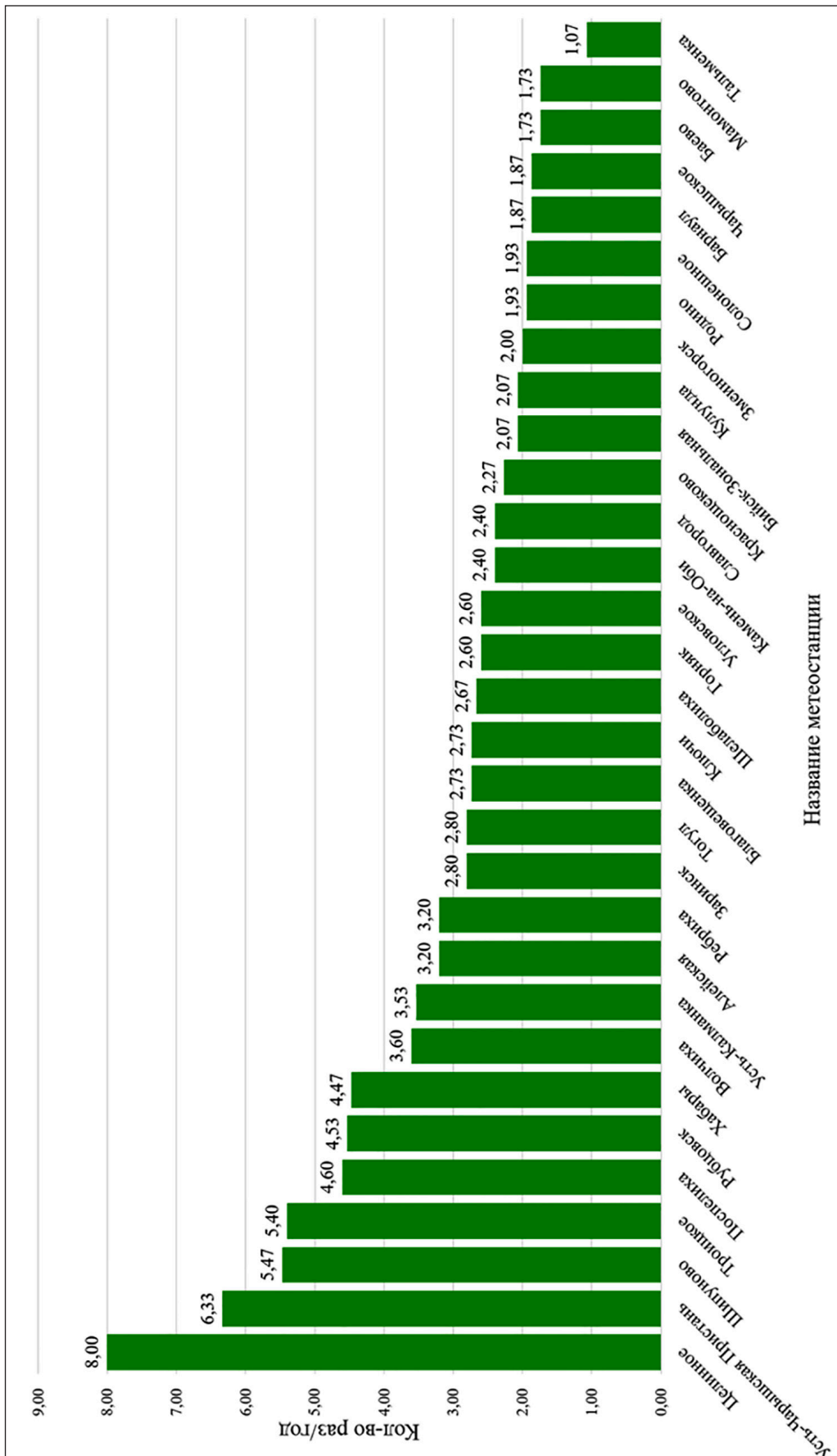


Рис. 3. Частота встречаемости опасных метеорологических явлений на метеостанциях Алтайского края в период с 2005 по 2025 г.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

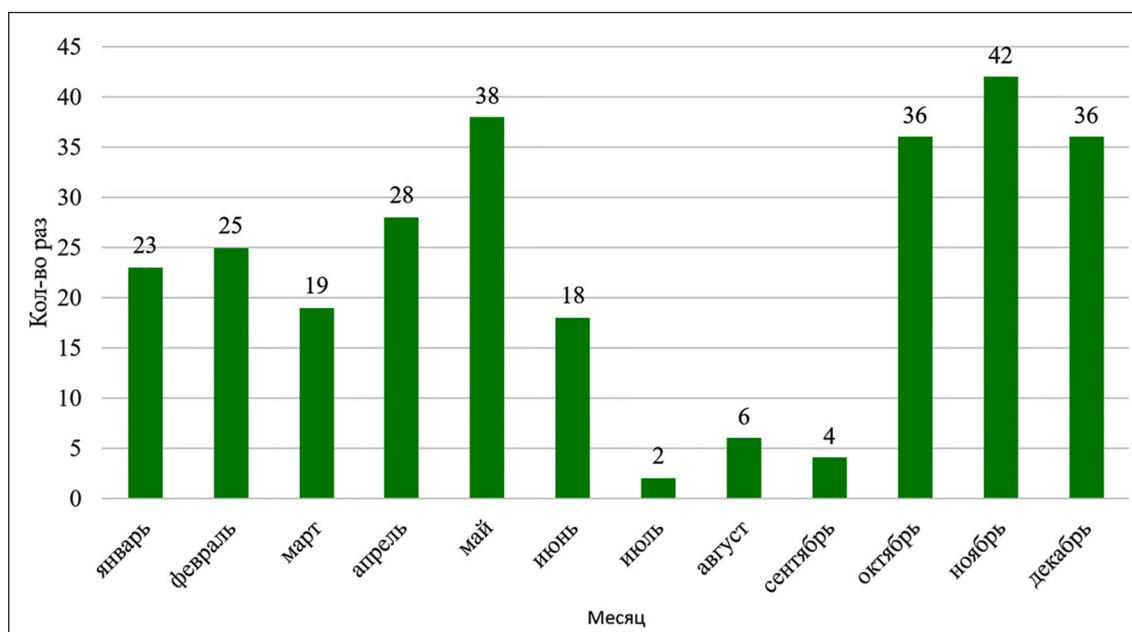


Рис. 4. Встречаемость очень сильного ветра в Алтайском крае по месяцам за период с 2005 по 2025 г.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Среднегодовое число дней с преобладанием сильного ветра варьирует в широких пределах: от 19 дней на метеостанции Бийск-Зональная до 56 дней в Рубцовске. Значительная повторяемость данного явления также характерна для Алейска, тогда как в Барнауле она составляет около 38 дней, в Волчихе – 40 дней, в Ключах – до 46 дней в год. Очень сильный ветер, как опасное явление, также наблюдается на метеостанциях Усть-Чарышская Пристань, Целинное и Усть-Калманка, наиболее часто встречается и в долине р. Оби и других крупных рек, а также на Бие-Чумышской возвышенности.

Шквалы – ветры с резким кратковременным ускорением до 25 м/с и более в период с 2005 по 2025 г. чаще всего встречались в Хабарях, Баево, Барнауле, Краснощеково и Камень-на-Оби.

По статистическим данным, наибольшее количество дней с шквалами наблюдается в Алейске – в среднем 19,7 дней в год и Рубцовске – 18,1 дней в год. Реже в Родино – около 13,9 дней в год и в Ключах – 13,7 дней в год (1985–2016 гг.).

Ураганы – ветры со скоростью 33 м/с и более в период с 2005 по 2025 г. чаще всего встречались в Рубцовске, Родино, Благовещенке, Волчихе и в Усть-Чарышской Пристани.

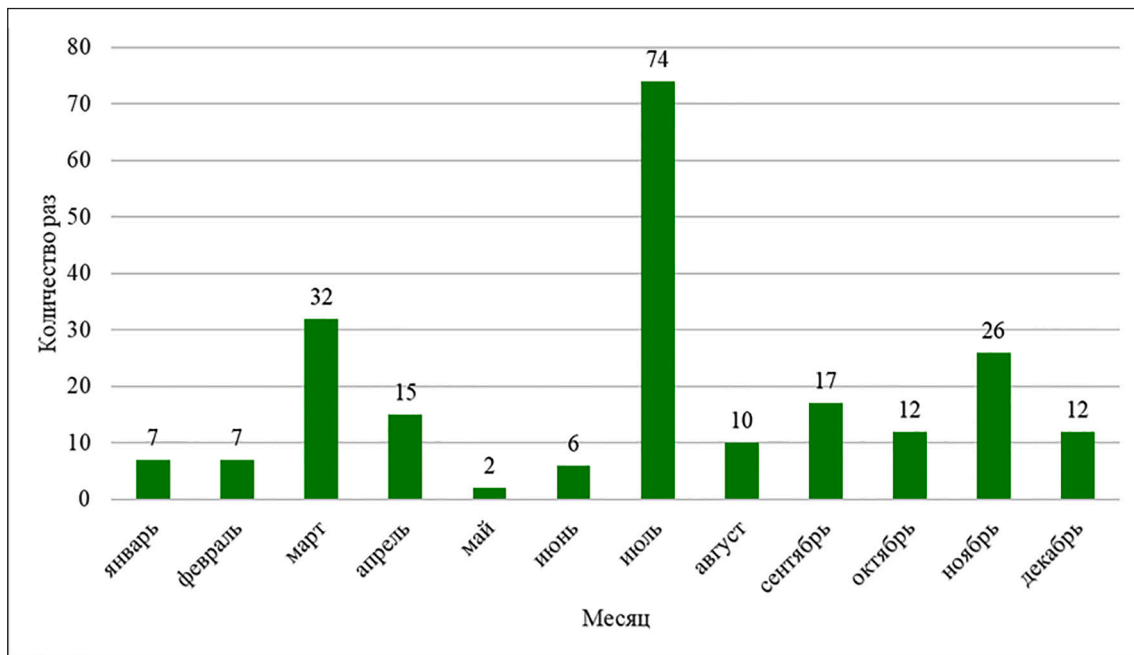
Районы Ребрихи и Солонешного занимают лидирующее место по количеству дней с ураганами – в среднем 6,6 дней и 5,7 дней

в год соответственно. Также повторяемость этого явления замечена в Алейске (4,6 дней), Рубцовске (4,2 дней) и Бийске (3,7 дней) (1966–2016 гг.).

Сильный туман и мгла характеризуются существенным снижением прозрачности атмосферы вследствие накопления в приземном слое мелкодисперсных капель воды, пылевых частиц и продуктов горения; при этом метеорологическая дальность видимости уменьшается до значений менее 50 м. Как правило, продолжительность подобных явлений не превышает 6 ч, а их формирование чаще приурочено к ночным и ранним утренним часам.

На территории Алтайского края сильные туманы и мгла фиксируются в течение всего года. Сезонная динамика их повторяемости выражена неравномерно: наибольшая частота отмечается в июле (преимущественно за счет мглы) и в марте (за счет туманов), тогда как минимальные значения приходятся на май и июнь (рис. 5).

Среднегодовое число дней с туманами различной интенсивности изменяется от 9,3 в Змеиногорске до 25,2 в Бийск-Зональной. В пространственном распределении прослеживается уменьшение повторяемости в западной части края (Змеиногорск, Рубцовск, Камень-на-Оби, Славгород, Ребриха) и ее увеличение в восточных районах (Барнаул, Бийск-Зональная, Солонешное).



*Рис. 5. Встречаемость сильного тумана (сильной мглы) в Алтайском крае по месяцам за период с 2005 по 2025 г.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования*

Сильный туман (сильная мгла) в период с 2005 по 2025 г. чаще всего встречался в Хабарях, Тогуле, Чарышском. В западных равнинных районах края сильный туман (сильная мгла) встречалась чаще.

Опасные метеорологические явления в виде осадков наблюдаются в период с апреля по сентябрь. Чаще всего повторяются в юго-восточной предгорной части (Змеиногорск – 4, Солонешное – 5), наблюдается максимальное количество дней с очень сильным дождем, а на юге и востоке края (Бийск-Зональное, Змеиногорск – 4, Солонешное – 3) – с очень сильным снегом. Среднее количество дней в году с очень сильным дождем и снегом варьирует от 0,018 в Славгороде до 0,145 в Змеиногорске и Солонешном. В целом по краю, за исключением предгорий на юго-востоке края (Солонешное), наблюдается уменьшение количества дней с сильным дождем (снегом).

В 2005–2025 гг. наибольшая повторяемость очень сильных дождей отмечалась в Краснощеково и Троицком, тогда как случаи очень сильного снегопада чаще фиксировались в Змеиногорске. В целом интенсивные снегопады возможны на всей территории Алтайского края, однако их наибольшая частота характерна для южных и восточных районов (Бийский, Змеиногорский, Солонешенский), а также для долин р. Обь и Алей.

Сильные ливневые осадки наблюдаются практически повсеместно, при этом максимальное число дней с очень сильными дождями приурочено к предгорным и горным территориям. В рассматриваемый период такие явления наиболее часто фиксировались в Краснощеково, Солонешном, Чарышском и Шелаболихе.

Пыльные бури в пределах края лишь изредка достигают критериев опасных метеорологических явлений. Наибольшая их повторяемость отмечается в районе Алейска (до 20 дней в год) и Рубцовска (около 18 дней), а также в пределах Кулундинской степи (Славгород, Ключи, Родино), где их частота составляет в среднем 12–14 дней в год с максимумом в мае-июне.

С 2005 по 2025 г. сильная пыльная буря встречалась в Поспелихе в 2005 и 2006 гг., в Тогуле, Благовещенке, Краснощеково и Целинном в 2007 г. в период с апреля по август.

Зимой на территории Алтайского края можно столкнуться с морозами до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. По историческим данным, абсолютные минимумы были зафиксированы в разных частях края, а именно $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Барнауле в 1931 г., $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Волчихе и $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Бийске в 1969 году. В 1938 г. в Волчихе был зафиксирован минимальный из всех минимумов – температура воздуха достигла $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

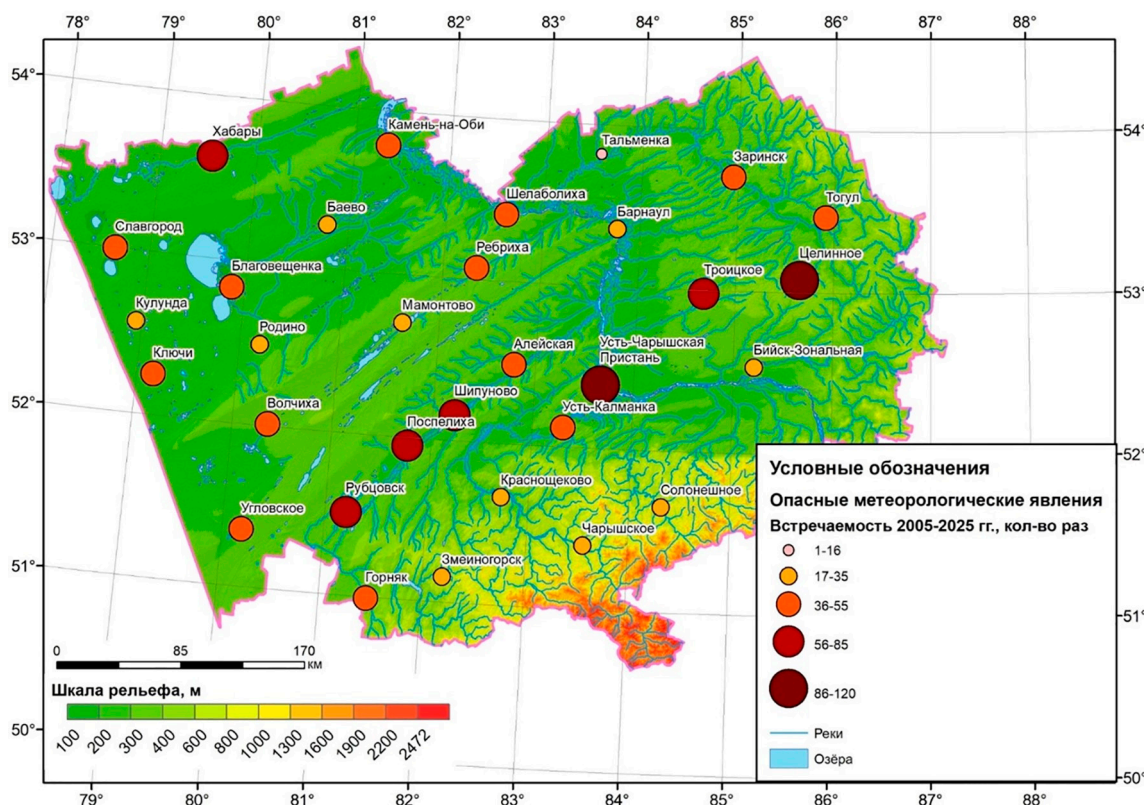


Рис. 6. Встречаемость опасных метеорологических явлений за период с 2005 по 2025 г.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Аномально холодная погода и сильный мороз в целом наблюдаются на территории Алтайского края с декабря по февраль.

В период с 2005 по 2025 г. аномально холодная погода чаще всего встречалась в Бийске, Волчихе, Змеиногорске, Рубцовске, Тальменке, Хабарях, а сильный мороз – в Волчихе и Бийске.

К менее опасным атмосферным явлениям на территории Алтайского края можно отнести явления, которые не достигают критических значений по своим критериям. К ним можно отнести изморозь, метель, мокрый снег, туманы и грозы.

Для выделения территорий с наибольшей частотой возникновения опасных атмосферных явлений средние многолетние значения были нормированы и суммированы. Частоту встречаемости опасных метеорологических явлений за 2005–2025 гг. можно увидеть на рис. 6.

За период с 2005 по 2025 г. наибольшее количество опасных метеорологических явлений зафиксировано в 2012, 2014 и 2007 гг., когда их суммарное число составило 278, 155 и 149 случаев соответственно. В 2012 г. преобладали аномально жаркая погода, силь-

ный туман (мгла) и метели (81, 80 и 53 случая). В 2014 г. наибольшую повторяемость имели метели, аномально жаркие периоды и очень сильный ветер (56, 44 и 25 случаев), тогда как в 2007 г. доминировали очень сильный ветер, метели и туманы (55, 53 и 16 случаев).

Минимальная повторяемость опасных явлений отмечена в 2019, 2020 и 2006 гг. (18, 26 и 32 случая соответственно). В 2019 г. фиксировались преимущественно очень сильный ветер (17 случаев) и единственный сильный ливень (в Чарышском районе). В 2020 г. наблюдались очень сильный ветер (20 случаев), отдельные эпизоды сильных морозов (3 случая), а также единичные случаи ливней, очень сильных дождей и туманов. В 2006 г. спектр явлений был более разнообразным, однако их повторяемость оставалась низкой: отмечались метели и аномально холодная погода (по 9 случаев), очень сильный ветер (8 случаев), а также единичные проявления пыльных бурь, интенсивных осадков и туманов.

Заключение

Метеорологические явления могут представлять угрозу безопасности людей, а так-

же нанести значительный ущерб отраслям экономики. Все метеорологические явления можно считать опасными. Все зависит от того, сколько времени и с какой интенсивностью продолжается то или иное метеорологическое явление. Любое метеорологическое явление может быть отнесено к категории опасных в зависимости от продолжительности и интенсивности его воздействия. Наибольший ущерб человеку и экономике наносят экстремально высокие температуры, очень сильные осадки и высокие скорости ветра.

Для Алтайского края наибольшей повторяемостью характеризуются такие опасные метеорологические явления, как аномально жаркая погода и очень сильный ветер. Наибольшее число случаев их проявления зафиксировано на метеостанциях Целинное, Усть-Чарышская Пристань и Шипуново. В то же время сильные ливни, ураганы и шквалы отмечаются значительно реже. К группе явлений с относительно меньшей степенью опасности для территории относятся изморозь, мокрый снег, метели, туманы и грозовая деятельность.

Список литературы

1. Оганесян В. В., Стерин А. М., Воробьева Л. Н. Потенциальные ущербы от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории Российской Федерации: региональные особенности // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 1 (379). С. 143–156. DOI: 10.37162/2618-9631-2021-1-143-156.
2. Соколов Ю. И. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 3. С. 6–21. EDN: XWPINR.
3. Бардин М. Ю., Ранькова Э. Я., Платова Т. В., Самохина О. Ф., Алешина М. А., Корнева И. А., Егоров В. И., Афанасьев М. И., Пармонов С. Г., Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Булыгина О. Н., Дементьева Т. В., Коршунова Н. Н., Лавров А. С., Стерин А. М., Хохлова А. В., Павлова В. Н., Карачёнок А. А., Анисимов О. А., Стрелецкий Д. А., Хлебникова Е. И., Салль И. А., Стадник В. В., Павлова К. Г., Пармонова Н. Н., Зинченко А. В., Сидоренков Н. С., Голубев А. Д., Борщ С. В., Звягинцев А. М., Иванова Н. С., Крученицкий Г. М., Ашабоков Б. А., Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В., Баранов Ю. В., Вишератин В. Н., Каменогородский Н. Е., Жемчугова Т. Р. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. М.: Росгидромет, 2018. 69 с. EDN: XNLLAD. ISBN 978-5-906099-58-7.

4. Колдомасов Л. И. Климат Западной Сибири. Новосибирск: Новосибиргиз, 1947. 59 с.

5. Сухова М. Г., Русанов В. И. Климаты ландшафтов Горного Алтая и их оценка для жизнедеятельности человека; отв. ред.: Ю. И. Винокуров, Российская академия наук, Сибирское отделение; Институт водных и экологических проблем. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 149 с. EDN: QKEIID. ISBN 5-7692-0673-X.

6. Харламова Н. Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Алтайский государственный университет. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2013. 156 с. EDN: SHPVF. ISBN 978-5-7904-1381-0.

7. Васильев Д. Ю., Семенов В. А., Чибилев А. А. Климатические изменения температурного режима на территории России в XX – начале XXI века // География и природные ресурсы. 2023. Т. 44. № 2. С. 15–23. DOI: 10.15372/GIPR20230202. EDN: PSMABX.

8. Гончаров С. П., Максимова Н. Б. Современные климатические изменения на территории Алтайского края: анализ многолетней динамики приземной температуры воздуха // География и природопользование Сибири. 2018. № 25. С. 60–67. EDN: AULSLD.

9. Зинченко Ю. В., Терентьев Н. Е. Риски климатических изменений здоровью и адаптация населения: обзор мирового опыта и уроки для России // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6 (195). С. 131–144. DOI: 10.47711/0868-6351-195-131-144. EDN: AQMWIJ.

10. Головин А. В., Орлова Е. С., Резников В. Ф., Губарев М. С., Рыбкина И. Д. Оценка атмосферных климатических рисков и их влияние на экономику Алтайского края // Географический вестник. 2025. № 4 (75). С. 95–104. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-4-95-104. EDN: TRWZNH.

11. Павловский А. А. Об оценке климатических рисков территории Санкт-Петербурга // Гидрометеорология и экология. 2024. № 74. С. 26–43. DOI: 10.33933/2713-3001-2024-74-26-43. EDN: PESKAZ.

12. Винокуров Ю. И., Красноярова Б. А., Харламова Н. Ф., Плуталова Т. Г., Шарабарина С. Н. Районирование территории Алтайского края по степени проявления климатических рисков // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30. № 2. С. 8–20. DOI: 10.2109/2227-9245-2024-30-2-8-20. EDN: DPHGJS.

13. Лиходумова И. Н., Еремина Д. В. Опасные метеорологические явления на территории Челябинской области // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: материалы III Международной научно-практической конференции (г. Челябинск, 24–25 мая 2024 г.). Челябинск: ООО «Край Ра», 2024. С. 23–29. EDN: RAVKRB.

14. Верещагина О. В. Опасные метеорологические природные явления на территории Иркутской области // Байкал – Родина – Планета: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 21–22 октября 2016 г.). Иркутск: Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2016. С. 13–15. EDN: WQHYGT.

15. Перечень опасных явлений: ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo-nso.ru/pages/115> (дата обращения: 14.03.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА НЕДР «КУРЬЯН-2» В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ)

Липина Л. Н. ORCID ID 0000-0003-0725-5017

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Российская Федерация,
e-mail: geo-lipina@rambler.ru*

В работе анализируется воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую среду. Показано, что удельная землеемкость горных работ в России растет, а общая площадь нарушенных земель превышает 3 млн га. При открытой добыче создаются карьеры, которые полностью изменяют ландшафт местности. Целью исследования является анализ воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду и разработка мероприятий по рекультивации земель на участке недр «Курьян-2», расположенном на территории Тындинского муниципального округа Амурской области (приравнен к районам Крайнего Севера). Показано, что для рекультивации карьера «Курьян-2» выбрано лесохозяйственное направление восстановления нарушенных земель. Подчеркнута необходимость комплексного подхода, с учетом климатических условий в сочетании горнотехнических и биологических мероприятий, а также соблюдения требований законодательства. Восстановление почвенного слоя в условиях многолетней мерзлоты представляет собой довольно сложную задачу на фоне крайне медленных процессов почвообразования. Для ускорения восстановления почвенного слоя предлагается использование термоизолирующих материалов в виде специального покрытия. После внесения удобрений площадь карьера будет засеяна семенами кедрового стланика и лиственницей Гмелина.

Ключевые слова: геоэкология, горнодобывающая промышленность, нарушенные земли, рекультивация, гранодиориты, Амурская область

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE MINING INDUSTRY AND DEVELOPMENT OF LAND RECLAMATION MEASURES (USING THE EXAMPLE OF THE KURYAN-2 SUBSOIL SITE IN THE AMUR REGION)

Lipina L. N. ORCID ID 0000-0003-0725-5017

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pacific State University",
Khabarovsk, Russian Federation, e-mail: geo-lipina@rambler.ru*

This paper analyzes the environmental impact of the mining industry. It demonstrates that the specific land intensity of mining operations in Russia is increasing, and the total area of disturbed land exceeds 3 million hectares. Open-pit mining creates quarries that completely alter the local landscape. The objective of the study is to analyze the environmental impact of mining and develop measures for land reclamation at the Kuryan-2 subsoil site, located in the Tynda Municipal District of the Amur Region (equivalent to regions of the Far North). It is shown that a forestry approach to land restoration has been chosen for the reclamation of the Kuryan-2 quarry. The need for an integrated approach, taking into account climatic conditions, combining mining engineering and biological measures, and compliance with legal requirements is emphasized. Restoring the soil layer in permafrost conditions is a complex task, given the extremely slow processes of soil formation. The specifics of such zones are addressed and the application of modern technologies are discussed. To accelerate soil regeneration, the use of thermal insulation materials in the form of a special coating is proposed. After fertilization, the quarry area will be seeded with dwarf pine and Gmelin larch seeds.

Keywords: geoecology, mining industry, disturbed lands, reclamation, granodiorites, Amur region

Введение

Горнодобывающая промышленность оказывает существенное воздействие на окружающую среду. В связи с ухудшением горнотехнических условий разработки месторождений ежегодно растет удельная землеемкость (м²/т) горных работ, в результате чего в настоящее время общая площадь нарушенных открытыми горными работами земель в России превышает 3 млн га (что сопоставимо с территорией некоторых евро-

пейских стран, например Бельгии или Армении). Открытые и подземные разработки полезных ископаемых приводят к изменению рельефа, уничтожению растительного и почвенного покрова, нарушению гидрологического режима, загрязнению поверхностных и подземных вод, выбросам пыли и парниковых газов в атмосферу, а также к потере биоразнообразия и фрагментации естественных сред обитания. В конце 1980-х гг. в зарубежной литературе в области экономики

и экологии, социологии и политологии, глобалистики и права обширное распространение получил термин «устойчивое развитие», которым обозначалось социально-экономическое и экологическое развитие, направленное на разумное удовлетворение потребностей людей при одновременном улучшении качества жизни ныне живущих и будущих поколений, на бережное использование ресурсов планеты и сохранение природной среды. Рекультивация – это важнейший механизм сохранения природы, который способствует не только восстановлению природного баланса, но и обеспечивает устойчивое развитие территорий, жизнь отработанным карьерам, свалкам и загрязненным территориям, предотвращая деградацию почв и восстанавливая биоразнообразие.

Рекультивация земель рассматривается как основной способ воспроизводства земельных ресурсов, создания оптимальных культурных антропогенных ландшафтов в конкретных природно-климатических условиях данного района.

При открытой добыче создаются карьеры, которые полностью изменяют ландшафт местности [1]. Практика эксплуатации месторождений указывает, что обеспечение необходимых условий охраны недр и окружающей среды возможно при соблюдении определенных условий:

- комплексное и экономически целесообразное извлечение из недр запасов основных и совместно залегающих с ними полезных ископаемых;
- рациональное использование вскрышных пород при открытом способе добычи полезных ископаемых.

Отвалы занимают огромные территории, часто превышая размеры самого карьера, при этом до разработки с территории будущего карьера и прилегающих зон полностью уничтожаются леса, кустарники и травяной покров. При буровзрывных работах и транспортировки породы до дробления и переработки – в атмосферу выбрасывается огромное количество пыли. Мелкодисперсная пыль, практически невидимая для невооруженного глаза человека, состоит из микроскопических частиц горных пород, часто содержащих кремнезем. По данным экологов, уровень концентрации пыли в воздухе на карьерах может превышать предельно допустимые нормы в сотни и даже тысячи раз, а содержание свободной двуокиси кремния в некоторых случаях может достигать 60–80 % [2,3]. Производственная пыль – одна из наиболее распространенных профессиональных вредностей, которая мо-

жет вызывать пылевые заболевания. Опасность легочных заболеваний возрастает с увеличением содержания в пылевом аэрозоле свободной двуокиси кремния.

Строительство крупных карьеров, размещение отвалов пустых пород, хвостов обогатительных фабрик и др. приводит к образованию техногенных земель, требующих, в свою очередь, рекультивации.

Цель исследования – анализ воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду и разработка мероприятий по рекультивации земель (на примере участка «Курьян-2» в Амурской области)

Объект исследования – карьер «Курьян-2», расположен на территории Тындинского муниципального округа Амурской области, в 6 км от г. Тынды. Предмет исследования – процессы восстановления земель, реализуемые на этой территории.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании использованы методы исследования:

- теоретические (теоретико-методологический анализ, правовой анализ и др.);
- эмпирические (наблюдение, метод моделирования, картографические анализ и др.).

Информационной базой исследования послужили материалы нормативных документов в области экологической безопасности России и субъектов Дальневосточного федерального округа (ДФО), данные Росстата, которые имеются в открытом доступе.

Несмотря на ужесточение законодательства в плане восстановления нарушенных земель количество этих земель остается высоким из-за масштабной деятельности горнодобывающих комбинатов. На территории ДФО ведут деятельность более 200 горнодобывающих предприятий, обеспечивая высокую долю добычи важнейших полезных ископаемых России.

Научные труды по проблеме продуктивности нарушенных горными работами земель в процессе добычи строительных материалов свидетельствует о том, что в настоящее время недостаточно применяются меры по восстановлению этих земель [4–6].

Важнейший экологический аспект рекультивации представлен в Федеральном законе от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», который вводит понятие рекультивации в контексте защиты природной среды. Статья 42 прямо указывает, что предприятия и организации всех форм собственности, ведущие деятельность, сопровождающуюся разру-

шением основных компонентов природной среды, обязаны осуществлять работы по рекультивации [7, 8]. Деграция земель является движущей силой изменения климата через выбросы парниковых газов (ПГ) и сниженные нормы поглощения углерода. С 1990 г. во всем мире площадь лесов уменьшилась на 3 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Участок недр (объект «Курьян-2») расположен на территории Тындинского муниципального округа Амурской области (район приравнен к районам крайнего Севера), в 6 км от г. Тынды. Вдоль южной границы месторождения проходит автомобильная дорога Тынды – Ларба и Байкало-Амурская железнодорожная магистраль (БАМ). Вблизи находится дачный поселок. Разработкой месторождения занимается ведущая производственно-инжиниринговая компания ОАО «Бамстроймеханизация», которая специализируется на выполнении строительно-монтажных работ в сегменте транспортного строительства [9].

Общая площадь участка составляет 15,3 га. Рельеф территории преимущественно низкогорный с абсолютными отметками от 643 до 1100 м, относительные превышения водоразделов над долинами рек достигают 110–230 м, склоны водоразделов в основном пологие (рисунок).



Расположение карьера «Курьян-2»
Примечание: фрагмент карты
с Google Earth Pro

Воздействия на природную среду карьера месторождения магматических пород (гранит) «Курьян-2» – это изменение ландшафта, почвенного и растительного покрова, атмосферное и шумовое воздействие. Известно, что отработка карьера производилась валовым способом, что привело в первую очередь к полному нарушению ландшафта. При валовой выемке гранита на месторождении «Курьян-2» происходит коренная трансформация территории, формируется глубокая техногенная чаша карьера и внешние отвалы вскрышных пород, что полностью меняет естественный рельеф.

Плодородный слой и растительность уничтожаются на всей площади земельного отвода, что ведет к потере биологической продуктивности земель.

Буровзрывные работы и работа тяжелой техники создают постоянное пылевое загрязнение и высокий уровень звукового давления, воздействуя на прилегающие экосистемы. Взвешенные частицы (пыль), диоксид азота (NO_2), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2) и др. превосходят ПДК в разы и отрицательно действуют на персонал и жителей близлежащих поселений. Работы в суровых климатических условиях Севера и Дальнего Востока требуют особых подходов к реабилитации, так как природные экосистемы здесь восстанавливаются крайне медленно.

Процессы рекультивации часто не успевают за темпами образования отвалов и карьеров, требуя комплексных мер по восстановлению почвенного покрова. Устранение этой проблемы начинается с вопросов обеспечения экологической и социальной безопасности, восстановления продуктивности нарушенных земель. В связи с этим необходимо создание ускоренного формирования оптимальных культурных ландшафтов продуктивным почвенно-растительным покровом.

Согласно действующему законодательству выбрано лесохозяйственное направление: посадка деревьев и кустарников для закрепления склонов и восстановления биогеоценоза.

Предлагаемый комплексный подход к рекультивации нарушенных горными работами земель представляет собой систему последовательных мероприятий, направленных на восстановление территорий с учетом специфических природно-климатических условий региона. Каждый из основных этапов – технический и биологический – имеет свои особенности и требования к восстановлению исследуемой территории.

Таблица 1

Мероприятия технического этапа рекультивации карьера в условиях северных районов Амурской области

Технологический процесс	Технические параметры	Предполагаемый результат
Планировка поверхности	Уклон не более 3–5°	Формирование устойчивого рельефа
Формирование откосов	Угол до 25–30°	Предотвращение эрозии
Нанесение плодородного слоя	Мощность 20–40 см	Создание основы для растительности

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Основные характеристики термоизолирующих материалов

Характеристика	Геотекстиль	Агротекстиль
Терморегуляция	Сглаживает резкие перепады температур, защищая семена от вымерзания ночью и перегрева днем	Обязательна, так как материал постоянно находится под солнцем
Удержание влаги	Пропускает воду, но задерживает частицы грунта (фильтрация)	Пропускает воду, воздух и (часто) солнечный свет
Прочность	Очень высокая. Выдерживает давление щебня, песка и строительной техники	Относительно низкая. Легко рвется при механическом воздействии
Плотность	Обычно от 100 до 600 г/м ²	Обычно от 17 до 60 г/м ² (белый) и до 100 г/м ² (черный)

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

При выполнении технического этапа рекультивации земель после завершения разработки месторождения выполняется планировка территории (выравнивание поверхности дна карьера, устранение остаточных техногенных образований). Для укрепления откосов и защиты от осыпания предлагается использовать гибкие системы из противозерозионных средств и сеток из высокопрочной стальной проволоки. Это современное решение для укрепления откосов и склонов, сложенных рыхлыми и выветриваемыми скальными грунтами. Стабилизация поверхности откосов техническими средствами с целью уменьшения их эрозии. Основные мероприятия технического этапа рекультивации в условиях северных районов Амурской области приведены в табл. 1.

Планировка поверхности включает выравнивание поверхности дна карьера использованием тяжелой строительной техники, устранение остаточных техногенных образований и подготовку территорий для дальнейшего биологического восстановления.

Исследования свидетельствуют о том, что при разработке комплексной схемы реабилитации горнопромышленных территорий необходимо предусмотреть технические регламенты на уровне законов или нормативных актов. Определены общие

требования к рекультивации земель [10–12], которые при выполнении биологического этапа (возобновление растительного покрова) позволят вернуть выбывшие земли в хозяйственный оборот и восстановить биоразнообразие. Поскольку общие требования задают лишь вектор, для реального восстановления биоразнообразия важна детальная проработка именно биологического этапа.

Восстановление почвенного слоя в условиях многолетней мерзлоты представляет собой довольно сложную задачу на фоне крайне медленных процессов почвообразования, измеряемых десятилетиями и столетиями [13–15]. Такие территории требуют особого подхода и применения современных технологий. В связи с этим для ускорения восстановления почвенного слоя предлагается использование специального термоизолирующего покрытия

В табл. 2 дан сравнительный анализ термоизолирующих материалов – геотекстиля и агротекстиля.

Учитывая дополнительные факторы (как частично завезенный плодородный слой), лучшим вариантом будет геотекстиль с плотностью 200–300 г/м², который защитит от выветривания и вымывания, пока молодая растительность не окрепнет. Одним из основных подходов к восстановлению

почвенного слоя в условиях многолетней мерзлоты является использование органических удобрений и мелиорантов.

Полученные результаты позволили сделать предварительный вывод о том, что на рекультивируемых территориях нужно создавать сложные фитоценозы. После внесения удобрений площадь карьера будет засеяна семенами кедрового стланика и лиственницей Гмелина (имеет мощную корневую систему). Эти растения устойчивы к условиям Крайнего Севера и особенностям данных почв, выдерживают экстремальные морозы (до -60°C). После достижения определенного процента приживаемости саженцев (обычно через 1–3 года после посадки) работы по восстановлению утраченных земель на исследуемой территории считаются завершенными.

Таким образом, комплексный подход к рекультивации земель карьера Курьян-2 – это основной этап недропользования, направленный на восстановление нарушенных земель, экологическое и экономическое восстановление ландшафтов.

Заключение

Обоснована экологическая реабилитация горнопромышленных территорий, сформировавшихся в результате открытых горных работ предприятием АО «Бамстроймеханизация». Предложен комплексный подход, базирующийся на современных технологиях, принципах устойчивого развития, приоритета охраны окружающей среды и рационального природопользования. Полученные результаты могут быть полезны специалистам в области геоэкологии, горного дела и природопользования.

Список литературы

1. Усиков В. И., Липина Л. Н., Александров А. В., Корнеева С. И. Оценка влияния отходов горного производства на окружающую среду с применением ГИС технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 12. С. 114–126. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-114-126. EDN: DWCNQV.
2. Калаева С. З. К., Чистяков Я. В., Мурагова К. М., Чеботарев П. В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 40–63. EDN: WWMROH.
3. Папичев В. И. Опасность открытой горной разработки для атмосферы и почв прилегающих территорий // Но-

вые идеи в науках о Земле: материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 т. (г. Москва, 02–05 апреля 2019 г.). Т. 4. М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе. 2019. С. 149–152. EDN: AIDQLC.

4. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Калабин Г. В. Экологизация технологической парадигмы недропользования – локальный ответ на глобальные вызовы // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 1. С. 58–66. DOI: 10.31857/S0869587323010103. EDN: ENJENA.

5. Галченко Ю. П. Интегральная экологическая оценка геомеханического состояния литосферы при устойчивом развитии минерально-сырьевого комплекса // Горный журнал. 2024. № 1. С. 4–8. DOI: 10.17580/gzh.2024.01.01. EDN: BYECBL.

6. Мирзеханова З. Г., Климина Е. М. Показатель «сохранение ландшафтного разнообразия» в региональных экологических программах: структура и алгоритм использования // Развитие территорий. 2025. № 3. С. 55–66. DOI: 10.32324/2412-8945-2025-3-55-66. EDN: KSVGVM.

7. Канакова Е. В., Вдовенко А. В., Липина Л. Н. Рекультивация хвостохранилища № 1 обогатительной фабрики месторождения Албазино // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12–2. С. 64–74. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_64. EDN: IEIXQO.

8. Остапенко С. П., Месяц С. П. Исследование динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, по данным спутниковых наблюдений // Горная промышленность. 2024. № 6. С. 52–58. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-6-52-58. EDN: WSGACZ.

9. Сайт Тындинского муниципального округа. [Электронный ресурс]. URL: <https://atrtynnda.ru> (дата обращения: 17.03.2026).

10. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ [в ред. от 30.01.2026 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2026)]. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773 (дата обращения: 17.03.2026).

11. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (последняя редакция). [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 (дата обращения: 17.03.2026).

12. Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель: Постановление Правительства РФ № 781 от 29.05.2025 г. URL: https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_506469 (дата обращения: 17.03.2026).

13. Баранов А. Б., Наполов О. Б. Методика контроля адаптации рекультивированных и загрязненных территорий к местным природным условиям Крайнего Севера // Газовая промышленность № 3 (765). 2018. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kontrolya-adaptatsii-rekultivirovannyh-i-zagryaznennyh-territoriy-k-mestnym-prirodnym-usloviyam-kraynego-severa/viewer> (дата обращения: 01.03.2026).

14. Миков Л. С., Счастливец Е. Л., Андроханов В. А. Оценка эффективности рекультивации на участках разреза «Назаровский» с помощью дистанционного зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 1. С. 70–83. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_70.

15. Недбаев И. С., Елсукова Е. Ю. Изучение мирового и российского опыта по разработке оптимальных путей рекультивации нарушенных земель // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/27NZVN621.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА И АВАНДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН В 2025 ГОДУ

¹Михалко А. С. ORCID ID 0009-0008-3502-6776,

¹Подобедова А. В. ORCID ID 0009-0009-9510-5326,

²Решетняк О. С. ORCID ID 0000-0001-7160-2461,

¹Саяпин В. В. ORCID ID 0000-0003-3917-2013,

¹Сазонов А. Д. ORCID ID 0000-0002-1700-9314

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация, e-mail: mihalko@ssc-ras.ru;

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Статья посвящена изучению продукционно-деструкционных процессов в Таганрогском заливе Азовского моря, что является важной геоэкологической задачей комплексного исследования экосистем южных водоемов в условиях высокой эвтрофикации и изменения солености воды. Целью исследования является оценка характеристик первичной продукции фитопланктона и деструкции органического вещества в водной толще восточной части Таганрогского залива и в авандельте р. Дон в 2025 г. на основе экспедиционных наблюдений. Материалом послужили данные экспериментов по определению продукции и деструкции скляночным методом в кислородной модификации, полученные в ходе четырех рейсов 2025 г. Максимальная активность продукционных процессов наблюдалась в августе, минимальная – в декабре, что согласуется с литературными данными. Средние показатели валовой первичной продукции в исследованный период превышали значения, характерные для 2008–2010 гг. Выявлены различия в вертикальном распределении продукционно-деструкционных показателей в зависимости от месяца и района обследования. Увеличение солености Азовского моря на данный момент не привело к снижению продуктивности в обследованном районе. Полученные новые данные о продуктивности Таганрогского залива Азовского моря могут быть использованы при оценке современного эколого-гидрохимического состояния водоема и разработке мероприятий по сохранению биоресурсов.

Ключевые слова: Таганрогский залив, Азовское море, авандельта Дона, первичная продукция, соленость воды, деструкция органического вещества, продукционно-деструкционные процессы, прозрачность

CHARACTERISTICS OF PRODUCTION-DESTRUCTION PROCESSES IN THE EASTERN PART OF TAGANROG BAY AND THE DON RIVER AVANDELTA IN 2025

¹Mikhalko A. S. ORCID ID 0009-0008-3502-6776,

¹Podobedova A. V. ORCID ID 0009-0009-9510-5326,

²Reshetnyak O. S. ORCID ID 0000-0001-7160-2461,

¹Sayapin V. V. ORCID ID 0000-0003-3917-2013,

¹Sazonov A. D. ORCID ID 0000-0002-1700-9314

¹Federal State Budgetary Institution of Science “Federal Research Centre Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Rostov-on-Don, Russian Federation, e-mail: mihalko@ssc-ras.ru;

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Southern Federal University”, Rostov-on-Don, Russian Federation

The article is devoted to the study of production-destruction processes in Taganrog Bay of the Sea of Azov, which represents an important geoecological task within the comprehensive investigation of southern water body ecosystems under conditions of high eutrophication and changing water salinity. The aim of the study is to assess the characteristics of phytoplankton primary production and organic matter destruction in the water column of the eastern part of Taganrog Bay and the Don River delta in 2025 based on expeditionary observations. The material comprises data from experiments determining production and destruction using the bottle method in oxygen modification, obtained during four cruises in 2025. Maximum production process activity was observed in August, minimum in December, which agrees with published data. Average gross primary production during the studied period exceeded values typical for 2008–2010. Differences in the vertical distribution of production-destruction parameters depending on the month and study area were revealed. The current increase in salinity of the Sea of Azov has not yet led to a decrease in productivity in the area surveyed. The newly obtained data on the productivity of Taganrog Bay of the Sea of Azov can be used to assess the current ecological and hydrochemical state of the water body and to develop measures for the conservation of biological resources.

Keywords: Taganrog Bay, Sea of Azov, Don avandelta, primary production, organic matter destruction, production-destruction processes, water transparency, water salinity

Введение

Первичная продукция органического вещества и деструкционные процессы в воде являются фундаментальными основами функционирования водных экосистем. Эти процессы происходят с участием планктонных сообществ и характеризуют баланс между образованием органического вещества (первичной продукцией) и его разложением (деструкцией). Уровень первичной продукции определяет уровень биологической продуктивности водоема в целом [1, с. 91], трофности водоема и риск усиления эвтрофирования, а также способность экосистемы к самоочищению и качество воды.

Изучение первичной продукции и деструкции органического вещества (ОВ), в отличие от стандартных количественных гидробиологических показателей (численности и биомасса сообществ), позволяет получить более полное представление о скорости трансформации органического вещества и потоках энергии через сообщества гидробионтов [2–4]. Накопленные к настоящему времени данные по первичной продукции описывают продуктивность пресных водоемов (озер и водохранилищ) [5, с. 32; 6; 7]. Особый интерес представляют исследования структуры сообществ фитопланктона и формирования первичной продукции в морских системах, особенно в зонах смешения соленых и пресных вод [8–10].

В научной литературе достаточно много публикаций с результатами изучения продукционно-деструкционных процессов в морских водах различных регионов. Активно описываются не только характеристики этих процессов, но и соотношение «продукция/деструкция», обуславливающее преобладание различных процессов, и влияние различных факторов (температура, свет, биогенная нагрузка, гидрологические условия, скорость водообмена и др.) на интенсивность продукции и деструкции органического вещества. Например, низкие концентрации биогенных веществ и высокая концентрация взвеси в эстуарных зонах рек Дальнего Востока с развитой приливной динамикой вод создают неблагоприятные условия для автотрофной продукции [10; 11].

В зонах смешения речных и морских вод при изменении солености происходит изменение соотношения процессов «продукция/деструкция». Авторами работ [10; 11] показано, что «деструкционные процессы ОВ доминируют при солености < 20 ‰, а доминирование продукционных процессов наблюдается при солености

> 20 ‰ за счет резкого увеличения толщины фотического слоя». Интенсивность продукционно-деструкционных процессов авторы исследуют во взаимосвязи с уровнем рН среды и с параметрами карбонатно-кальциевой системы [11].

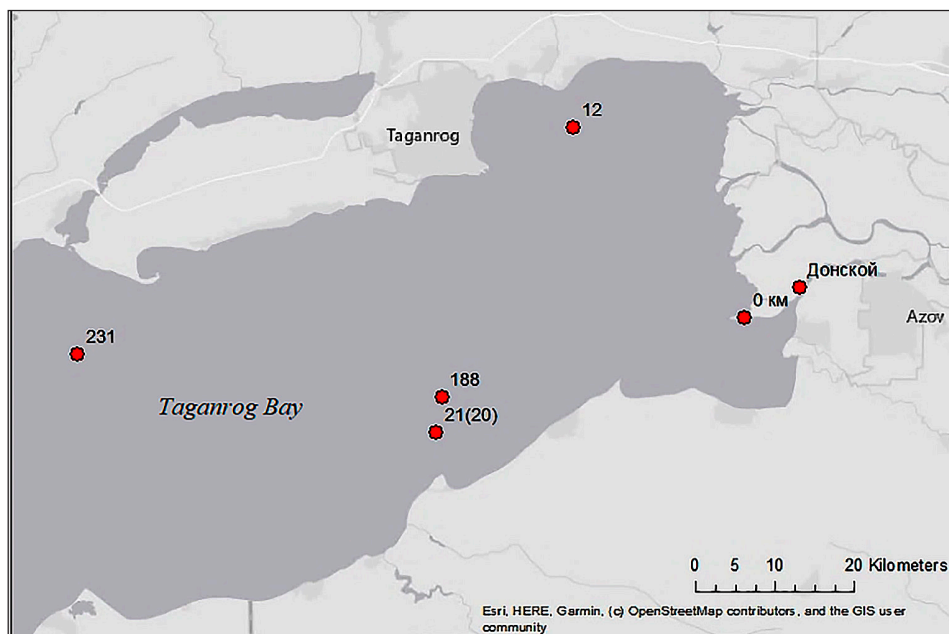
Особенно актуально изучение соотношения процессов «продукция/деструкция» в мелководном высокопродуктивном Азовском море, испытывающем высокую антропогенную нагрузку за счет активной сельскохозяйственной и рекреационной деятельности, влияние речного стока [12] и возможность эвтрофикации прибрежных вод за счет диффузного стока с водосборной территории. Речной сток Дона вносит значительный вклад в формирование гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик экосистемы Таганрогского залива Азовского моря, который характеризуется высокой динамикой продукционно-деструкционных процессов, особенно в зоне смешения речных и морских вод [12].

В таком контексте изучение продукционно-деструкционных процессов в южных водоемах в условиях высокой эвтрофикации – в Таганрогском заливе Азовского моря и в авандельте Дона является важной задачей комплексного исследования экосистемы в целом. Особый интерес представляет восточная часть залива – зона смешения пресных донских вод с солеными водами Азовского моря.

Цель исследования – изучение характеристик продукционно-деструкционных процессов в водной толще восточной части Таганрогского залива и в авандельте р. Дон в 2025 г. на основе экспедиционных наблюдений.

Материалы и методы исследования

Материалом для данной работы послужили результаты исследований продукционно-деструкционных процессов в водной толще Таганрогского залива и авандельте р. Дон, проведенные в ходе трех рейсов ЮНЦ РАН на научно-исследовательском судне (НИС) «Профессор Панов» с 04 по 10 июня, с 30 июля по 04 августа и с 04 по 09 декабря 2025 г. и одного рейса на НИС «Денеб» с 06 по 16 декабря 2025 г. Район обследования и расположение станций отбора проб воды и проведения экспериментов приведены на рис. 1. Эксперименты по определению первичной продукции и деструкции ОВ были проведены на шести станциях. Четыре из них (ст. 12, 188, 21 (20), 231) расположены в восточной части Таганрогского залива, а станции 0 км и Донской находятся в авандельте р. Дон.



*Рис. 1. Район работ и расположение станций в восточной части Таганрогского залива Азовского моря
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования*

Определение первичной продукции фитопланктона и деструкции ОВ проводилось непосредственно в точке (станции) с помощью гирлянды на стандартных горизонтах скляночным методом в кислородной модификации [1, с. 92]. В декабре на станциях, расположенных в Таганрогском заливе, из-за низкой прозрачности (0,25–0,30 м) и волнения 0,4–0,6 м горизонты 0,5 и 1 п. д. С (прозрачность по диску Секки) выделялись не всегда. Начало экспозиции приходилось на период не ранее чем через час после восхода и не позднее чем за час до захода солнца. При постановке экспериментов для каждой станции и каждого горизонта фиксировали начальное содержание кислорода. Продолжительность экспозиции составляла не менее 2 ч в августе и 2–3 ч в декабре. По окончании экспонирования определяли конечное содержание кислорода в воде по стандартной методике. Титрование из одной кислородной склянки проводили в трехкратной повторности согласно руководству [1, с. 96] и количество кислорода в воде ($\text{мгO}_2/\text{л}$) определяли расчетным способом по формуле, представленной в [1, с. 97], что обеспечивает достоверность результатов измерений. При пересчете $\text{мгO}_2/\text{л}\cdot\text{ч}$ в $\text{мгС}/\text{л}\cdot\text{ч}$ использовался коэффициент 0,375 [1, с. 109].

На каждой станции, где выполнялись эксперименты по определению первичной продукции и деструкции ОВ, измеряли с помощью многопараметрического зонда Fuscip

FS080114 температуру, соленость воды, концентрацию растворенного кислорода и степень насыщения воды кислородом (%).

Расчет продукции в суточном цикле производился путем пересчета величин валовой продукции (в $\text{гС}/\text{м}^3\cdot\text{ч}$) на продолжительность светового дня, исключая час после рассвета и час перед закатом, когда интенсивность солнечного излучения недостаточна для процессов фотосинтеза). Величины деструкции ОВ пересчитывались на 24 ч.

Результаты исследования и их обсуждение

При естественном цикле функционирования водных экосистем в теплый период года (в вегетационный период) в поверхностных слоях водной толщи чаще преобладает процесс продукции органического вещества (ОВ) фитопланктоном, в холодный период – деструкция ОВ. В современных условиях антропогенного воздействия (прямого или косвенного) этот естественный процесс может нарушаться за счет точечного или диффузного поступления биогенных веществ с водосборной территории, за счет изменений солености воды и термического режима моря и других факторов. Результаты исследования продукционно-деструкционных процессов в акватории восточной части Таганрогского залива Азовского моря и в зоне смешения морских и речных вод в районе хутора Донской за 2025 г. представлены на рис. 2.

В восточной части Таганрогского залива и в авандельте интенсивность продукционно-деструкционных процессов в теплый и холодный периоды характеризовалась четкими различиями. В теплый период значения продукции и деструкции ОВ в поверхностном горизонте были значительно выше, чем в холодный период (декабрь 2025 г.). Самые максимальные значения продукции ОВ фитопланктоном зафиксированы в августе 2025 г. на станциях 12 и 21 (20) на уровне 8,14 и 9,22 гС/м³ в сут. В фитопланктонном сообществе Таганрогского залива продукционные процессы в августе протекали намного интенсивнее, чем в июне 2025 г. В холодный период значения продукции и деструкции были минимальны, но соответствовали среднемноголетним величинам. Исключение составляет ст. 188 в заливе, где в декабре деструкция ОВ преобладала над продукционными процессами, что может быть связано с влиянием локального загрязнения и дополнительным поступлением биогенных и органических соединений в прибрежные акватории с прилегающей территории.

Во время проведения исследований *in situ* (при экспонировании склянок) проводились измерения основных гидролого-гидро-

химических характеристик поверхностного горизонта воды (табл. 1). Температурный режим морских масс полностью соответствовал периодам исследования. В августе температура воды (в среднем 26,8 °С) была выше, чем в июне (22,6–23,8 °С), а в декабре – варьировала от 3,3 до 7,3 °С. Значительных различий в значениях температуры воды в поверхностном и придонном слое не выявлено.

В научных статьях современного периода отмечается резкий рост солености воды Азовского моря [13; 14], который вызван длительным периодом маловодья, ростом температуры воды и воздуха в последние десятилетия и, соответственно, повышением испарения с акватории моря. Соленость морских вод в точках исследования на станциях восточной части Таганрогского залива (опресненной части Азовского моря) составляла в теплый период 1,66–6,24 е. п. с., в холодный период – 6,93–9,72 е. п. с. (табл. 1). Кислородный режим в исследуемой части моря можно считать благополучным, насыщение кислородом в теплый период в поверхностном слое достигало 107–131 %, в холодный период варьировало в пределах 93–99 %, что связано со снижением активности фитопланктона.

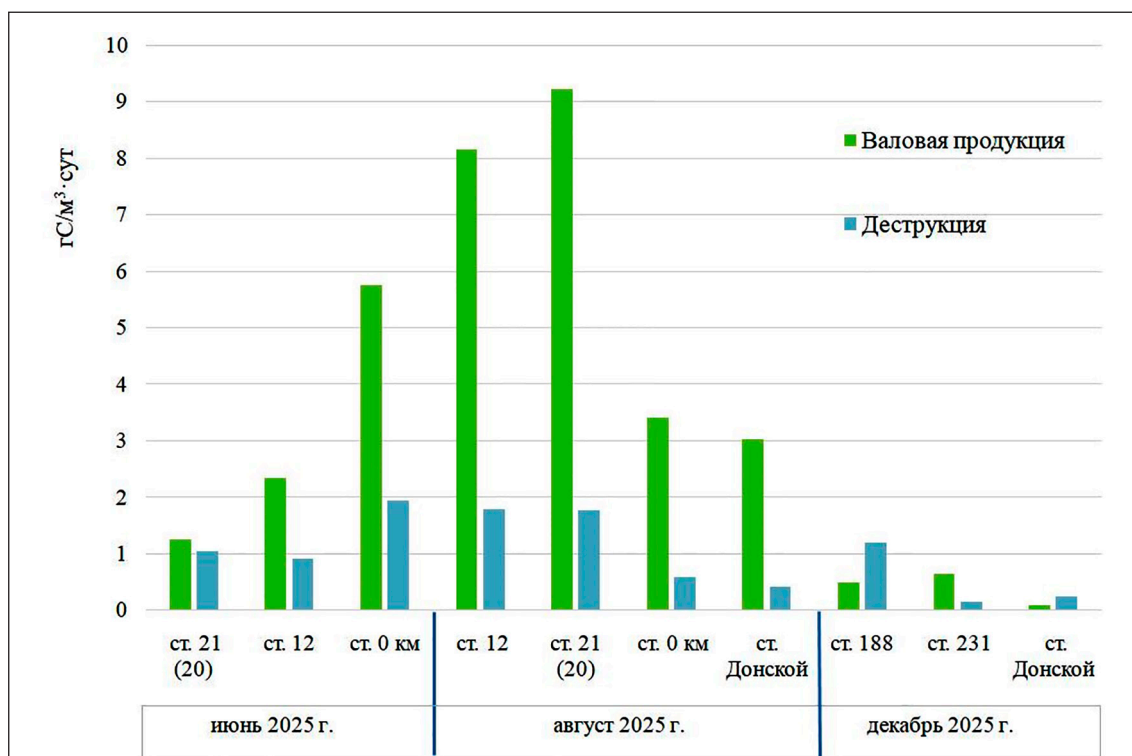


Рис. 2. Значения валовой первичной продукции и деструкции ОВ в поверхностном горизонте в восточной части Таганрогского залива Азовского моря в 2025 г.

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Гидролого-гидрохимические характеристики поверхностного горизонта воды восточной части Таганрогского залива и авандельты р. Дон в 2025 г.

Станция – дата 2025 г.	Прозрачность по диску Секки, м	Кислород, мг/дм ³	Степень насыщения O ₂ , %	Температура, °С	Соленость, е. п. с
Летний (теплый) период					
Ст. 21(20) – 05.06.	0,50	9,0	109	23,1	6,24
Ст. 12 – 06.06.	0,50	9,1	107	22,6	2,52
Ст. 0 км – 07.06.	0,40	11,0	131	23,8	0,68
Ст. 21(20) – 01.08.	0,35	9,3	117	25,9	4,93
Ст. 12 – 01.08.	0,35	10,0	125	26,2	1,66
Ст. 0 км – 02.08.	0,40	8,8	112	27,9	0,61
Ст. Донской – 04.08.25	0,40	9,1	115	27,3	0,61
Зимний (холодный) период					
Ст. Донской – 04.12.	0,70	12,7	93	7,3	0,69
Ст. 188 – 10.12.	0,30	11,8	97	4,2	9,72
Ст. 231 – 10.12.	0,40	12,6	99	3,3	6,93

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Значения валовой первичной продукции (P_{вал}) и деструкции (Д) органического вещества в восточной части Таганрогского залива и в авандельте в теплый период 2025 г.

Горизонт	P _{вал} , гС/м ³ *сут	Д, гС/м ³ *сут	Горизонт	P _{вал} , гС/м ³ *сут	Д, гС/м ³ *сут
	ст. 12, 06.06.2025			ст. 0 км, 07.06.2025	
0–0,15 м	2,34	0,91	0–0,15 м	5,76	1,94
1 п.д.С. (0,50 м)	2,36	3,11	1 п.д.С. (0,40 м)	6,21	1,72
2 п.д.С. (1,00 м)	2,67	2,58	2 п.д.С. (0,80 м)	3,83	2,04
3 п.д.С. (1,50 м)	0,86	0,78	3 п.д.С. (1,20 м)	1,91	4,74
Горизонт	ст. 21 (20), 01.08.2025		Горизонт	ст. 12, 01.08.2025	
0–0,15 м	9,22	1,77	0–0,15 м	8,14	1,79
1 п.д.С. (0,35 м)	7,02	1,21	1 п.д.С. (0,35 м)	2,88	1,76
2 п.д.С. (0,70 м)	3,54	1,14	2 п.д.С. (0,70 м)	4,00	1,66
3 п.д.С. (1,05 м)	2,12	2,23	3 п.д.С. (1,05 м)	1,96	1,51
Горизонт	ст. 0 км, 02.08.2025		Горизонт	ст. Донской, 04.08.2025	
0–0,15 м	3,41	0,59	0–0,15 м	3,03	0,41
1 п.д.С. (0,40 м)	2,06	0,33	1 п.д.С. (0,40 м)	1,12	0,03
2 п.д.С. (0,80 м)	1,55	0,31	2 п.д.С. (0,80 м)	0,54	0,02
3 п.д.С. (1,20 м)	1,50	0,13	3 п.д.С. (1,20 м)	0,61	0,03

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таким образом, никаких аномальных значений гидролого-гидрохимических параметров, способных значительно повлиять на продукционно-деструкционные процес-

сы, в исследуемой части Таганрогского залива и авандельты р. Дон в 2025 г. не выявлено.

Интенсивность продукционно-деструкционных процессов значительно варьирует

в зависимости от глубины водного объекта, мутности воды и глубины проникновения солнечной энергии. Результаты оценки и распределения валовой первичной продукции и деструкции ОВ на разных глубинах в восточной части Таганрогского залива Азовского моря в теплый период (июнь – август 2025 г.) приведены в табл. 2, в холодный период (декабрь 2025 г.) – в табл. 3. В теплый период распределение значений продукции и деструкции ОВ по горизонтам происходило практически однотипно и характеризовалось плавным снижением значений с глубиной (табл. 2, рис. 3, а). Исключение составил участок акватории залива на ст. 21 (20), где с глубиной отмечался рост интенсивности деструкции ОВ (рис. 3, б).

В холодный период распределение интенсивности продукции и деструкции ОВ по горизонтам значительно различалось по районам обследования. Так, на станциях, относящихся к акватории восточной части Таганрогского залива, происходило снижение значений с глубиной (табл. 2), на станции Донской в аванделъте – отмечалось увеличение продукции и деструкции ОВ на глубинах 1,40 м и 0,70 м (1–2 п. д. С.) до максимальных значений 0,34 и 1,18 гС/м³ в сут. соответственно (табл. 3, рис. 4).

Таким образом, распределение интенсивности продукции и деструкции ОВ по глубине имеет общие черты, значения параметров в большинстве случаев снижались с глубиной.

Таблица 3

Значения валовой первичной продукции ($P_{\text{вал}}$) и деструкции (Д) органического вещества в восточной части Таганрогского залива и в аванделъте в холодный период 2025 г.

Станция	Горизонт	$P_{\text{вал}}$, гС /м ³ *сут	Д, гС /м ³ *сут
Ст. 188, 10.12.2025	0–0,15 м	0,500	1,198
	1 п.д. С. (0,30 м)	–	–
	2 п.д. С. (0,60 м)	0,046	0,101
	3 п.д. С. (0,90 м)	–	–
ст. 231, 10.12.2025	0–0,15 м	0,657	0,155
	1 п.д. С. (0,40 м)	0,174	0,158
	2 п.д. С. (0,80 м)	0,121	0,117
	3 п.д. С. (1,20 м)	0,064	0,087
ст. Донской, 04.12.2025	0–0,15 м	0,096	0,252
	1 п.д.С. (0,70 м)	0,121	1,183
	2 п.д.С. (1,40 м)	0,342	0,573
	3 п.д.С. (2,10 м)	0,036	0,487

Примечание: прочерк означает, что эксперимент не получился.

Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

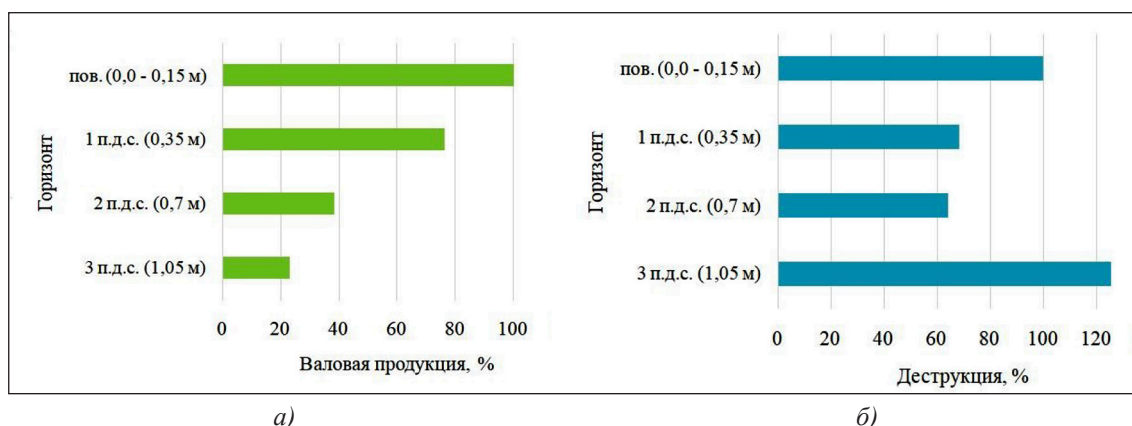


Рис. 3. Изменчивость в теплый период продукции (а) и деструкции (б) на различных горизонтах станции 21 (20) в восточной части Таганрогского залива 01.08.2025

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

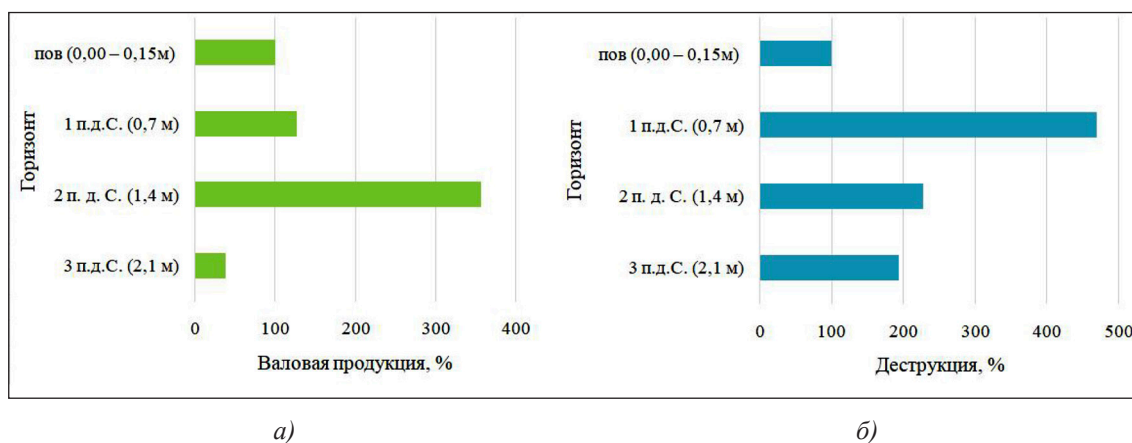


Рис. 4. Изменчивость в холодный период продукции (а) и деструкции (б) на различных горизонтах станции Донской в авандельте 04.12.2025
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Важность изучения и оценки первичной продукции Азовского моря обусловлена необходимостью этих данных для оценки рыбопродуктивности водоема и сохранения биоресурсов, особенно ценных сортов рыб. По многолетним данным исследований Южного научного центра РАН [15, с. 132], начиная с 1980-х гг. наблюдается рост первичной продукции в Азовском море. По данным Ю. В. Косенко с соавт. [14], в современный период осолонения Азовского моря происходит снижение первичной продукции Таганрогского залива (данные на 2021 г.) относительно среднемноголетнего уровня.

По нашим данным за 2025 г., в восточной части Таганрогского залива, наиболее продуктивной части Азовского моря, первичная продукция экосистемы превышает показатели периода 2008–2010 гг. [15], что подтверждает ранее представленный возрастающий тренд. Полученные результаты имеют предварительный характер и будут уточняться в дальнейших исследованиях.

Заключение

Проведена оценка изменчивости продукционно-деструкционных процессов в восточной части Таганрогского залива и авандельте р. Дон в 2025 г. Отмечено, что максимальная продукционная активность экосистемы ОВ вещества над процессами деструкции указывает на то, что в экосистеме накапливается органика, что может усиливать процесс эвтрофирования. Выявлена выраженная разнонаправленная вертикальная стратификация валовой первичной продукции и деструкции ОВ с глубиной.

Сравнение значений валовой первичной продукции и деструкции ОВ 2025 г. в вос-

точной части Таганрогского залива и авандельте р. Дон с аналогичными данными за более ранний период 2008–2010 гг. показало, что продуктивность экосистемы возрастает, что требует дальнейших детальных исследований и уточнения взаимосвязи с соленостью воды и другими гидролого-гидрохимическими параметрами.

Полученные результаты об интенсивности продукционно-деструкционных процессов Таганрогского залива Азовского моря имеют высокую прикладную значимость и могут быть использованы при оценке современного эколого-гидрохимического состояния водоема и разработке экологически обоснованных мероприятий по сохранению биоресурсов.

Список литературы

1. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. к.б.н. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с. [Электронный ресурс]. URL: https://mgmtmo.ru/edumat/hydrochem/Abakumov_hydrobiological_analysis.pdf (дата обращения: 02.05.2026).
2. Lim A. S., Jeong H. J. Primary production by phytoplankton in the territorial seas of the Republic of Korea // *Algae*. 2022. Vol. 37. Is. 4. P. 265–279. URL: <https://www.e-algae.org/journal/view.php?viewtype=pubreader&number=2981> (дата обращения: 27.04.2026). DOI: 10.4490/algae.2022.37.11.28.
3. Rusanov I. I., Savichev A. S., Zasko D. N., Sigalevich P. A., Pipko I. I., Pugach S. P., Pimenov M. V., Semiletov I. P. Primary production and microbial heterotrophy in the Siberian arctic seas, Bering Strait, and Gulf of Anadyr, Bering Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2024. Vol. 299. P. 108673. URL: <https://www.poi.dvo.ru/ru/node/2388> (дата обращения: 27.04.2026). DOI: 10.1016/j.ecss.2024.108673.
4. Guo C., Zhou Y., Zhou H., Su C., Kong L. Aerosol nutrients and their biological influence on the Northwest Pacific Ocean (NWPO) and its marginal seas // *Biology*. 2022. Vol. 11. Is. 6. P. 842. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/6/842> (дата обращения: 25.04.2026). DOI: 10.3390/biology11060842.
5. Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с. URL: <https://>

bio.sfu-kras.ru/files/3451_Alimov1989.pdf (дата обращения: 23.04.2026).

6. Бульон В. В. Сравнительная оценка первичной продукции наземных и водных экосистем // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 21–33. URL: <https://waterjournal.ru/files/wj/1698665248.pdf> (дата обращения: 27.04.2026). DOI: 10.35567/19994508_2023_5_2. EDN: HCSSKK.

7. Исаев А. В., Рябченко В. А. Модельные оценки межгодовой изменчивости характеристик экосистемы Ладожского озера в период с 1980 по 2020 годы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. Т. 17. № 4. С. 32–42. URL: <https://hydrophysics.spbr.ru/jour/article/view/1379> (дата обращения: 25.04.2026). DOI: 10.59887/2073–6673.2024.17(4)–2. EDN: EHTXVP.

8. Македонская И. Ю., Медведева Е. В., Отченаш Н. Г., Студенов И. И., Торцев А. М., Коница Ю. М. Внутригодовая изменчивость планктонных сообществ устьевой области реки Северная Двина // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 2023. № 102 (105). С. 65–80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnutrigodovaya-izmenchivost-planctonnyh-soob-schestv-ustievoy-oblasti-reki-severnaya-dvina> (дата обращения: 26.04.2026). DOI: 10.47021/0320-3557-2023-65-80. EDN: YTYMFE.

9. Суханова И. Н., Флинт М. В., Мошаров С. А., Сергеева В. М. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилегающем Карском шельфе // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 785–800. EDN: MVSGYN.

10. Семкин П. Ю., Тищенко П. П., Тищенко П. Я., Павлова Г. Ю., Сагалаев С. Г., Ходоренко Н. Д., Шкир-

никова Е. М., Швецова М. Г. Характеристика продукционно-деструкционных процессов в эстуариях рек Уда и Усалин (Охотское море) в период летнего паводка // Вестник ДВО РАН. 2020. № 2. С. 88–96. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.011.

11. Семкин П. Ю., Тищенко П. Я., Павлова Г. Ю., Тищенко П. П., Сагалаев С. Г., Шкирникова Е. М., Швецова М. Г. Карбонатная система эстуариев рек Сыран и Ульбан (Ульбанский залив Охотского моря) в период летнего паводка // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 5. С. 650–661. URL: <https://elibrary.ru/zzoknu> (дата обращения: 25.04.2026). DOI: 10.31857/S0321059622050145. EDN: ZZOKNU.

12. Герасюк В. С., Лихтанская Н. В., Сорокина В. В., Бердников С. В. Сток органических веществ с рекой Дон в Азовское море в маловодный период 2007–2020 гг. // Водные ресурсы. 2025. Т. 52. № 2. С. 68–83. DOI: 10.31857/S0321059625020061. EDN: UBXUVW.

13. Бердников С. В., Кулыгин В. В., Дашкевич Л. В. Причины стремительного роста солености воды Азовского моря в XXI веке // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39. № 6. С. 760–778. EDN: QPFZZT.

14. Косенко Ю. В., Баскакова Т. Е., Жукова С. В., Косенко Е. С. Влияние солености воды на развитие придонной гипоксии и уровень первичного продуцирования органического вещества в Таганрогском заливе // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6. № 1. С. 34–47. DOI: 10.47921/2619–1024_2023_6_1_34. EDN: JIEEVJ.

15. Экосистемные исследования среды и биоты Азовского бассейна / Отв. ред. чл.-корр. РАН Д. Г. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2012. 272 с. ISBN 978-5-4358-0048-7. EDN: RTTEOV.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН № гос. рег. 125040404857-4, № гос. рег. 125012100503-4.

Financing: The publication was prepared within the framework of the state assignment of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSCRAS), state registration No. 125040404857–4 and No. 125012100503–4.



ДИНАМИКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

Тимофеев М. А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова», Якутск,
Российская Федерация, e-mail: maksim1993timofeev@yandex.ru*

В статье рассматривается динамика продолжительности вегетационного периода (Growing Season Length, GSL) на территории Республики Саха (Якутия). Цель исследования – получение данных о динамике GSL по данным метеостанций и сравнение с данными климатических моделей. На основе анализа данных опорных 15 метеостанций за 1951–2025 гг. проведена оценка изменения продолжительности вегетационного периода с помощью теста Манна – Кендалла. Статистически значимые возрастающие тренды выявлены на 13 исследуемых станциях, преимущественно в центральных и южных районах. Выполнена верификация с использованием коэффициентов корреляции Пирсона, среднеквадратической ошибки и коэффициента конкордации Лина для пяти климатических моделей: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM-CHEM, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, HadGEM2-ES. Установлено, что за последние десятилетия средняя продолжительность GSL в регионе увеличилась на 6–10 дней, при этом наиболее выраженный рост (до 15–16 дней) зафиксирован в арктической зоне. Верификация моделей показала удовлетворительную точность воспроизведения регионального широтного градиента, однако на локальном уровне выявлена низкая прогностическая способность моделей: большинство коэффициентов корреляции по отдельным станциям являются статистически незначимыми. Сделан вывод о том, что современные глобальные модели адекватно описывают общий климатический фон, но не учитывают мезомасштабную изменчивость, обусловленную сложным рельефом и инверсионными процессами.

Ключевые слова: GSL, продолжительность вегетационного периода, Якутия, метеостанции, изменение климата

DYNAMICS OF GROWING SEASON LENGTH IN YAKUTIA

Timofeev M. A.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov”,
Yakutsk, Russian Federation, e-mail: maksim1993timofeev@yandex.ru*

The paper investigates the dynamics of the Growing Season Length (GSL) in the Republic of Sakha (Yakutia). The purpose of the study is to obtain data on GSL dynamics from weather station data and compare it with climate model data. Based on the analysis of data from 15 reference meteorological stations for the period 1951–2025, an assessment of changes in the growing season duration was conducted using the Mann-Kendall test. Statistically significant increasing trends were identified at 13 of the studied stations, predominantly in the central and southern regions. Verification was performed using Pearson correlation coefficients, Root Mean Square Error (RMSE), and Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) for five climate models: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM-CHEM, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, and HadGEM2-ES. It was established that over the recent decades, the average GSL in the region has increased by 6–10 days, with the most pronounced growth (up to 15–16 days) recorded in the Arctic zone. The model verification showed satisfactory accuracy in reproducing the regional latitudinal gradient; however, at the local level, a low predictive capacity of the models was revealed: most correlation coefficients for individual stations were found to be statistically insignificant. It is concluded that while modern global models adequately describe the general climatic background, they fail to account for meso-scale variability driven by complex topography and temperature inversion processes.

Keywords: GSL, growing season length, Yakutia, meteorological stations, climate change

Введение

Изменение климата, проявляющееся в глобальном повышении температуры воздуха, оказывает существенное влияние на функционирование природных экосистем и хозяйственную деятельность человека. Одним из наиболее информативных индикаторов этих изменений в бореальных и арктических регионах является продолжительность вегетационного периода (Growing Season Length, GSL).

Современные климатические изменения на территории России сопровождаются су-

щественной трансформацией термического режима, что зафиксировано в стратегических отчетных документах государственного уровня [1]. Исследования региональных откликов природной среды на потепление указывают на устойчивую тенденцию к изменению характеристик вегетационных периодов, что детально проанализировано на примере Предуралья [2]. Особое внимание в отечественной литературе уделяется динамике фенологических фаз и температурной обеспеченности в различных природно-почвенных зонах, в частности на тер-

ритории Алтайского края [3; 4]. В то же время для регионов криолитозоны, таких как Якутия, вопросы адаптации растительных сообществ к сдвигам вегетационного сезона остаются крайне актуальными и требуют уточнения с учетом современных темпов изменения климата. Несмотря на наличие локальных фенологических наблюдений [5], в настоящее время сохраняется дефицит обобщающих работ, основанных на сопряженном анализе данных метеорологической сети за последние десятилетия и результатов верификации глобальных климатических моделей. В данной статье предпринимается попытка восполнить этот пробел, рассматривая динамику индекса GSL на всей территории Якутии с привлечением данных климатических моделей.

Существует несколько методов определения длительности вегетационного периода. Методики зависят от порогового значения среднесуточной температуры либо от вида растительности. В данной работе использовался критерий устойчивого превышения 5 °C, так как такой способ используется климатическими моделями при моделировании различных сценариев RCP (Representative Concentration Pathways).

Исследование динамики вегетационного периода (GSL) в условиях Северо-Востока России опирается на обширный массив данных о трансформации климата и ландшафтов криолитозоны. Фундаментальные тренды современного потепления в Якутии подробно проанализированы в работах А. Н. Горохова и А. Н. Федорова [6], где показана высокая региональная изменчивость термического режима и его отклик на глобальные вызовы. Вопросы верификации и региональной адаптации прогностических моделей CMIP для территории Якутии находят отражение в работах [7; 8], что создает необходимую методическую базу для сопоставления результатов глобального моделирования с данными метеорологической сети региона.

Наряду с изменением дат начала и окончания вегетации, важным показателем трансформации природной среды выступает динамика теплообеспеченности, в частности рост сумм активных температур выше 10 °C, зафиксированный в сопредельных с Якутией регионах, таких как Забайкальский край [9]. Процессы потепления ведут к существенному пересмотру границ физико-географических районов: современное районирование степных и лесостепных зон демонстрирует устойчивый дрейф изо-

линий увлажнения и теплообеспеченности в сторону усиления засушливости вегетационного периода [10]. В более высоких широтах, в условиях арктического усиления, данные дистанционного зондирования подтверждают значительную пространственно-временную изменчивость растительного покрова Сибири, что подчеркивает необходимость детального анализа региональных термических ресурсов для понимания эволюции северных ландшафтов [11].

Цель исследования – получение данных о динамике GSL по данным метеостанций и сравнение с данными климатических моделей.

Материалы и методы исследования

GSL определяется как интервал между первым днём весной (после 1 января), когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышала 5 °C в течение не менее 6 дней подряд, и первым днём осенью (после 1 июля), когда среднесуточная температура воздуха устойчиво опускалась ниже 5 °C в течение не менее 6 последовательных дней [12].

Данные среднесуточных температур с метеостанций Якутии были скачаны из архива [13]. Часть метеостанций была отсеяна, так как были пропуски в рядах наблюдений. Отобрано 15 метеостанций, у которых не было ни единого пропуска в данных среднесуточной температуры с мая по сентябрь, за 1951–2025 гг. Наличие тренда проверялось критерием Манна – Кендалла, а величина тренда оценивалась по критерию Тейла – Сена.

Информационной базой исследования послужил специализированный массив агроклиматических показателей, разработанный Службой по изменению климата «Коперник» для анализа взаимодействия в системе «растение – климат». Используемые климатические модели: MIROC-ESM-CHEM (Япония), IPSL-CM5A-LR (Франция), NorESM1-M (Норвегия), HadGEM2-ES (Великобритания), GFDL-ESM2M (NOAA, США). Эти пять моделей входят в набор данных агроклиматических показателей [12]. Данный датасет ориентирован на количественную оценку климатической изменчивости в терминах, применимых в сельскохозяйственном секторе и экологическом моделировании.

Пространственное разрешение модельных данных составляет 0,5 ° на 0,5 ° и значения в NC-файлах находятся в узлах сетки. Исторический период включает в себя 1951–2010 г., а прогнозный, по различным

сценариям RCP, охватывает промежуток с 2011 по 2099 г. Для сравнения с данными метеостанций модельные данные извлекались из ближайшего узла сетки. Обработка и расчет производился в среде R Studio.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассчитанные значения GSL по данным метеостанций приведены в табл. 1. Для каждой метеостанции выполнялась проверка ряда по критерию Манна – Кендалла на наличие монотонного тренда. На шести метеостанциях средняя GSL за весь период была выше 120 дней: Сунтар, Усть-Мая, Якутск, Олекминск, Исить и Витим. А наименьшая GSL наблюдается на метеостанции Чокурдах.

Сравнительный анализ (табл. 1) данных за 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. свидетельствует об устойчивой тенденции к увеличению продолжительности вегетационного периода (GSL) на всех исследуемых станциях, что подтверждает значительный отклик региональной климатической системы на глобальное потепление. В среднем рост показателя составил 6–9 дней, при этом наиболее выраженная динамика зафиксирована в центральных районах (Якутск, Исить, Олекминск), где современная продолжительность вегетации превысила 130 дней, тог-

да как на арктических станциях (Чокурдах) она остается минимальной, достигая лишь 68 дней. Параллельно с удлинением сезона на большинстве пунктов (за исключением Оймякона) наблюдается рост межгодовой изменчивости, что указывает на общую дестабилизацию климатического режима и повышение частоты экстремальных погодных явлений, создающих дополнительные риски для сельского хозяйства, несмотря на расширение тепловых ресурсов территории.

Помимо сравнительного анализа, интерес представляют параметры тренда. Есть ли монотонный тренд или нет? В если есть тренд, то его величина изменения. Для оценки направленности и значимости изменений GSL в работе использован непараметрический критерий Манна – Кендалла, а для расчета скорости изменений – оценка наклона Тейла – Сена (табл. 2). Выбор данных методов обусловлен их устойчивостью к выбросам (экстремальным значениям), отсутствием жестких требований к нормальности распределения временных рядов и высокой эффективностью при анализе «шумных» климатических данных. В отличие от метода наименьших квадратов, робастные оценки Тейла – Сена позволяют получить более надежную величину тренда в условиях высокой межгодовой волатильности вегетационного периода.

Таблица 1

Средняя длительность вегетационного периода

Индекс	Название	1951–2025		1961–1990		1991–2020	
		GSL	σ	GSL	σ	GSL	σ
21946	Чокурдах	66	18,3	62	19,8	68	18,3
24125	Оленек	93	15,9	88	16,4	97	16,2
24266	Верхоянск	104	12,4	102	13	105	12,6
24343	Жиганск	105	12,7	100	11,5	108	14,4
24641	Виллюйск	119	11,1	114	10,1	123	11,7
24688	Оймякон	103	9,6	100	9,7	106	7,9
24738	Сунтар	121	10,2	118	8,7	124	10,9
24944	Олекминск	125	9,9	122	9,2	129	9,9
24951	Исить	123	10	120	8,8	129	9,9
24959	Якутск	127	10,6	124	8,6	132	11,4
24966	Усть-Мая	127	10,1	126	10	132	9,6
30054	Витим	124	10,5	120	9	128	11
30372	Чара	118	11,6	116	12,2	122	11,1
30393	Чульман	113	12,4	112	12,7	116	13,8
31004	Алдан	114	10,3	112	9,5	116	11,4

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Параметры тренда по данным метеостанций

Индекс	Название	p-value	τ -Кендалл	Тренд	Величина тренда, дней/год
21946	Чокурдах	0,02821	0,175488	возрастающий	0,21
24125	Оленек	0,00178	0,250811	возрастающий	0,24
24266	Верхоянск	0,19959	0,104177	нет тренда	–
24343	Жиганск	0,05533	0,155099	нет тренда	–
24641	Виллойск	0,00017	0,302091	возрастающий	0,23
24688	Оймякон	0,00270	0,241482	возрастающий	0,16
24738	Сунтар	0,00372	0,233373	возрастающий	0,17
24944	Олекминск	0,00002	0,34491	возрастающий	0,22
24951	Исить	0,00008	0,315991	возрастающий	0,21
24959	Якутск	0,00102	0,264744	возрастающий	0,18
24966	Усть-Мая	0,00247	0,243549	возрастающий	0,18
30054	Витим	0,00437	0,229551	возрастающий	0,16
30372	Чара	0,00040	0,285481	возрастающий	0,20
30393	Чульман	0,02045	0,186793	возрастающий	0,14
31004	Алдан	0,03624	0,169075	возрастающий	0,12

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Проверка рядов GSL по критерию Манна – Кендалла выявила наличие статистически значимого тренда у 13 метеостанций (табл. 2). А у станций Верхоянск и Жиганск расчетное p -value $> 0,05$ что говорит об отсутствии тренда.

Дополнительно расчет GSL был проведен и для тех метеостанций, что имели незначительные единичные пропуски в рядах наблюдений суточных температур (рис. 1). Это позволило показать динамику GSL между климатическими периодами. Анализ динамики индекса GSL на территории Якутии свидетельствует о повсеместном удлинении вегетационного периода, составившем в среднем 6–10 дней при сравнении климатических периодов 1961–1990 и 1991–2020 гг. Наиболее выраженная положительная динамика зафиксирована на арктических станциях, таких как Саскылах и Бухта Амбарчик (прирост до 15–16 дней), что подтверждает эффект арктического усиления потепления, в то время как в центральных и южных районах (Якутск, Витим, Олекминск) наблюдается более умеренное увеличение продолжительности сезона в пределах восьми дней. Региональная дифференциация показателей позволяет выделить три зоны: арктическую с минимальным и крайне нестабильным GSL (43–77 дней), центральную

континентальную (100–115 дней) и южную с максимальными значениями индекса, достигающими на станции Учур 136 дней.

На 9 метеостанциях наблюдается увеличение GSL больше 10 дней (рис. 1). На 23 станциях величина изменения была от 5 до 10 дней. И у 10 метеостанций увеличение GSL было менее 5 дней. Несмотря на общий тренд к потеплению, на большинстве станций, отмечается рост межгодовой изменчивости σ , указывающий на усиление нестабильности термического режима, при этом редкие локальные аномалии, такие как сокращение GSL на станции Хатырык-Хомо, подчеркивают значительную пространственную неоднородность климатических процессов в регионе.

Такое дифференцированное увеличение теплообеспеченности создает условия для экспансии лесной растительности в более высокие широты и трансформации биогеографических границ. Сопоставление полученных данных с ландшафтной картой региона подтверждает, что наиболее интенсивная трансформация климатического сигнала происходит в континентальных районах Центральной Якутии, где увеличение GSL выступает драйвером изменения геохимических циклов в мерзлотных таежных ландшафтах.

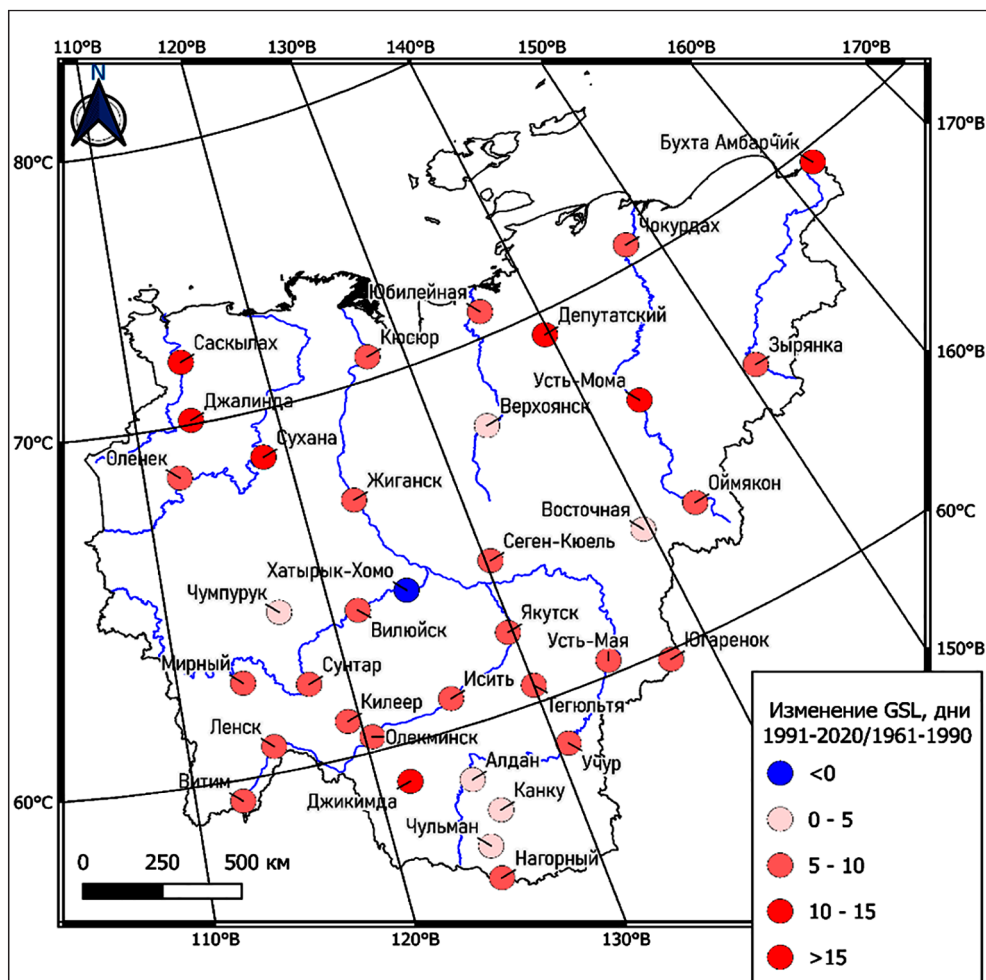


Рис. 1. Пространственное распределение изменений продолжительности вегетационного периода (GSL) на территории Якутии при сопоставлении климатических периодов 1991–2020 гг. и 1961–1990 гг.

На картосхеме точечными маркерами показано расположение метеорологических станций, цвет которых соответствует величине отклонения GSL в днях: синим цветом обозначены локальные зоны сокращения периода (ст. Хатырык-Хомо), оттенками красного – различная интенсивность удлинения вегетационного сезона (от 0 до более чем 15 дней). Гидрографическая сеть и градусная сетка (с шагом 10°) приведены для визуализации ландшафтной и широтно-долготной привязки объектов; в нижней левой части рисунка представлен линейный масштаб в километрах

Визуальный анализ (рис. 2) представленных временных рядов за 1951–2025 гг. подтверждает статистические выводы о преобладании положительных трендов GSL в регионе и выявляет отчетливую пространственную синхронность потепления, выраженную в одновременном подъеме значений индекса с конца 1980-х – начала 1990-х гг., что наиболее заметно в южной и центральной группах станций (Олекминск, Иситель, Якутск, Витим). При этом графики отражают существенные различия в межгодовой изменчивости между ландшафтными зонами: для арктических территорий (Чокурдах, Оле-

нек) характерна высокая амплитуда колебаний до 30–40 дней, свидетельствующая о нестабильности термического режима лесотундровых систем, тогда как в районах «полюса холода» (Оймякон, Верхоянск) ряды отличаются большей сбалансированностью при устойчивом росте показателей. Наблюдаемые на графиках пики указывают на частое возникновение аномально длинных вегетационных периодов, выходящих за пределы исторической нормы, в то время как единичные выбросы на станциях со сложным рельефом (Чара, Чульман), вероятно, обусловлены влиянием локальных мезомасштабных атмосферных процессов.

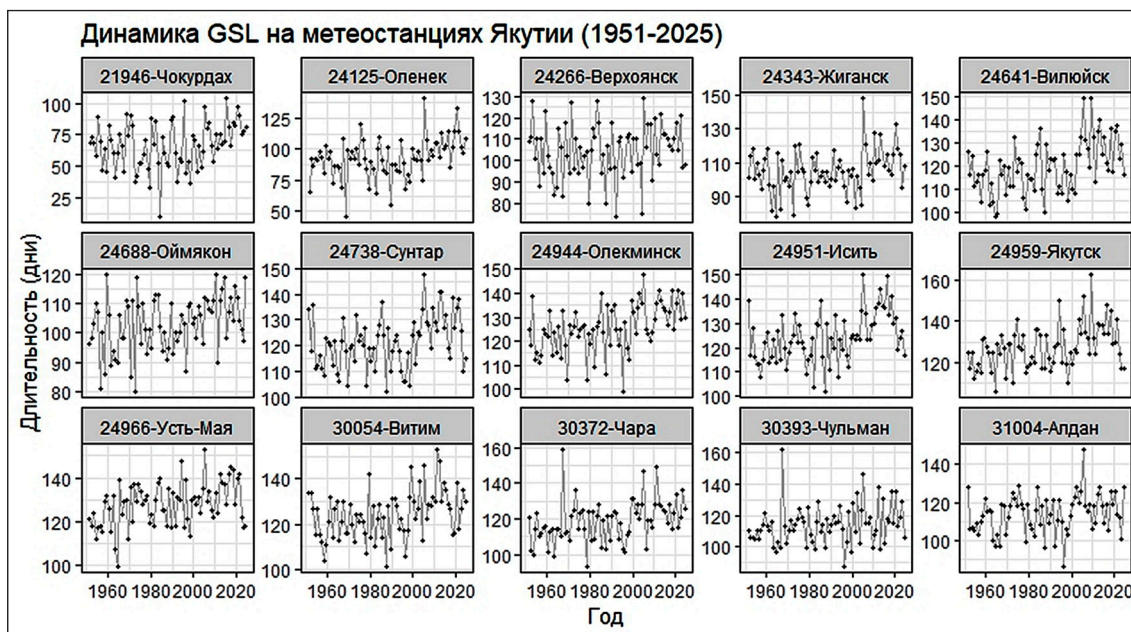


Рис. 2. Многолетняя динамика продолжительности вегетационного периода (GSL) на опорных метеостанциях Якутии за 1951–2025 гг.

Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Таблица 3

Статистические метрики оценки моделей

Модель	r(Пирсон)	rmse	ССС
MIROC-ESM-CHEM	0,66	17,6	0,64
IPSL-CM5A-LR	0,65	18,6	0,62
NorESM1-M	0,68	18,3	0,66
HadGEM2-ES	0,66	18,1	0,62
GFDL-ESM2M	0,70	16,1	0,67

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Выявленная пространственно-временная неоднородность динамики GSL определяет масштабную трансформацию структуры физико-географических поясов и ландшафтных зон на территории Якутии. Увеличение продолжительности теплого сезона выступает катализатором ландшафтообразующих процессов в криолитозоне: оно напрямую влияет на глубину сезонного протаивания деятельного слоя вечной мерзлоты, активизацию криогенных процессов и изменение водного баланса территорий. При планировании адаптационных мероприятий необходимо учитывать динамику биоклиматических показателей, в частности рост продолжительности вегетации, обусловленный изменением ключевых климатических переменных [14]. Сопряженный анализ широтных трендов GSL указывает на потенциальное смещение

границ ландшафтных выделов и трансформацию биогеографических условий – от лесотундровых сообществ на севере до средне-таежных ландшафтов центральных районов. Таким образом, индекс GSL в условиях Северо-Востока России является интегральным индикатором динамического состояния геосистем, определяющим их отклик на глобальные климатические изменения.

У исследуемых климатических моделей, исторический период включается в себя 1951–2010 гг. А начиная с 2011 г. начинаются прогнозные значения по различным сценариям RCP, вплоть до 2099 г. Для верификации данные за исторический период сравнивались с данными 15 метеостанций. Посчитан коэффициент корреляции Пирсона, среднеквадратичной ошибки RMSE и коэффициент конкордации Лина.



Рис. 3. Статистически значимые коэффициенты корреляции Пирсона ($p < 0,05$) между модельными значениями и данными натурных наблюдений индекса GSL
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

На графике представлены только пары «станция–модель», продемонстрировавшие математически достоверную связь; пустые области соответствуют статистически незначимым результатам. Интенсивность и цвет заливки ячеек отражают величину и направленность корреляции: синяя цветовая гамма соответствует положительной связи, оранжевая – отрицательной. По оси абсцисс указаны наименования климатических моделей, по оси ординат – индексы метеорологических станций; числовые значения внутри ячеек обозначают величину коэффициента корреляции

Статистическая верификация (табл. 3) пяти моделей СМIP6 выявила умеренную степень согласованности модельных данных с результатами натурных наблюдений. Наилучшую предсказательную способность продемонстрировала модель GFDL-ESM2M характеризующаяся минимальными значениями среднеквадратической ошибки и наиболее высокими коэффициентами конкордации Лина. Например, в работе [15] отмечено, что при верификации климатических реанализов, наиболее значимой метрикой является коэффициент конкордации (согласованности) Лина. Примечательно, что близость значений коэффициентов Пирсона и Лина для всех моделей указывает на отсутствие выраженных систематических смещений в расчетах, что подтверждает применимость данных моделей для описания региональной динамики вегетационного периода, несмотря на сохраняющуюся высокую межгодовую волатильность.

подавляющее большинство ячеек на графике (рис. 3) остались пустыми, что подтверждает гипотезу о неспособности моделей адекватно воспроизводить межгодовую изменчивость вегетационного периода в конкретных географических точках Якутии. Общие удовлетворительные показатели

корреляции по региону, полученные ранее, нивелируются при переходе к мезомасштабному анализу. Модель NorESM1-M показала наибольшее количество значимых связей (Вилюйск 24641, Сунтар 24738, Исеть 24951, Якутск 24959). Примечательно, что корреляция на станции Вилюйск достигает максимума, что выделяет NorESM1-M как наиболее перспективную для локальной адаптации в данных ландшафтных условий.

Проведенная статистическая оценка показала, что высокая степень корреляции между модельными и натурными данными достигается лишь при интегральном расчете по всей совокупности станций региона, что объясняется способностью моделей адекватно воспроизводить общий широтный градиент и пространственную неоднородность климатических условий Якутии. Однако детальный анализ в локальном масштабе выявил, что для каждой метеостанции в отдельности коэффициенты корреляции остаются крайне низкими или статистически незначимыми. Это указывает на неспособность современных глобальных моделей воспроизводить специфическую межгодовую изменчивость дат начала и окончания вегетации в конкретных географических точках, что обусловлено

грубым пространственным разрешением и недостаточным учетом мезомасштабных ландшафтных особенностей.

Заключение

По данным метеостанций наблюдается удлинение GSL между климатическими периодами, и только метеостанция Хатырык-Хомо показала незначительное уменьшение. Это показывает пространственную неоднородность изменения. По критерию Манна – Кендалла у 13 из 15 станций выявлено наличие положительного тренда. В арктической зоне (станции Чокурдах, Саскылах), в пределах типичных тундр и лесотундр, наблюдается наиболее высокая межгодовая вариативность GSL, что свидетельствует о нестабильности энергетического баланса на северном пределе распространения древесной растительности. В то же время в зоне средней и южной тайги (станции Олекминск, Исеть, Якутск) зафиксированы наиболее устойчивые и статистически значимые темпы удлинения вегетации.

Отсутствие значимых связей на большинстве станций при наличии общего положительного тренда GSL подчеркивает, что климатические модели улавливают глобальное потепление как фон, но полностью игнорируют региональные факторы, определяющие конкретные даты начала и окончания вегетации в Якутии.

Список литературы

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
2. Шкляев В. А. Долговременные изменения характеристик вегетационных периодов в Предуралье в связи с изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2023. № 10. С. 47–56. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-10-47-56.
3. Максимова Н. Б. Динамика сроков наступления вегетационного периода по природно-почвенным зонам Алтайского края за 1955–2020 годы // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023. № 4 (220). С. 110–117. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-4-110-117.
4. Стребкова А. С., Карманова М. В., Ненашева Г. И. Характеристика фаз весенне-летнего сезона года на примере территории Алтайского края // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2025. № 4. С. 103–111. DOI: 10.18522/1026-2237-2025-4-103-111.

денций. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2025. № 4. С. 103–111. DOI: 10.18522/1026-2237-2025-4-103-111.

5. Сабарайкина С. М. Анализ температурной обеспеченности вегетационного сезона и динамики фенологического развития *ribes glabellum* в условиях Центральной Якутии // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–3. С. 222–224.
6. Горохов А. Н., Федоров А. Н. Современные тенденции климатических изменений в Якутии // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119)
7. Tananaev N. I. Regional ensemble of CMIP6 global climate models for Sakha (Yakutia) Republic, Northern Eurasia // Polar Science. 2024. P. 101066. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101066.
8. Захаров М. И., Тананаев Н. И. Оценка будущих изменений климатических зон Кёппена-Гейгера в Якутии с использованием регионально-адаптированного ансамбля климатических моделей CMIP6 // ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ, 2025. Т. 31. Ч. 1. С. 431–444. DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-431-444.
9. Носкова Е. В., Вахнина И. Л., Рахманова Н. В. Суммы активных температур воздуха (выше 10°C) на территории Забайкальского края // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 148–153. DOI: 10.17513/use.37254.
10. Мезенцева О. В., Кусаинова А. А., Тусупбеков Ж. А. Районирование территории степной зоны северного Казахстана и сопредельной территории России по условиям тепло- и влагообеспеченности // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 50–55. DOI: 10.17513/use.38248
11. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Особенности пространственно-временной динамики растительного покрова Сибири в условиях арктического усиления потепления климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22 № 5. С. 234–252. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-234-249.
12. Нобахт М., Бивис П., О'Хара С., Хатджес Р., Супит И. Агроклиматические показатели с 1951 по 2099 год, полученные на основе климатических прогнозов. Хранилище климатических данных (CDS) Службы изменения климата Copernicus (C3S). [Электронный ресурс]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agroclimatic-indicators?tab=download> (дата обращения: 20.01.2026). DOI: 10.24381/cds.dad6e055.
13. Автоматизированная информационная система обработки режимной информации. [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml> (дата обращения: 10.03.2026).
14. Тананаев Н. И. Климатические аспекты планирования региональных мероприятий по адаптации к изменениям климата // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2025. № 1 (37). С. 85–97. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-85-97.
15. Тананаев Н. И. Подбор оптимальной модели климатического реанализа по среднегодовой температуре воздуха для территории Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2023. № 2. С. 88–101. DOI: 10.25587/SVFU.2023.30.2.008.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ВЛИЯНИЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ПЕРЕНОСОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ 2023–2025 ГОДОВ В ПОСЕЛКЕ СМЫЧКА

Харченко С. А., Ганзей К. С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук», Владивосток, Российская Федерация,
e-mail6 geo2005.84@mail.ru*

В данной работе исследовано состояние атмосферного воздуха п. Смычка Приморского края и его близлежащих территорий с дальнейшим построением траекторий обратного движения воздушных масс с использованием статистических данных со станции экологического мониторинга окружающей среды, а также построение макетов распространения вредных инородных веществ от источника загрязнения. Основное внимание уделено эпизодам значительного ухудшения экологической обстановки, совпадающим с периодами интенсивных выносов воздушных масс из промышленных регионов Северо-Восточного Китая и других стран Северо-Восточной Азии. На основе данных непрерывного мониторинга станции экологического мониторинга окружающей среды в п. Смычка и результатов моделирования обратных траекторий движения воздушных масс (HYSPLIT) проведен ретроспективный анализ динамики концентраций взвешенных частиц (PM 2.5 и PM 10). Установлены статистически значимые корреляции между пиковыми значениями концентраций в поселке и локализацией крупных источников антропогенных эмиссий в соседних государствах. Особое внимание при анализе уделено сезонным закономерностям, связанным с отопительным сезоном и преобладающими западными и северо-западными ветрами. Результаты исследования наглядно демонстрируют, что трансграничный фактор является значимым, а в отдельные кризисные периоды – определяющим источником загрязнения атмосферы Приморского края. Работа подтверждает необходимость развития международного сотрудничества в области мониторинга и регулирования выбросов, а также важность учета трансграничного переноса при разработке региональных программ по охране окружающей среды и оценке экологических рисков для здоровья населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух, трансграничный перенос, воздушные массы, поллютанты

THE IMPACT OF TRANSBOUNDARY TRANSFERS ON ATMOSPHERIC POLLUTION IN PRIMORSKY KRAI ON THE EXAMPLE OF 2023–2025 IN THE VILLAGE OF SMYCHKA

Kharchenko S. A., Ganzey K. S.

*Federal State Budgetary Institution of Sciences “Pacific Institute of Geography
of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences”,
Vladivostok, Russian Federation, e-mail6 geo2005.84@mail.ru*

This paper studies the state of the atmospheric air of the village of Smychka, Primorsky Krai and its nearby territories, with further construction of trajectories of the reverse movement of air masses using statistical data from the environmental monitoring station, as well as the construction of models of the spread of harmful foreign substances from the source of pollution. The focus is on episodes of significant deterioration of the environmental situation, coinciding with periods of intensive air masses from the industrial regions of Northeast China and other countries of Northeast Asia. Based on continuous monitoring data from the environmental monitoring station in Smychka and the results of reverse air masses trajectory modelling (HYSPLIT), a retrospective analysis of the dynamics of suspended particle concentrations (PM 2.5 and PM 10) was carried out. Statistically significant correlations were found between peak concentrations in the village and the localization of large sources of anthropogenic emissions abroad. Particular attention was paid to seasonal patterns associated with the heating season and prevailing west and northwest winds. The study results clearly demonstrate that the transboundary factor is a significant, and in some crisis periods the determining source of atmospheric pollution of Primorsky Krai. The work confirms the need for developing international cooperation in the field of monitoring and regulation of emissions, as well as the importance of considering transboundary transfer in the development of regional programs for air protection and assessment of environmental risks to public health.

Keywords: atmospheric air, transboundary transport, air masses, pollutants

Введение

Качество атмосферного воздуха напрямую зависит от воздушных масс, переносимых из различных регионов одной страны, между государствами или континентами.

В Приморском крае трансграничные переносы воздушных масс являются одним из важнейших факторов качественного состояния атмосферного воздуха и окружающей среды в целом. Основное влияние

на воздух Приморского края имеют граничащие с ним страны, такие как Китай, КНДР и Япония с Южной Кореей – по морским границам, а также внутрисоюзные регионы – Хабаровский край, Камчатский край и др. [1, с. 15–18].

Трансграничные атмосферные переносы важны для состояния окружающей среды дальневосточного региона Российской Федерации в целом, но наибольшую роль в этих переносах играет Китай, непосредственно граничащий с Приморским, Хабаровским и Забайкальским краями и Амурской областью и Еврейской автономной областью. Так как объемы выбросов промышленного производства некоторых северо-восточных провинций Китая количественно превосходят показатели выбросов Дальнего Востока России, необходим тщательный контроль за ситуацией, чтобы не допустить резких превышений показателей. Опасность могут представлять такие загрязняющие частицы, как PM 1, PM 2.5 и PM 10 [1, с. 60–62]¹.

Цель исследования – анализ состояния атмосферного воздуха п. Смычка Приморского края и его близлежащих территорий с дальнейшим построением траекторий обратного движения воздушных масс с использованием статистических данных со станции экологического мониторинга окружающей среды, а также построение макетов распространения вредных инородных веществ от источника загрязнения.

Материалы и методы исследования

Исследуемые частицы РМ – это мелкодисперсные аэрозоли размером от 1 до 10 мкм, каждая размерность которого имеет свои критерии и свойства. Эти частицы фиксируются на станции экологического мониторинга (СЭМ) окружающей среды, расположенной в п. Смычка Приморского края. Данные с СЭМ направляются в Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТИГ ДВО РАН). Показатели считываются с местности с помощью рассеянного сканирования, принцип действия которого схож с Лидаром. Лидар (LiDAR – Light Detection and Ranging)² – это метод дистанционного

зондирования местности, которая использует лазерное сканирование. Помимо частиц РМ, СЭМ измеряет следующие показатели: давление воздуха, содержание диоксида азота, диоксида серы, оксида азота, оксида углерода, сероводорода, температуры воздуха, усредненной скорости ветра и влажности воздуха. Данные концентраций измеряются с периодичностью каждые 2 ч в сутки, погрешность показателей составляет около 10 %.

В Приморском крае атмосферная циркуляция зависит от муссонов, формирующих летний и зимний режимы погоды. Область пониженного давления в Охотском море и Азиатский антициклон оказывают значительное влияние на климатические условия в данном регионе. Повышенная ветровая активность – основное явление Приморского края [2–4]. Станция расположена на равнинном рельефе, рядом протекает р. Рудная, а территория представлена малоэтажными жилыми домами, дачными строениями и другими сооружениями. Преобладающим земным покровом являются бурые лесные почвы, встречаются также черноземы, серые лесные почвы и аллювиальные – в поймах рек. Основным представителем растительного мира являются хвойно-широколиственные леса, состоящие в большей степени из кедра корейского (*Pinus koraiensis*), ели аянской (*Picea jezoensis*) и ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica*) [5–7].

В рамках исследования территории были выбраны показатели РМ 2.5 и РМ 10 для анализа их содержания и влияния на окружающую среду. Согласно ГН 2.1.6.3492–17 [8] среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) выбранных показателей в мг/м³ составляет: РМ 2.5 – 0,035, РМ 10 – 0,06. Основным способом выявления источников загрязнения данной территории являлось построение траекторий обратного переноса воздушных масс, используя сервис HYSPLIT³ Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA)⁴. Метод построения траекторий по данным этого сервиса более точно предсказывает дальнейшее движение поллютантов по выбранной траектории, учитывая высоту, на которой находятся анализируемые воздушные массы. Для п. Смычка данные показателей со станции экологиче-

¹ Выбросы CO₂ в Китае // Мир данных [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/co2/country/china#what-are-the-country-s-annual-co2-emissions> (дата обращения: 27.02.2026).

² Лидары (LiDAR, Light Detection and Ranging) // TADVISER. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Лидары_\(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging\)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B_.D0.BB.D0.B8.D0.B4.D0.B0.D1.80.D0.B0](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Лидары_(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B_.D0.BB.D0.B8.D0.B4.D0.B0.D1.80.D0.B0) (дата обращения: 13.02.2026).

³ Air Resources Laboratory – HYSPLIT – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 07.03.2026).

⁴ National Oceanic and Atmospheric Administration. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.noaa.gov/> (дата обращения: 07.03.2026).

ского мониторинга были собраны и интерпретированы в траектории впервые, что является основой для проведения подробного регионального анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе данных за 2023–2025 гг., полученных с СЭМ, был проведен анализ показателей среднего содержания исследуемых загрязнителей. В табл. 1 представлены усредненные данные частиц РМ за каждый месяц года.

Показателей, превышающих ПДК за исследуемые периоды, не наблюдалось, однако некоторые месяцы отличаются повышенными показателями по сравнению с остальными средними значениями. За 3 года зафиксированы показатели с сентября по декабрь, которые указывают на тенденцию снижения содержания частиц РМ в атмосферном воздухе. Ключевыми факторами могут являться как природные, так и антропогенные аспекты, поэтому для более точного определения источников загрязнения были построены траектории обратного переноса воздушных масс, а также траектории осаждения загрязнителей при возможных выбросах с конкретного предприятия или природного объекта.

Построение траекторий обратных переносов и анализ изменений содержания частиц РМ 2.5 и РМ 10 стали ключевыми

данными для определения причин их флуктуации на региональном и трансграничном уровнях. Были выбраны наиболее показательные месяцы, отличавшиеся по значениям концентраций: июль и ноябрь.

На рис. 1–3 изображены траектории обратного переноса воздушных масс, на которых наблюдается последовательное перемещение потоков воздушных масс с загрязнителями с абсолютно различных мест их дислокации: переносы из КНР, Монголии, а также с территории п-ва Камчатка и о. Сахалин.

В большинстве случаев переносы из Китая связаны с лесными пожарами, пыльными бурями из пустыни Гоби и выбросами с промышленных территорий [9], из КНДР – с развитым промышленным хозяйством страны, таким как химические и металлургические предприятия и ТЭС [10], так же как и в Южной Корее (большая часть выбросов идет из портовых городов), из Индонезии и Филиппин – с высокой вулканической активностью, а также массовыми выжиганиями лесных массивов в результате засух и сельскохозяйственных нужд, таких как расчистка территорий для различных культурных плантаций [11, с. 318–320], с территории п-ва Камчатка и о. Сахалин – большое влияние оказывают вулканические активности и лесные пожары, также котельные, но они имеют в основном локальный фактор распространения [12, с. 10–18].

Таблица 1

Усредненные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 2023–2025 гг. (в мг/м³)

Месяц	Частицы РМ 2.5			Частицы РМ 10		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Январь	–	0,0056	–	–	0,0032	–
Февраль	–	0,0051	–	–	0,0027	–
Март	–	0,0045	–	–	0,0022	–
Апрель	–	0,0067	–	–	0,0042	–
Май	–	0,0055	0,0047	–	0,0032	0,0073
Июнь	–	0,0046	0,0045	–	0,0024	0,0070
Июль	–	0,0112	0,0034	–	0,0082	0,0059
Август	–	0,0044	0,0021	–	0,0022	0,0043
Сентябрь	0,0073	0,0037	0,0016	0,0100	0,0015	0,0038
Октябрь	0,0060	0,0054	0,0022	0,0090	0,0030	0,0045
Ноябрь	0,0040	0,0073	0,0031	0,0060	0,0046	0,0058
Декабрь	0,0023	0,0044	0,0027	0,0050	0,0021	0,0032
ПДК частиц	0,035			0,06		

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «–» – данные отсутствуют.



Рис. 1. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 168 ч до 9 сентября 2023 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

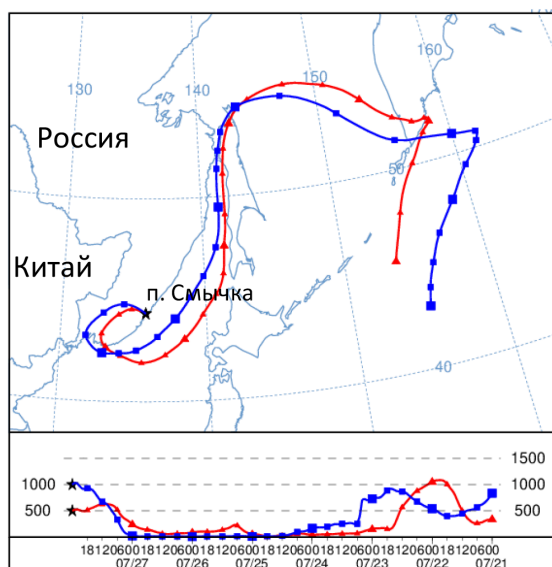


Рис. 2. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 168 ч до 28 июля 2024 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Июль характеризуется засухливостью и, как следствие, пиком пожарной активности. Так как в регионе начинается преобладание азиатских муссонных систем, то путем интенсивных конвекций воздушные массы, содержащие поллютанты, исследуемые в данной работе, поднимаются в среднюю

и в верхнюю тропосферы, распространяясь на обширные территории [4; 13].

Из-за смены атмосферной циркуляции в ноябре активизируется интенсивный западный перенос (рис. 3). В своих воздушных массах он может принести с западной части России загрязнители с металлургических и химических комбинатов Урала, с крупнейших ТЭЦ и алюминиевых заводов на юге Сибири. С территориями Монголии и Китая в Приморский край воздушными массами переносятся пыльные и песчаные бури из пустыни Гоби. Различные локальные выбросы местных ТЭЦ оказывают непосредственное влияние, так как начинается отопительный сезон [9].



Рис. 3. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 120 ч до 30 ноября 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Сильное влияние на состояние атмосферного воздуха Приморского края имеет трансграничный перенос воздушных масс с территории Китая, а конкретно – с территории провинции Хэйлуцзянь [14], так как она является основной северо-восточной промышленной и сельскохозяйственной зоной Китая, где проводятся посев риса, различные пахотные работы, а также массовое сжигание топлива для выработки электричества и тепла [15; 16].

Для исследования вероятности осаждения поллютантов, пришедших вместе с воздушными массами с территории Китая, были построены траектории, предсказывающие ближайшее осаждение загрязняющих веществ на примере провинции Хэйлуцзянь, Китай.

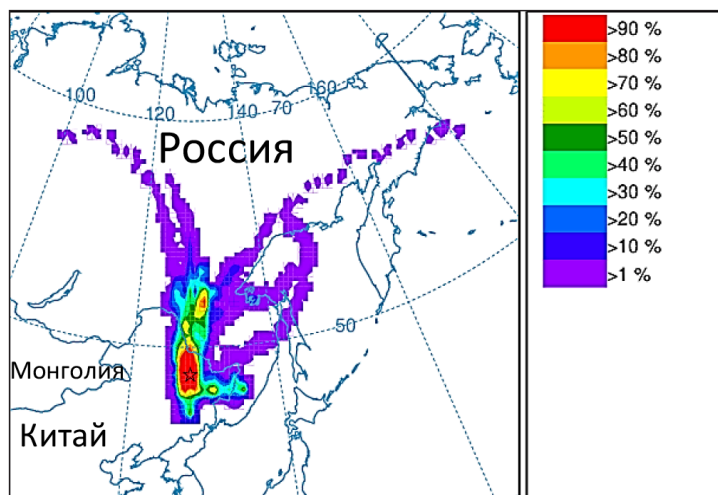


Рис. 4. Траектории осадения загрязняющих веществ из провинции Хэйлуцзян 15 августа 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

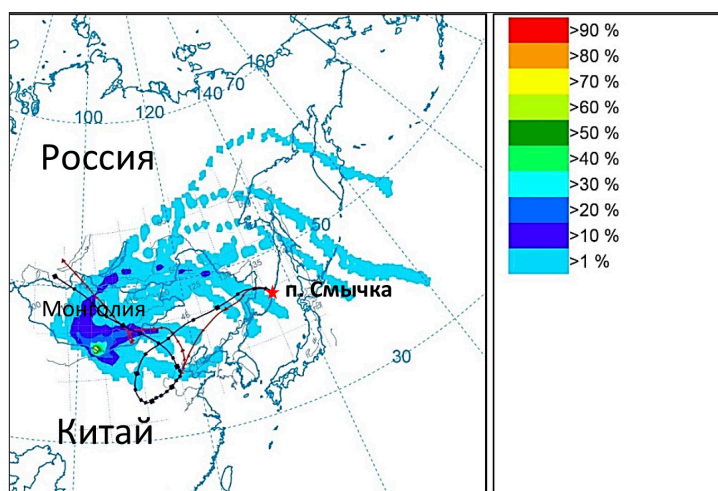


Рис. 5. Траектории обратного переноса воздушных масс и зоны осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 9 сентября 2023 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

На рис. 4 изображена траектория осадения поллютантов 15 августа 2025 г., сервис HYSPLIT построил вероятные пути от источника к конечным точкам. Приморский край входит в зону от 70 до 1 % количественного осадения поллютантов.

Таким образом, можно построить траектории осадения загрязняющих веществ в самых интенсивно активных районах, влияющих на содержание частиц PM 2.5 и PM 10 в атмосферном воздухе.

Траектории обратного переноса воздушных масс, построенные 9 сентября 2023 г., наглядно демонстрируют вероятные перемещения загрязнителей в воздушном потоке. В зону их осадения входит и п. Смычка (рис. 5).

Таблица 2 показывает, что средние показатели не были превышены, но наблюдается активное увеличение числа поллютантов к 9 сентября. Это может быть связано с небольшими пыльными переносами из пустыни Гоби и Монголии, а также с различными выбросами с предприятий на севере Китая [9; 17].

Аналогичная ситуация наблюдается 15 апреля 2024 г. Траектории обратного переноса воздушных масс были построены с целью выявления источника превышения средних показателей. Потоки воздуха проходили через Монголию и Китай, на территориях которых находится пустыня Гоби (рис. 6). Количественный состав частиц мог увеличиться в результате пыльных наносов (табл. 3).

Таблица 2

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 7–9 сентября 2023 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
7 сентября	0,0035	0,005
8 сентября	0,01	0,01
9 сентября	0,02	0,02
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 3

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 12–15 апреля 2024 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
12 апреля	0,004	0,007
13 апреля	0,005	0,01
14 апреля	0,01	0,011
15 апреля	0,007	0,01
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

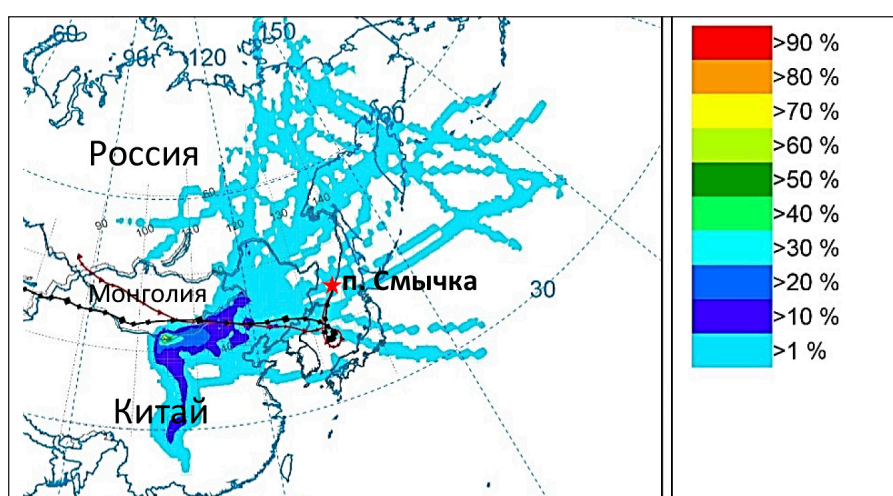


Рис. 6. Траектории обратного переноса воздушных масс и осаднения загрязняющих веществ за 168 ч с 15 апреля 2024 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

В 2025 г. вулкан Шивелуч, расположенный на п-ве Камчатка, выбрасывал столбы пепла множество раз⁵.

26 ноября 2025 г. сообщалось, что на вулкане Шивелуч произошел мощный выброс пепла. Столб пепла поднялся на высоту до 5,5 км над уровнем моря⁶. Построив траектории прямого переноса воздушных масс и осаднения поллютантов (рис. 7), можно отследить вероятность перемещения воздушных масс, содержащих выбросы вулкана, в зону исследования и фиксирование превышений средних показателей. На 1 декабря 2025 г. траектория достигает террито-

⁵ Бритенков А. «Роскосмос» показал со спутника извержение вулкана Шивелуч на Камчатке // Hi-tech mail. [Электронный ресурс]. URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/127280-roskosmos-pokazal-so-sputnika-izverzhenie-vulkana-shiveluch-na-kamchatke/> (дата обращения: 22.02.2026).

⁶ Вулкан Шивелуч на Камчатке выбросил пепел на высоту 5,5 км // РИА Новости. [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20251126/vulkan-2057576166.html> (дата обращения: 22.02.2026).

рии Приморского края, в табл. 4 можно проследить тенденцию повышения и снижения количества частиц.

Влияние на содержание частиц в воздухе в п. Смычка могло оказать вулканическое извержение 1 февраля 2026 г., когда Шивелуч выбросил столб пепла высотой до 6 км, получив «красный» код авиационной опасности⁷. В близлежащем поселении проживает около 5 тыс. чел., которым мог быть нанесен вред не только пепельным выбросом, но и различными токсичными газами [18]. Перенос на графике демонстрирует перемещение воздушных масс в течение 7 дней (рис. 8), на 5 из которых поллютанты могли осесть в Приморском крае (табл. 5).

⁷ Вулкан Шивелуч на Камчатке выбросил пепел на высоту 6 км над уровнем моря // Известия. [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/2034992/2026-02-01/vulkan-shiveluch-na-kamchatke-vybrosil-pepel-na-vysotu-6-km-nad-urovнем-moria> (дата обращения: 22.02.2026).

Таблица 4
Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере с 29 ноября по 3 декабря 2025 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
29 ноября	0,003	0,005
30 ноября	0,004	0,01
1 декабря	0,003	0,01
2 декабря	0,01	0,01
3 декабря	0,01	0,01
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «-» – данные отсутствуют.

Данные в таблице 5 получены путем сканирования на СЭМ, находящейся в п. Смычка.

Таблица 5

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере 4–7 февраля 2026 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
5 февраля	0,0025	0,0044
6 февраля	0,002	0,004
7 февраля	0,002	0,004
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «-» – данные отсутствуют.

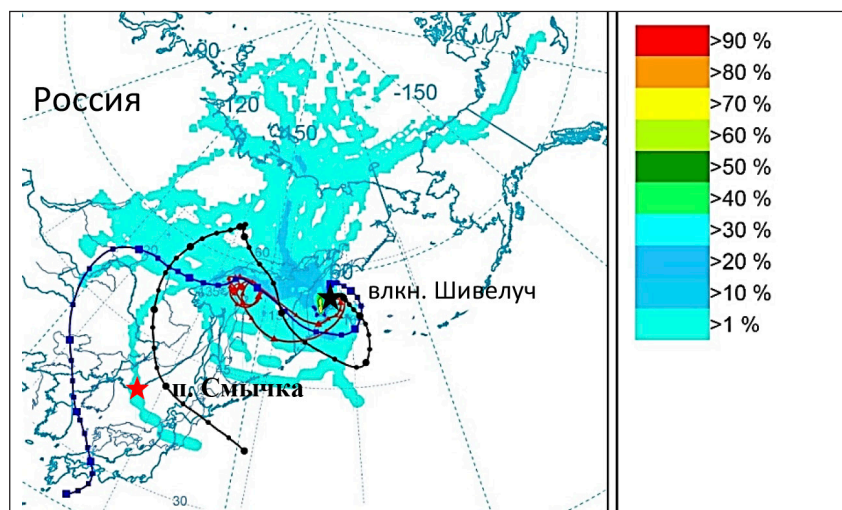


Рис. 7. Траектории прямого переноса воздушных масс и осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 26 ноября 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

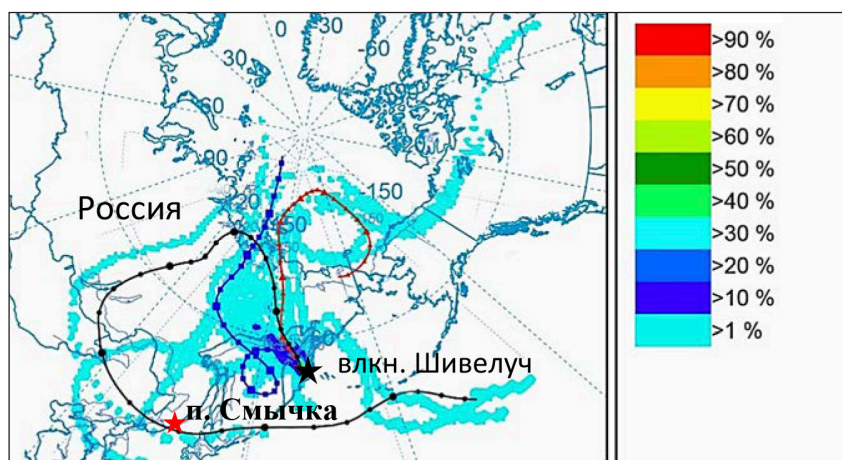


Рис. 8. Траектории прямого переноса воздушных масс и осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 1 февраля 2026 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Выводы

На основе анализа данных со станции экологического мониторинга окружающей среды и построенных траекторий обратного переноса воздушных масс и осаждения загрязнителей, можно сделать несколько выводов:

1. Трансграничный перенос воздушных масс оказывает значительное влияние на содержание частиц PM 2.5 и PM 10 в атмосферном воздухе.

2. Локальные источники загрязнения имеют меньшее значение в дальнем переносе, но оказывают значительное влияние на фоновое содержание в пределах района исследования.

3. Есть четкая закономерность и зависимость воздушных переносов от времени года – пики загрязнения приходятся на месяцы интенсивной сельскохозяйственной деятельности и месяцы отопительного сезона, но существуют и исключения, связанные с непредвиденными природными факторами.

4. Трансграничный перенос оказывает влияние «импульсно», то есть переносимые воздушные массы с инородными веществами воздействуют на район кратковременно, что может негативно повлиять на здоровье населения.

5. Осаждение загрязняющих веществ от источника загрязнения распределяется неравномерно, но с большей долей вероятности поллютанты осадут в районе самого источника загрязнения, а также на близлежащих территориях.

Трансграничное перемещение воздушных масс с загрязнителями – повсеместная проблема многих приграничных территорий, которая требует постоянного контроля и принятия мер по обеспечению безопасного атмосферного воздуха в жилых районах. Тенденция с 2023 по 2025 г. демонстрирует снижение концентрации поллютантов в фоновом содержании в п. Смычка Приморского края, но необходимы дальнейшие наблюдения и фиксирование численных данных.

Список литературы

1. Кондратьев И. И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2014. 300 с. EDN: VMQROM. ISBN 978-5-8044-1476-5.
2. Мезенцева Л. И., Гришина М. А., Кондратьев И. И. Траектории и глубина циклонов, выходящих на территорию Приморского края // Вестник ДВО РАН. 2019. № 4 (206). С. 54–62. DOI: 10.25808/08697698.2019.206.4.003.
3. Мезенцева Л. И., Федулов А. С. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке // Известия КГТУ. 2017. № 46. С. 175–183. URL: https://klgtu.ru/upload/izvestiya-kgtu/2017/izvestiya_kgtu_46.pdf (дата обращения: 27.04.2026). EDN: WPCCJY.

4. Харченко С. А., Жарков Д. М., Ганзей К. С. Влияние трансграничных переносов на загрязнение атмосферы Приморского края в 2024 году, на примере поселка Смычка // Тихоокеанская география. 2025. № 4. С. 88–98. DOI: 10.35735/26870509_2025_24_7.

5. Разжигаева Н. Г., Ганзей Л. А., Гребенникова Т. А., Мохова Л. М., Белянин П. С., Кудрявцева Е. П., Шекман Е. А., Копотева Т. А., Климин М. А. Васьюковское болото как природный архив изменений среды Сихотэ-Алинского биосферного района в позднем голоцене // Тихоокеанская география. 2025. № 3. С. 44–64. DOI: 10.35735/26870509_2025_23_4.

6. Скин Ф. В. Лихеноиндикационная оценка загрязнения приземного воздуха западной оконечности гор Пржевальского на примере ООПТ «Тигровая падь» // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 83–93. DOI: 10.35735/26870509_2026_25_6.

7. Керимов А. М., Татаренко Н. В., Татаренко З. М., Курашева О. А. Особенности поступления аэрозольных частиц в снежный покров путем вымывания и сухого осаждения в условиях высокогорья // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 121–126. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=36735> (дата обращения: 30.04.2026).

8. Российская Федерация. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22 декабря 2017 г. № 165 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»» (зарегистрировано в Минюсте РФ 09 января 2018 г. № 49557). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201801090023> (дата обращения: 30.04.2026).

9. Ганзей Л. А., Разжигаева Н. Г. Состав материала пыльных бурь на юге Дальнего Востока // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 3. С. 242–249. EDN: NQKTVZ.

10. Демина Я. В. Зоны экономического развития КНДР: перспективы функционирования в условиях санкций // Регионалистика. 2019. Т. 6. № 4. С. 64–75. DOI: 10.14530/reg.2019.4.64.

11. Michael Williams. Deforesting the Earth: From Prehistory to Global Crisis, An Abridgment. University of Chicago Press, 2010. 561 с. ISBN 0226899055.

12. Холодов А. С., Чернышев В. В., Угай С. М. Дисперсный и химический состав атмосферных выпадений в снежном покрове городов Дальнего Востока России. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2021. 292 с. ISBN 978-5-7444-5005-2.

13. Мишина Н. В. Современная динамика лесных пожаров на приграничных территориях России, Китая и Монголии // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 140–147. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=36716> (дата обращения: 30.04.2026). DOI: 10.17513/use.36716.

14. Luyang Zhang, Junyan Chu, Haiyang You, & Zhihua Liu. Decomposition and Scenario Analysis of Agricultural Carbon Emissions in Heilongjiang, China. 2024. P. 19. (In English). DOI: 10.7717/peerj.17856.

15. Качур А. Н., Ланкин А. С. Международные проекты ТИГ ДВО РАН // Тихоокеанская география. 2021. № 4. С. 5–21. DOI: 10.35735/26870509_2021_8_1.

16. Кондратьев И. И. Сезонная изменчивость химического состава атмосферных осадков и влажных выпадений (по данным станций EANET-Приморская) // Тихоокеанская география. 2025. № 3. С. 65–72. DOI: 10.35735/26870509_2025_23_5.

17. Холодов А. С., Голохваст К. С. Результаты исследований гранулометрического и элементного состава атмосферных выпадений на территории заповедников Дальнего Востока РФ // Тихоокеанская география. 2020. № 3. С. 38–46. DOI: 10.35735/tig.2020.64.91.004.

18. Галушин Д. А., Громов С. А., Авдеев С. М. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории приморского края за период с 2011 по 2020 г. // Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 42–48. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=37790> (дата обращения: 08.04.2026). DOI: 10.17513/use.37790.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена в рамках темы государственного задания ТИГ ДВО РАН № 124053100009-5.

Financing: The work was carried out as part of the state assignment of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences No. 124053100009-5.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 504.05:502.313:001.891.32:001.4:001.5
DOI



CC BY 4.0

**АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ
«ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»: ПЛЮРАЛИЗМ
В ТРАКТОВКАХ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ**

Ашихмина Т. В. ORCID ID 0000-0002-2451-2321,

Сидельников А. В. ORCID ID 0009-0005-5818-5786

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация,
e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru*

Геоэкологическая система как ключевое понятие современной геоэкологии не имеет устоявшихся трактовок, что порождает терминологический плюрализм. Целью работы является анализ и систематизация основных подходов к интерпретации данного фундаментального термина геоэкологии в отечественной и зарубежной научной литературе. Материалами исследования послужили 43 различные публикации ведущих отечественных и иностранных ученых, охватывающие период с 2000-х по 2024 г., из таких научных баз, как eLibrary, Google Books, CyberLeninka, ResearchGate; 25 из них были указаны в списке литературы. В ходе сравнительного анализа выявлены ключевые факторы, определяющие множественность трактовок. Результаты демонстрируют, что термины «природно-техническая», «эколого-геологическая» и «природно-антропогенная» системы зачастую наполняются разным смыслом в зависимости от контекста. Это препятствует сопоставлению результатов исследований и интеграции данных из разных научных школ и тормозит развитие геоэкологии как обособленной науки. В заключение делается вывод о том, что выявленный плюрализм не является хаотичным, а отражает сложность объекта изучения. В качестве решения проблемы предложен алгоритм, позволяющий классифицировать геоэкологические системы по функциональному типу воздействия антропогенного компонента, абстрагируясь от субъективных авторских названий.

Ключевые слова: геоэкология, геоэкологическая система, терминология, природно-техническая система, эколого-геологическая система, геосистема

**ANALYSIS OF THE DEFINITION OF THE CONCEPT
“GEOECOLOGICAL SYSTEM”: PLURALISM
IN INTERPRETATIONS AND SYSTEMATIZATION OF TERMINOLOGY**

Ashikhmina T. V. ORCID ID 0000-0002-2451-2321,

Sidelnikov A. V. ORCID ID 0009-0005-5818-5786

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Voronezh State Technical University”, Voronezh, Russian Federation,
e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru*

In modern geocology, key concepts such as “geocological system” lack established definitions, leading to terminological pluralism. The aim of this study is to analyze and systematize the main approaches to interpreting fundamental geocological terms in Russian and international scientific literature. The study’s materials include 43 different publications by leading Russian and international scientists, covering the period from the 2000s to 2024. These publications were retrieved from scientific databases such as eLibrary, Google Books, CyberLeninka, and ResearchGate; 25 of these publications were cited in the reference list. A comparative analysis identified key factors underlying these multiple interpretations. The results demonstrate that the terms “natural-technical,” “ecological-geological,” and “natural-anthropogenic” systems often have different meanings depending on the context. This hinders the comparison of research results and the integration of data from different scientific schools and hinders the development of geocology as a distinct science. The conclusion is that the identified pluralism is not chaotic, but reflects the complexity of the object of study. As a solution to this problem, an algorithm is proposed for classifying geocological systems by the functional type of anthropogenic impact, abstracting from the subjective designations of the authors.

Keywords: geocology, geocological system, terminology, natural-technical system, ecological-geological system, geosystem

Введение

Геология, в своей основе, это наука, изучающая происхождение, состав и строение земной коры. Однако с возникновением на ее стыке с экологией такой междисциплинарной области, как геоэкология, фокус сместился на сложное взаимодействие между

литосферой, другими абиотическими сферами, живыми организмами и антропогенными факторами. Именно на этом пересечении и возникает ключевое, но пока не устоявшееся понятие «геоэкологическая система».

Цель исследования – анализ и систематизация основных подходов к интерпре-

тации термина «геоэкологическая система» в отечественной и зарубежной научной литературе, а также разработка предложений по классификации геоэкологических систем.

Материалы и методы исследования

Проведенное исследование базируется на анализе публикаций с целью выявления существующих в настоящее время трактовок термина «геоэкологическая система». В статье проведен анализ 43 отечественных и зарубежных публикаций, охватывающих период с 2000 по 2024 г. из таких научных баз, как eLibrary, Google Books, CyberLeninka, ResearchGate. В ходе анализа в список литературы вошло 25 источников. В работе использованы следующие методы: контент-анализ для систематизации смыслового наполнения терминов в различных источниках, а также сравнительный анализ и синтез научных концепций для сопоставления отечественных и зарубежных трактовок.

Рассмотренные определения термина «геоэкологическая система» свидетельствуют о многообразии подходов к его пониманию. Они не исчерпывают спектр воззрений на содержание и структуру этого термина, однако позволяют в определенной мере осознать, выделить ориентиры в исследовании проблемы терминологии в ключевых понятиях и терминах науки геоэкологии.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный анализ литературных источников наглядно демонстрирует, что в современной науке царит плюрализм в трактовке термина «геоэкологическая система», а также всевозможных вытекающих терминов, таких как «природно-техническая система», «эколого-геологическая система», «природно-антропогенная система». Разные авторы, как отечественные, так и зарубежные, вкладывают в них всевозможное содержание, что отражает не только молодость самой науки, но и различия в объектах исследования и решаемых задачах.

Этот терминологический плюрализм можно систематизировать, выделив несколько ключевых факторов, обуславливающих его эволюцию взглядов во времени, различия национальных научных школ и влияние конкретного объекта исследования на трактовку понятия.

По большей части работы научных деятелей содержат цитаты других ученых, где даются толкования используемых терминов либо ссылка на источник. Это делается для

того, чтобы не вводить читателя в заблуждение, вводя каждый раз новые трактовки привычных терминов, систематизируя терминологию между работами разных научных сфер и объектов исследования.

Среди наиболее цитируемых авторов, активно введших терминологию в геоэкологию как обособленную науку, стал один из ведущих отечественных ученых, доктор геолого-минералогических наук, профессор, член Российской академии естественных наук В. Т. Трофимов, который целенаправленно поднимал вопрос об отсутствии устоявшейся терминологии в данной сфере и активно работал над формированием ее теоретических оснований. Анализ его работ позволяет выделить комплексный и эволюционирующий взгляд на сущность геоэкологической системы [1]. В своих работах он определяет геоэкологию как «междисциплинарную науку, изучающую экологические функции абиотических сфер Земли (экотоп экосистем), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и антропогенных воздействий». Здесь геоэкологическая система фактически раскрывается через понятие «экотоп», что подчеркивает ее абиотическую основу как среду для жизни биоты. При этом ученый расширяет предмет науки, включая в него не только функции литосферы, но и других абиотических сфер [2–4]. Дополняя этот взгляд в более поздних работах, В. Т. Трофимов обращается к геобиосферному подходу, цитируя Е. А. Козловского, где геоэкология изучает закономерные связи между живыми организмами, техногенными сооружениями и геологической средой. В этой трактовке объектом изучения становится геоэкологическая система, понимаемая уже как более целостное образование, включающее не только абиотические компоненты, но и живое вещество [5–7].

В исследованиях иностранных ученых часто встречаются цитаты выдающегося советского географа и ландшафтоведа В. Б. Сочавы. Именно его фундаментальные работы 1960–1970-х гг. заложили основу учения о геосистемах как о природных географических единствах, пронизывающих всю ландшафтную оболочку Земли.

Анализ современных иностранных публикаций показывает, что обращение к концепции В. Б. Сочавы остается актуальным, однако его исходная идея подвергается существенной трансформации и адаптации. Так, van Ree Derk и соавт. в своей работе

2024 г. цитируют определение В. Б. Сочавы, согласно которому геосистемы – это «природно-географические единства всех возможных категорий, от планетарной геосистемы... до элементарной геосистемы... материальные выражения всей совокупности ландшафтной геосферы». Исследователи, однако, не просто воспроизводят эту классическую трактовку, а конкретизируют ее, добавляя вертикальные единицы, чтобы включить недра, тем самым расширяя исходное ландшафтно-ориентированное понятие для решения прикладных задач устойчивого планирования использования подземного пространства [8].

Еще более показательная эволюция термина прослеживается в работе 2022 г. «The geosystem services concept – What is it and can it support subsurface planning? Ecosystem Services» авторов E. L. Frisk, Y. Volchko, O. T. Sandström и др., которые также приводят историческое определение В. Б. Сочавы, подчеркивая, что геосистема включает взаимосвязанные биотические и абиотические компоненты. Однако они прямо констатируют, что современное использование термина *geosystem services* в научной литературе сильно отличается от исходной концепции и является скорее абиотическим аналогом «экосистемных услуг» [9].

На этом этапе можно заметить, что между отечественной и иностранной терминологией есть не просто ряд отличий (например, используется свое название для одного и того же термина: геологическая система (*geosystem* сокращ. от *geological system*) или же природно-антропогенная система («Human – Environment Systems» (HES) – система «Человек – Окружающая среда»), о котором авторы расскажут поподробнее чуть позже, где явно прослеживается не дословный перевод терминов, но, изучив контекст, можно понять, что речь идет об одном и том же), а ряд фундаментальных отличий; ученые из-за рубежа строят терминологию по своей отдельной системе, объединяя ряд русскоязычных терминов в один большой – *geosystem services*. Исходя из анализа, он имеет общие стороны и с эколого-геологической системой, и с природно-антропогенной системой, но ими не является.

Помимо научных деятелей, пытающихся в своих работах придерживаться терминологии других авторов, есть те, которые активно вводят свои трактовки базовых терминов геоэкологии. На примере отечественных авторов можно проследить явные отличия.

В своих работах Л. Л. Розанов делает акцент на человекоцентричности. Он определяет геоэкологию через изучение взаимосвязей в системе «человек – природа – хозяйство – окружающая среда». Ключевым здесь является понятие «окружающая среда» как сфера жизнедеятельности людей, что требует не пассивного наблюдения, а «субъектно-предметной активности» [10, с. 8–18]. Геоэкологическая система у Розанова – это не просто природный объект, а пространство активного взаимодействия и преобразующей деятельности человека, где окружающая среда динамична и требует управления [11–13].

А. В. Манаков в современном учебнике «Геоэкология. Методы оценки загрязнения окружающей среды» 2024 г. смещает фокус на «геологическую среду», которую определяет как комплексную гетерогенную систему биосферы, сформированную в результате длительного геологического взаимодействия. Эта трактовка возвращает нас к более традиционному взгляду, где геоэкологическая система – это, прежде всего, продукт глубинных геологических процессов, обеспечивающий саму возможность существования жизни [14, с. 15–34].

Трактовки термина у первого и второго автора не зависят от объекта исследования, который мог бы повлиять на интерпретацию понятия. Напротив, оба исследователя опираются преимущественно на собственное концептуальное понимание термина.

Это свидетельствует о том, что на формирование терминологии влияет не только объект или задача исследования, но и научная позиция и мировоззрение самого исследователя. Л. Л. Розанов и А. В. Манаков предлагают разные «системы координат» для описания, по сути, одного сложного объекта.

И. Е. Тимашев в своей работе «Геоэкология как эколого-ландшафтная наука» 2007 г. делает акцент на культурные ландшафты как на объект исследования [15]. Ссылаясь на В. А. Николаева [16], предлагает оригинальную трактовку, отождествляющую геоэкологическую систему с «культурным ландшафтом». Такой системе свойственны не только природные, но и социально-производственные компоненты, а также четкие качественные критерии: оптимальное функционирование, минимум деструктивных процессов, здоровая и эстетичная среда. Здесь геоэкологическая система приобретает нормативный, «идеальный» характер – это не просто объект изучения, а цель рациональ-

ного природопользования, система, требующая постоянного мониторинга и управления для поддержания заданных параметров

Помимо основного термина «геоэкологическая система» можно встретить и другие, например «природно-техническая система». При трактовке данного термина тоже возникают различные отличия.

За эталон возьмем определение, данное В. Т. Трофимовым в научном труде «О ряде позиций теоретических оснований нового содержания геоэкологии» 2021 г. Он описывает природно-техническую систему как реальную экосистему на освоенных территориях, которая уже включает в свой состав инженерные сооружения и несет последствия природных и главным образом техногенных воздействий. Ключевой акцент у В. Т. Трофимова делается на изучение и управление состоянием такой системы [2].

Однако другие авторы вносят в это понятие свои нюансы. Так, Т. А. Кожухарь в своем труде «Геоэкологический мониторинг» 2021 г. делает упор на пространственном аспекте. В ее определении природно-техническая система – это совокупность, в которой техническая система (сооружение) «охватывает некоторое пространство», включая в себя и природные компоненты. Это более статичное и локализованное понимание, где система часто привязана к конкретному объекту [17]. Зарубежные исследователи: J. Zawadzka, E. Gallagher, H. Smith, R. Corstanje в научной статье «Ecosystem services from combined natural and engineered water and wastewater treatment systems: Going beyond water quality enhancement» 2019 г. используют термин «комбинированные природно-инженерные системы» (cNES). Их ключевое отличие – явный функциональный уклон. Они рассматривают природно-технические системы как гибриды, созданные целенаправленно для обеспечения экосистемных услуг, то есть для получения конкретной пользы (очистка воды, дренаж). Объектом их исследования были водоочистные и дренажные сооружения, интегрированные с природной средой [18].

Термин эколого-геологическая система тоже имеет ряд различий.

Эталонное понимание, представленное В. Т. Трофимовым в том же труде, рассматривает эколого-геологическую систему как объект, изучение которого позволяет проводить прогнозные исследования, в частности анализировать возможные последствия природных воздействий. В его

трактовке система выступает прежде всего как модель для решения конкретных научно-практических задач [2].

Однако В. А. Королев в своих трудах раскрывает это понятие через призму более широкого системного подхода. Он указывает, что эколого-геологическая система является частью упорядоченного множества научных категорий экологической геологии. В их интерпретации это не просто модель для прогноза, а один из элементов логической целостности научной дисциплины, находящийся в связях с другими понятиями [19, 20].

Более того, цитируя самого В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга, они расширяют функциональное назначение таких систем, включая в круг решаемых ими задач не только прогнозные, но и морфологические и ретроспективные исследования. Это дополняет эталонное определение, указывая на универсальность системы как инструмента для изучения воздействия геологических процессов на биоту. Объектом исследования в этом труде является геосфера Земли.

Термин «природно-антропогенная система» по большей мере встречается в трудах, связанных с оценкой влияния тех или иных технологий человека на окружающую среду. Здесь в зависимости от объекта исследования авторы проследили отличия в трактовке термина.

Так, М. В. Шубенков и М. Ю. Шубенкова в своих работах рассматривают природно-антропогенные системы на примере городов и систем расселения. Для них ключевой характеристикой является сложность организации, возникающая из-за наложения искусственно созданных человеком структур на эволюционно отработанные природные. Они акцентируют внимание на эмерджентности – появлении у такой системы новых свойств, не присущих ее отдельным компонентам. Город – это сложный симбиоз, где природное и антропогенное не просто соседствуют, а порождают новое качество [21–23].

Иной ракурс предлагает В. М. Ивонин в работе под названием «Обоснование системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов» за 2017 г., фокусируясь на ландшафтном аспекте. Он оперирует понятием «природно-антропогенный ландшафт», определяя его как природный ландшафт, измененный целенаправленной или непреднамеренной деятельностью человека. Его подход носит классификационный и утилитарный характер – он выделяет типы таких ландшафтов в зависимости от вида

хозяйственного использования: сельскохозяйственные, лесохозяйственные, промышленные, рекреационные и др. Здесь система определяется не столько своей сложностью, сколько доминирующим видом антропогенной нагрузки [24].

Зарубежный автор Leslie A. Duram в работе «Environmental Geography: People and the Environment» за 2018 г. использует концептуально близкий термин «Human – Environment Systems» – система «Человек –

Окружающая среда». Его трактовка является наиболее обобщающей и методологической. HES описываются как сложные, адаптивные системы, объединяющие социальные подсистемы и экологические. Ключевая идея – их неразделимость и постоянное взаимовлияние. Этот подход задает общий теоретический каркас для изучения любых взаимодействий между обществом и природой, от глобального изменения климата до локального управления ресурсами [25, с. 1–11].



Рис. 1. Схема классификации геоэкологических систем
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Анализ показывает, что трактовка «природно-антропогенной системы» напрямую зависит от объекта исследования. В работах, посвященных конкретным объектам (город и ландшафт), определение сужается и приобретает отраслевые черты, например архитектурные. Когда же речь идет об обобщающем, теоретическом подходе, определение становится широким и методологическим, описывающим универсальные принципы взаимодействия. Это наглядно демонстрирует, как один термин может функционировать на разных уровнях научного обобщения – от частного случая до общей парадигмы.

Проведенный анализ научной литературы выявил значительный плюрализм в трактовках базовых терминов геоэкологии. Многообразие подходов, как было показано выше, обусловлено эволюцией научных взглядов, различием национальных школ и, в значительной степени, спецификой объекта исследования.

По мнению авторов, ключевым системообразующим признаком, позволяющим классифицировать геоэкологические системы, является наличие и роль антропогенного компонента. Именно характер взаимодействия между природной (биотической и абиотической) и антропогенной составляющими определяет сущность той или иной системы. Это принципиальное различие позволяет разделить все множество геоэкологических систем на два крупных класса:

естественные и искусственные по наличию антропогенного компонента (рис. 1).

Антропогенный компонент понимается максимально широко. Это не только инженерные сооружения и технические устройства, но и любые формы преобразования ландшафта, привнесение или изъятие вещества и энергии, а также нарушение естественных циклов и связей. По сути, антропогенный компонент – это «след» деятельности человека в геоэкологической системе.

Однако даже внутри класса искусственных систем сохраняется высокая степень разнообразия. Термины, используемые для их обозначения: «природно-техническая», «эколого-геологическая», «природно-антропогенная» и др., – зачастую отражают не столько принципиальные различия в устройстве, сколько «личные» предпочтения автора или акцент на конкретном объекте исследования.

Для систематизации авторы предлагают не отталкиваться от конкретного объекта исследования, который всегда уникален, а классифицировать искусственные геоэкологические системы по функциональному типу воздействия на окружающую среду посредством антропогенного компонента. Такой подход позволяет абстрагироваться от субъективных авторских названий и сосредоточиться на функциональной сущности системы. Предлагаемый алгоритм действий для исследователя выглядит следующим образом (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм исследования геоэкологических систем
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Основные функциональные типы геоэкологических систем выделены авторами в ходе анализа множества конкретных примеров искусственных геоэкологических систем, описанных в литературе:

– «Агрогеологическая система» – геоэкологическая система, где антропогенный компонент (сельхозтехника, удобрения и др.) целенаправленно модифицирует верхние слои литосферы и почву.

– «Урбогеоэкологическая система» – геоэкологическая система, где антропогенный компонент (здания, асфальт, коммуникации и др.) выполняет функцию блокирования обмена и накопления веществ и энергии.

– «Индустриальная геоэкологическая система» – геоэкологическая система, где функция антропогенного компонента – интенсивная переработка вещества и энергообмен.

– «Транспортно-геоэкологическая система» – геоэкологическая система сооружений (дороги, трубопроводы). Функция антропогенного компонента – создание физических барьеров вещественного и энергетического обмена.

Важно подчеркнуть, что эта классификация не является исчерпывающей и в будущем может быть дополнена.

Заключение

Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы подтвердил наличие терминологического плюрализма в трактовке понятия «геоэкологическая система» и смежных с ним терминов, что обусловлено эволюцией научных взглядов, различием научных школ и влиянием конкретного объекта исследования. Выявленное разнообразие трактовок, однако, отражает не хаотичность, а многогранность самого объекта изучения. В качестве инструмента для преодоления терминологической неопределенности авторами предложен алгоритм классификации искусственных геоэкологических систем, основанный не на субъективных авторских названиях, а на функциональном типе воздействия антропогенного компонента.

Практическая значимость исследования заключается в создании рабочего инструмента для унификации терминологии при описании геоэкологических систем. Предложенный алгоритм позволяет исследователям абстрагироваться от разногласий в авторских определениях. Результаты исследования могут представлять интерес для всех научных работников, так или иначе сталкивающихся в своей деятельности с геоэколо-

гическими системами. Применение предложенного подхода в дальнейших исследованиях будет способствовать формированию единого стандарта терминологии в данной области, что, в свою очередь, позволит минимизировать появление избыточных авторских трактовок и снизить количество разногласий в интерпретации ключевых понятий геоэкологии.

Список литературы

1. Сетевая энциклопедия «Известные учёные» Российской Академии Естествознания. [Электронный ресурс]. URL: <https://famous-scientists.ru/anketa/trofimov-viktor-titovich-5801> (дата обращения: 20.03.2026).

2. Трофимов В. Т. О ряде позиций теоретических оснований нового содержания геоэкологии // Геология. Вестник Московского Университета. 2021. № 6. Серия 4. С. 3–9. URL: <https://msupress.com/catalogue/magazines/archiv/vestnik-moskovskogo-universiteta-seriya-4-geologiya/3265/> (дата обращения: 20.04.2026).

3. Трофимов В. Т., Харькина М. А. От многоликости геоэкологии к логической и фактологически обоснованной геоэкологии // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы восьмой научно-практической конференции (г. Воронеж, 10–13 сентября 2023 г.). Воронеж: Кварт, 2023. С. 41–44. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65358655> (дата обращения: 06.05.2026).

4. Трофимов В. Т., Харькина М. А. Экологические функции абиотических сфер Земли: содержание. Как их компоненты учитываются в своде правил на инженерно-экологические изыскания для строительства // Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование: материалы Общероссийской научно-практической конференции (г. Москва, 27–28 февраля 2019 г.). М.: Геомаркетинг, 2019. С. 5–16. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41267774> (дата обращения: 05.05.2026).

5. Трофимов В. Т. Новый теоретический подход к определению содержания и развития геоэкологии // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2006. № 2. С. 176–185. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9196343> (дата обращения: 06.05.2026).

6. Трофимов В. Т., Королев В. А. К разработке номологических основ экологической геологии // Вестник Московского Университета. 2024. № 4. С. 3–10. URL: <https://vestnik.geol.msu.ru/jour/article/view/705> (дата обращения: 13.04.2026). DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-4-3-10.

7. Трофимов В. Т., Барабошкина Т. А., Харькина М. А., Жигалин А. Д. Эволюция термина «Геоэкология» в геологии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геология. 2017. № 3. С. 3–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30681547> (дата обращения: 13.04.2026).

8. Van Ree Derk, van Beukering Pieter, Hofkes Marjan W. Linking geodiversity and geosystem services to human well-being for the sustainable utilization of the subsurface and the urban environment // Philosophical Transactions of the Royal Society. Series A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2024. Vol. 382. С. 1–15. 20230051. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38342211/> (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.1098/rsta.2023.0051.

9. Frisk E. L., Volchko Y., Sandström O. T., et al. The geosystem services concept – What is it and can it support subsurface planning? // Ecosystem Services. 2022. Vol. 58. С. 1–15. 101493. URL: https://research.chalmers.se/publication/533162/file/533162_Fulltext.pdf (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.1016/j.ecoser.2022.101493.

10. Розанов Л. Л. Геоэкология. М.: Дрофа, 2010. 269 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21558470&ysclid=mo7joi1ete389082830> (дата обращения: 13.04.2026). ISBN 978-5-358-07863-5.

11. Розанов Л. Л. Водная среда человека // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2016. № 2 (23). С. 167–170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27439329> (дата обращения: 20.04.2026).
12. Розанов Л. Л. Современное геоэкологическое ведение // Научный диалог. 2015. № 2 (38). С. 21–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23171717> (дата обращения: 20.04.2026).
13. Розанов Л. Л. Основы учения о геоэкологических процессах // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 1. С. 137–142. URL: <https://www.geocosreda.ru/jour/article/view/15> (дата обращения: 18.04.2026). DOI: 10.18384/2310-7189-2019-1-137-142.
14. Мананков А. В. Геоэкология. Методы оценки загрязнения окружающей среды. 2-е изд. М.: Юрайт, 2024. 186 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60778677> (дата обращения: 13.04.2026). ISBN 978-5-534-07885-5.
15. Тимашев И. Е. Геоэкология как эколого-ландшафтная наука // Вестник ВГУ: География, Геоэкология. 2007. № 1. С. 5–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9587878> (дата обращения: 18.04.2026).
16. Николаев В. А. Ландшафтоведение семинарские и практические занятия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 208 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003018103/?y-sclid=mor3mzzz39353350685 (дата обращения: 04.04.2026). ISBN 5-89575-103-2.
17. Кожухарь Т. А. Геоэкологический мониторинг. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. 108 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/dzvstr> (дата обращения: 18.04.2026). ISBN 978-5-93057-905-5.
18. Zawadzka J., Gallagher E., Smith H., Corstanje R. Ecosystem services from combined natural and engineered water and wastewater treatment systems: Going beyond water quality enhancement // Ecological Engineering. 2019. Vol. 142. 100006. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590290319300069> (дата обращения: 18.04.2026). DOI: 10.1016/j.ecoena.2019.100006.
19. Королев В. А., Трофимов В. Т. К построению общей классификации континентальных эколого-геологических систем // Вестник Московского Университета. 2022. № 1. С. 54–61. URL: <https://vestnik.geol.msu.ru/jour/article/view/496> (дата обращения: 18.04.2026). DOI: 10.33623/0579-9406-2022-1-54-61.
20. Трофимов В. Т., Королёв В. А. Массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геология. 2018. № 2. С. 59–65. URL: <https://vestnik.geol.msu.ru/jour/article/view/142> (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.33623/0579-9406-2018-2-59-65.
21. Шубенков М. В., Шубенкова М. Ю. Современный город как антропогенно-природная система // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 4 (53). С. 182–190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44671167> (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15311.
22. Шубенков М. В. Концепция устойчивого развития урбанизированных территорий // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. № 4 (65). С. 169–179. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=58450242> (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-169-179.
23. Шубенков М. В., Шубенкова М. Ю. Концепция урбобиоценозного зонирования территорий // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. № 3 (72). С. 218–235. URL: https://marhi.ru/AMIT/2025/3kvart25/PDF/14_shubenkov.pdf (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-218-235.
24. Ивонин В. М. Обоснование системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 18–31. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=280> (дата обращения: 20.04.2026).
25. Leslie A. Duram Environmental Geography People and the Environment. – Santa Barbara, California: Bloomsbury Publishing, 2018. 344 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/374410239_Environmental_Geography_People_and_the_Environment (дата обращения: 20.04.2026). DOI: 10.5040/9798400646843. ISBN: 9781440856105.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

СТАТЬИ

УДК 552.513.4
DOI

CC BY 4.0

**ЛИТОЛОГИЯ, СОСТАВ И ФОРМИРОВАНИЕ
МАРКИРУЮЩЕГО ГОРИЗОНТА ГЛАУКОНИТОВЫХ
ПЕСЧАНИКОВ В ПОЗДНЕМ АЛЬБЕ – РАННЕМ СЕНОМАНЕ
(БАХЧИСАРАЙСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА КРЫМ)****Кривошеин Р. А. ORCID ID 0009-0005-3998-9498,****Щеколдин Р. А. ORCID ID 0000-0002-4883-6064**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: krivoshein.roman.00@bk.ru

Исследование литологического состава горизонта глауконитовых песчаников микроскопическим методом и палеогеографическая реконструкция в позднеальбское время в Бахчисарайском районе, Республика Крым, являются основой данной работы. Для достижения этого изучены петрографические шлифы, отобранные из наиболее представительного разреза в устье Сухого лога. Проведен количественный анализ соотношения компонентов породы, описана их морфология. На основе компонентного состава и структурных особенностей выполнена интерпретация условий осадконакопления. В составе пород установлены литокласты (обломки порфировых андезитов), кристаллокласты (зерна плагиоклаза), карбонатный матрикс, комплекс карбонатных зерен (фораминиферы, кальцисферы, криноидеи) и глауконит, частично замещающий полости фораминифер. На основании состава и структурных особенностей определено, что часть пород горизонта является туфоизвестняками, что подтверждается присутствием андезитовых обломков. С привлечением данных по смежным регионам реконструирована обстановка осадконакопления: удаленная зона морского шельфа, в которую происходил воздушный перенос пирокластического материала андезитового состава с его последующей аккумуляцией. Горизонт глауконитовых песчаников сложен не типичными песчаниками, а туфоизвестняками. Накопление осадков происходило в спокойной, удаленной шельфовой обстановке, куда вулканические обломки поступали по воздуху. Полученные результаты уточняют стратиграфию района и дают новое представление о палеогеографической эволюции Крыма в позднеальбе.

Ключевые слова: Крым, палеогеография, поздний альб, глауконитовый песчаник, пирокластический материал, литокласты, кристаллокласты, андезитовый вулканизм

Благодарности: Авторы выражают искреннюю признательность администрации Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и непосредственно ректору, профессору В. С. Литвиненко, за отличные условия, позволившие провести полевые исследования и выполнить лабораторные анализы горных пород.

**LITHOLOGY, COMPOSITION, AND FORMATION
OF A MARKER GLAUCONITIC SANDSTONE HORIZON
(LATE ALBIAN – EARLY CENOMANIAN)
IN THE BAKHCHYSARAI AREA, CRIMEA****Krivoshein R. A. ORCID ID 0009-0005-3998-9498,****Schekoldin R. A. ORCID ID 0000-0002-4883-6064**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II”,
Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: krivoshein.roman.00@bk.ru*

The lithological composition of the Late Albian–Early Cenomanian glauconitic sandstone horizon in the Bakhchysarai District of the Republic of Crimea was investigated using microscopic methods, and a palaeogeographic reconstruction of the area for the Late Albian was performed. To achieve this, petrographic thin sections collected from the most representative section at the mouth of Sukhyi Log were examined. A quantitative analysis of component proportions was carried out, and the morphology of the components was described. Based on the component composition and structural features, the depositional environment was interpreted. The rocks contain lithoclasts (porphyritic andesite fragments), crystalloclasts (plagioclase grains), a carbonate matrix, an assemblage of carbonate grains (foraminifera, calcispheres, crinoids), and glauconite, which partly infills foraminiferal test cavities. Based on the composition and structural features, at least some of the rocks forming the glauconitic sandstone horizon are identified as tuffaceous limestones, as confirmed by the presence of andesitic fragments. Using data from adjacent regions, the depositional environment is reconstructed as a distal open-marine shelf setting, where andesitic pyroclastic material was transported through the air and subsequently accumulated. The glauconitic sandstone horizon is composed not of typical sandstones but of tuffaceous limestones. Sedimentation took place in a quiet, distal shelf environment, with volcanic fragments supplied by airfall. These findings refine the local stratigraphy and provide new insights into the palaeogeographic evolution of Crimea during the Late Albian.

Keywords: Crimea, paleogeography, Late Albian, glauconite sandstone, pyroclastic material, lithoclasts, crystalloclasts, andesite volcanism

Acknowledgements: The authors wish to extend their sincere appreciation to the administration of Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, and directly to its Rector, Professor V. S. Litvinenko, for providing outstanding facilities and support, which made it possible to carry out field campaigns and laboratory studies of the rock material.

Введение

Территория исследований в Бахчисарайском районе Республики Крым почти наполовину сложена меловыми, в основном карбонатными, породами. В их разрезе в качестве маркирующего горизонта выделяется слой глауконитовых песчаников (в пределах Крымского учебного полигона Горного университета (Санкт-Петербург)) (рис. 1). Ранее исследования касались преимущественно его биостратиграфии: найденные ископаемые остатки подтвердили позднеальбский – раннесеноманский возраст вмещающих отложений [2; 3]. Систематических литологических работ до сих пор не проводилось. По имеющимся кратким описаниям, горизонт представлен мелко- и среднезернистыми известковистыми глауконитовыми песчаниками, содержащими зерна магнетита. В основании отмечается кварцевая галька, а местами встречаются линзы известняков. Цемент породы – известковый [2].

Горизонт глауконитовых песчаников представляет собой довольно сложный для изучения объект, поскольку обнажен плохо по сравнению с ниже- и вышележащими толщами. В большинстве обнажений представлена неполная его мощность. Глауконитовые песчаники трансгрессивно залегают на разных подстилающих отложениях, в некоторых местах с отчетливым

эрозионным контактом, заполняя промоины и карманы. Мощность горизонта переменная, от нескольких дециметров до 10 м. Наиболее представительным разрезом является искусственное обнажение – выемка под строительство трансформаторной будки в устье Сухого лога. Для дополнительного изучения литологических особенностей пород здесь была выполнена расчистка и отобрана серия образцов с нескольких уровней.

Горизонт глауконитовых песчаников представляет особенно интересный объект для изучения литологических особенностей и последующих палеогеографических реконструкций, так как глауконит характеризуется строго детерминированным генезисом [2–4].

Микроскопическое исследование петрографических шлифов позволило выявить значительную долю пирокластических частиц в составе изучаемых пород. Данный факт послужил основанием для пересмотра представлений об условиях осадконакопления в пределах распространения рассматриваемого маркирующего горизонта. Было определено, что по крайней мере некоторые разности глауконитового «песчаника» являются туффитами или туфоизвестняками, пирокластический материал в которых представлен кристаллокластами плагиоклаза и литокластами микролитовой основной массы эффузивов, рассеянными в известковом матриксе.



Рис. 1. Расположение района исследования (черный прямоугольник)
Примечание: составлен авторами на основе источника [1]

Цель исследования – изучение литологического состава горизонта глауконитовых песчаников микроскопическим методом и палеогеографическая реконструкция в позднеальбское время в Бахчисарайском районе (Республика Крым).

Материалы и методы исследования

Материал для изготовления шлифов и последующего детального изучения их микроскопическими методами был отобран с нескольких уровней из разреза в устье лога Сухого. Из отобранных образцов в шлифовальной мастерской Горного университета были изготовлены петрографические шлифы. Микроскопические исследования выполнены в литологической лаборатории кафедры исторической и динамической геологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II. Описание и фотографирование шлифов производилось с помощью микроскопа Axio Imager A2m и программного комплекса Tixomet Pro.

Результаты исследования и их обсуждение

Породы сложены следующими компонентами: литокластами (10–12 %), кристаллокластами (20–40 %), карбонатными зернами (40–50 %), зернами глауконита (5–10 %) и карбонатным микритом коричневого цвета (15–20 %).

Литокластическая часть представлена обломками порфировых андезитов (10–12 %) неправильной, угловатой, реже округлой, удлиненной формы (рис. 2).

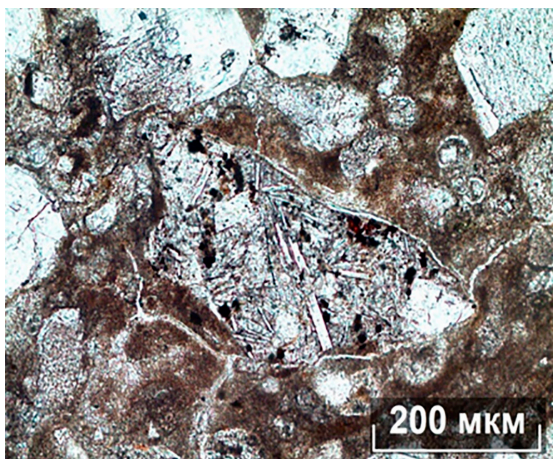


Рис. 2. Литокласт андезитового порфирита с гиалопилитовой структурой основной массы (ил. 18–26, с анализатором)

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Минимальные размеры – менее 0,2 мм (около 10 % от всего количества литокластов). Преобладающий размер обломков составляет 0,5–0,7 мм (более 50 % от всего количества литокластов). Максимальные размеры – около 1 мм (не более 5 % от всего количества литокластов). Порфировые вкрапленники в литокластах представлены плагиоклазом. Основная масса имеет гиалопилитовую структуру. Она сложена микролитами плагиоклаза и измененным вулканическим стеклом. Часть литокластов замещена кальцитом или глауконитом.

Кристаллокласты представлены зернами плагиоклаза (20–40 %), которые имеют прямоугольные, также шестиугольные и реже неправильные, удлиненные формы с полисинтетическими двойниками и характерной зональной микроструктурой. Минимальные размеры – 0,1–0,15 мм (около 30 % от всего количества зерен плагиоклазов). Преобладающий размер кристаллокластов плагиоклаза составляет 0,5–0,6 мм (более 50 % от всего количества зерен плагиоклазов). Максимальные размеры – около 1 мм, (не более 20 % от всего количества зерен плагиоклазов). Многие (55–60 %) кристаллокласты корродированы и замещены кальцитом (рис. 3).

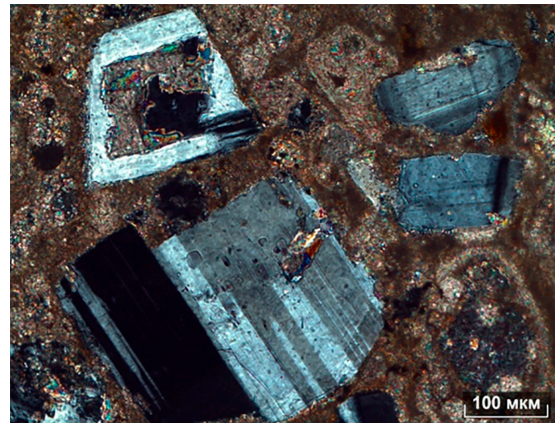


Рис. 3. Замещение кристаллокластов плагиоклаза кальцитом (ил. 18–24, с анализатором)

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Карбонатная составляющая породы представлена преимущественно остатками раковин фораминифер (рис. 4), размеры которых колеблются в диапазоне 0,05–0,1 мм, остатками криноидей, размеры которых составляют около 0,1 мм, и кальцисферами (рис. 5), размеры которых не превышают

0,05–0,07 мм [5; 6]. Фораминиферы представлены в основном планктонными формами с тонкостенными (около 1 мкм) раковинами, внутренняя часть которых обычно заполнена кристаллическим кальцитом. В ряде случаев можно наблюдать замещение полостей камер фораминифер глауконитом и кальцитом (рис. 4). Встречены также остатки бентосных фораминифер (рис. 5).

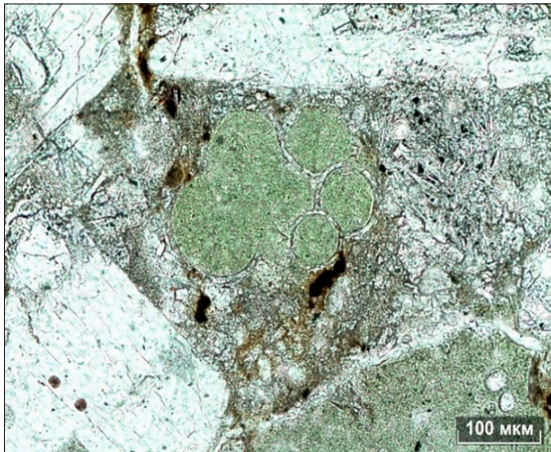


Рис. 4. Раковина фораминиферы, заполненная глауконитом (шл. 18–17, без анализатора)

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

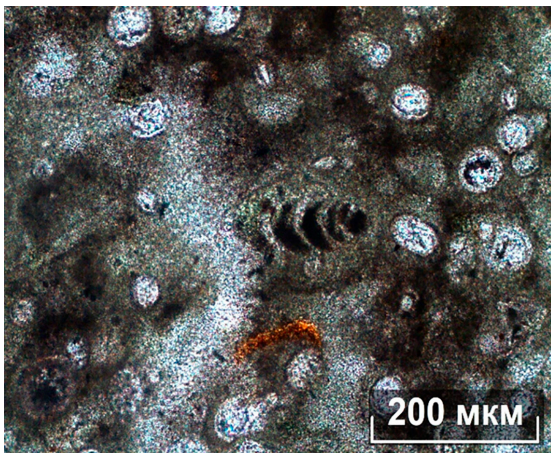


Рис. 5. Многочисленные кальциферы и остаток бентосной фораминиферы (в центре) (шл. 18–25, без анализатора)

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Глауконит присутствует в виде довольно крупных зерен изометричной, неправильной, а иногда и округлой формы. В зернах (микроконкрециях) глауконита также присутствуют остатки фораминифер и радиолярий (?), замещенные глауконитом.

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что литологические различия в пределах глауконитового песчаного горизонта на территории Крымского учебного полигона (Санкт-Петербургский горный университет) представлены туффитами и туфоизвестняками [4].

Обстановка осадконакопления горизонта глауконитовых песчаников, несомненно, морская, очевидно, неритовая, на что указывает комплекс фораминифер, криноидей и кальцифер [5; 7; 8]. Преобладание среди остатков фораминифер планктонных форм говорит о достаточно большой глубине. На это же указывает массивная текстура пород без признаков активной гидродинамики.

Обилие глауконита также указывает на морские условия [7–9]. При изучении шлифов были выявлены остатки фораминифер, полости раковин которых замещены глауконитом (рис. 4), что указывает на определенный механизм глауконитизации – синтез из иловых растворов SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ и др. [2; 5; 7].

Для решения вопроса об источнике пирокластического материала андезитового состава необходимо провести региональный обзор.

Крупный меловой вулканический пояс, проходящий южнее Черного моря, состоит как минимум из трех частей – Транскавказского вулканического пояса (Аджаро-Триалетская зона, Дзирульский массив, Сомхетско-Карабахская зона), зоны Восточная Средна-Гора в Болгарии и Понтид на севере Турции [10–12].

С апта до турона вулканизм имел распространение в Транскавказском вулканическом поясе, в основном в Аджаро-Триалетской зоне [10–12].

Согласно [10; 13; 14], «...вулканический пояс апта–альба (или альба) проходил от Транскавказского пояса (от Аджаро-Триалетской зоны) через валы Шатского и Андрусова и уходил в район Балаклавы».

В Черном море на Одесском шельфе также установлен меловой вулканизм, связанный с раскрытием раннемелового Каркинитского грабена [10; 15]. Формирование последнего пришлось на поздний баррем–альб, но на альбское время приходится главная фаза рифтинга, который сопровождался формированием многочисленных вулканов в основном в позднем альбе [10; 12; 16].

Таким образом, вулканическая деятельность в альбском веке, вероятно, происходила в Транскавказском поясе, в районе Балаклавы и в районе Каркинитского грабена (рис. 6) [2; 10; 14].

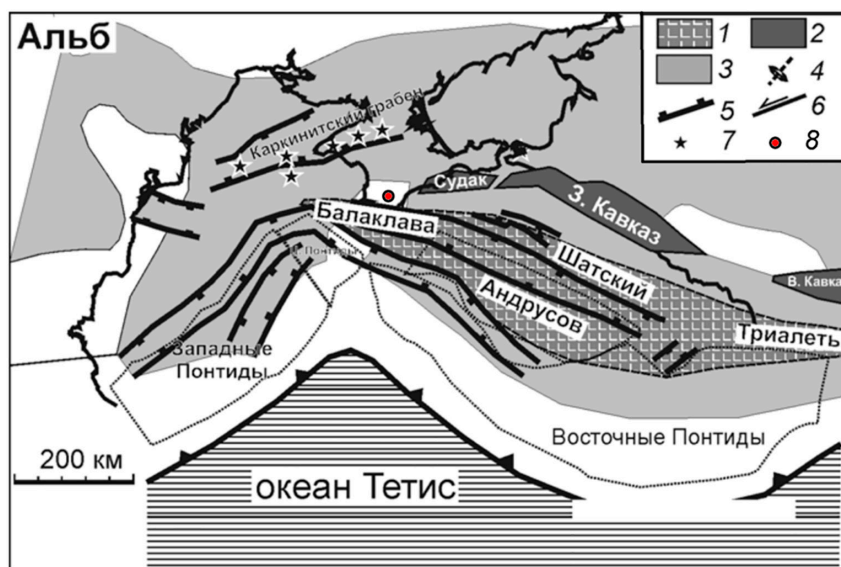


Рис. 6. Палеотектоническая реконструкция для альба: 1 – вулканические пояса; 2 – глубоководные бассейны с океанической или континентальной корой, сильно утоненной рифтингом; 3 – осадочные бассейны; 4 – оси рифтинга или спрединга океанической коры; 5 – сбросы; 6 – сдвиги; 7 – отдельные вулканы; 8 – район проведенного исследования
Примечание: составлен авторами на основе источника [10]

Из этого можно предположить, что транспорт пирокластического материала андезитового состава в бассейн седиментации осуществлялся по воздуху из района Каркинитского грабена либо из района Балаклавы Транскавказского пояса [10].

При микроскопическом исследовании пород было установлено, что пирокластические компоненты пород преимущественно имеют угловатые очертания и полностью отсутствуют признаки их окатывания. Данная особенность указывает на отложение их в водных условиях со спокойными гидродинамическими условиями [17, с. 52].

Верхнеальбский пирокластический материал андезитового состава транспортировался в осадочный бассейн воздушным путем либо из вулканической области Каркинитского грабена, либо из района Балаклавской вулканической дуги [2; 10; 13]. Вулканические обломки осаждались и накапливались на дне глубоководного шельфа со спокойным гидродинамическим режимом, на что указывают изученный в шлифах комплекс микрофоссилий, морфологические особенности литокластов и кристаллокластов, а также высокое содержание глауконита.

Заключение

Проведенное изучение состава и геологической обстановки формирования глауконитовых песчаников, которые вскры-

ваются в пределах Крымского учебного полигона Горного университета, позволяет утверждать: подавляющая часть слагающих горизонт пород содержит заметное количество пирокластики. Это дает основание относить их не к песчаникам, а к туффидам или туфоизвестнякам.

В составе пород были выделены литокластические компоненты (10–12 %), представленные порфирами андезитами, основная масса которых обнаруживает гиалопилитовую структуру; кристаллокластические компоненты (20–40 %), представленные зернами плагиоклаза с зональной микроструктурой; карбонатный матрикс (15–20 %) и карбонатные зерна (40–50 %), которые включают остатки фораминифер, криноидей и кальцисферы; глауконит (5 %) встречается как в виде отдельных зерен, так и в виде заполнения полостей раковин фораминифер или метасоматически замещает литокласты.

Присутствие пирокластического материала андезитового состава, по-видимому, объясняется тем, что в альбское время происходила вулканическая деятельность с преобладанием наземных, преимущественно эксплозивных извержений в области Каркинитского грабена или Балаклавской части Транскавказского вулканического пояса. Пирокластический материал переносился по воздуху и осаждался в том числе

на современной территории Бахчисарайско-го района Республики Крым.

Вулканические обломки андезитового состава осаждались на дне шельфового бассейна с глубинами ниже уровня волновой активности (50–200 м), на что указывает наличие в породе минерала-индикатора обстановок осадконакопления – глауконита, а также характерная для этой биономической зоны совокупность фораминифер.

Список литературы

1. Карта-схема Республики Крым и города федерального значения Севастополь с важнейшими городами. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sharada.ru/pdf-maps/maps/rossija-i-regiony/respublika-krum-i-sevastopol> (дата обращения: 14.03.2026).
2. Копаяевич Л. Ф., Хотылев А. О. Стратиграфическое положение меловых вулканитов в Крыму и на Северном Кавказе // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2014. № 6. С. 59–69. EDN: TGZQYJ.
3. Павлидис С. Б., Комаров В. Н. О новых находках верхнеальбских аммонитов в Юго-Западном Крыму // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 17. С. 455–469. EDN: IYVBAS.
4. Седаева М. К., Майорова Т. П., Светов С. А., Баранов Д. А. Литогеохимическая характеристика известняков субплатформенного комплекса Горного Крыма // От анализа вещества – к бассейновому анализу: материалы 13 Уральского литологического совещания (Екатеринбург, 19–23 октября 2020 г.). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого, 2020. С. 247–250. EDN: WUXWDA.
5. Mülâyim O., Yılmaz İ. Ö., Ferré B. Pythonellid calcitarch record in the middle? Cenomanian Dardere-A Member, SE Turkey: palaeoenvironmental changes and stratigraphic significance // Turkish Journal of Earth Sciences. 2023. Т. 32. № 1. С. 63–74.
6. Vishnevskaya V. S., Kopaevich L. F. Microfossil assemblages as key to reconstruct sea-level fluctuations, cooling episodes and palaeogeography: The albian to maastrichtian of boreal and peri-tethyan Russia // Geological Society Special Publication. 2020. Vol. 498. Is. 1. P. 165–187. DOI: 10.1144/SP498-2018-138. EDN: CMWWFY.
7. Рудмин М. А. Глауконит: обзор условий формирования, палеогеографическое значение и перспективные области использования // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М. А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 140-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы (г. Томск, 3–7 апреля 2023 г.). Т. 1. Томск, 2023. С. 73–75. EDN: JUUZPN.
8. Loucks R. G., Reed R. M. Alteration of Volcanic Grains to Glauconite in the Upper Cretaceous Austin Chalk Formation in the Balcones Igneous Province, South and Central Texas: Implications for Depositional History. 2023. DOI: 10.62371/IWU2066.
9. Georgievskiy A. F., Bugina V. M. Glauconite from Deposits of Different Age in Mountain Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vladivostok, 06–09 октября 2020 г.). Vladivostok, 2021. P. 032044. DOI: 10.1088/1755-1315/666/3/032044. EDN: NIYWH.
10. Никишин А. М., Хотылев А. О., Бычков А. Ю., Копаяевич Л. Ф., Петров Е. И., Япаскурт В. О. Меловые вулканические пояса и история формирования Черноморского бассейна // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2013. № 3. С. 6–18. EDN: RCAVBX.
11. Карелина Е. В., Мотузов И. С., Марков В. Е., Панащенко Ю. Н., Жорж Н. В., Носаева О. В. Изучение вулканогенно-осадочных пород дзыхринской толщи в пределах абхазской зоны Гагрско-Джавского поднятия Северо-Западного Кавказа // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 4. С. 343–354. DOI: 10.22363/2312-8143-2022-23-4-343-354.
12. Cengiz M. Palaeomagnetic evidence of the deformation of the Pontides during the closure of the Intra-Pontide Ocean in the early Cretaceous // Geophysical Journal International. 2023. Т. 234. № 3. С. 1835–1854. DOI: 10.1093/gji/ggad167.
13. Rolland Y., Sosson M., Adamia Sh., Sadradze N. Prolonged variscan to Alpine history of an active Eurasian margin (Georgia, Armenia) revealed by ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating // Gondwana Research. 2011. Vol. 20. Is. 4. P. 798–815. DOI: 10.1016/j.gr.2011.05.007.
14. Stephenson R., Stovba S. Review of the main Black Sea rifting phase in the Cretaceous and implications for the evolution of the Black Sea lithosphere // Journal of Geodynamics. 2022. Т. 149. С. 101891. DOI: 10.1016/j.jog.2021.101891.
15. Trifonov V. G., Sokolov S. Y., Sokolov S. A., Hessami K. Mesozoic–Cenozoic structure of the Black Sea – Caucasus – Caspian region and its relationships with the upper mantle structure // Geotectonics. 2020. Т. 54. С. 331–355. DOI: 10.1134/S0016852120030103.
16. Bilim F., Aydemir A., Ateş A., Dolmaz M. N., Koşaroglu S., Erbek E. Crustal thickness in the Black Sea and surrounding region, estimated from the gravity data // Marine and Petroleum Geology. 2021. Vol. 123. P. 104735. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104735. EDN: FSADFI.
17. Япаскурт О. В. Литология. М.: ИНФРА-М. 2016. 359 с. EDN: UNZQJV.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА И АНАЛИЗ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Лапиков П. И., Яковлев Е. Ю.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,
Архангельск, Российская Федерация, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com*

В работе представлены результаты оценки содержания природных радионуклидов в почвах дельты реки Северная Двина – ключевого арктического региона России с высокой антропогенной нагрузкой. Цель исследования – оценка содержания радионуклидов в почвах дельты реки Северная Двина и анализ их пространственного распределения (на примере ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K). Пробы отобраны в 17 точках, охватывающих основные геоморфологические элементы дельты и прилегающих территорий, из слоев 0–5 и 5–10 см. Измерения выполнены методом полупроводниковой гамма-спектрометрии на низкофоном оборудовании ORTEC. Установлено, что удельная активность ^{137}Cs в верхнем слое варьирует от 1,4 до 131 Бк/кг, что значительно расширяет известный ранее диапазон и свидетельствует о выраженной пространственной неоднородности. Выявлены два основных типа вертикального распределения ^{137}Cs : поверхностно-аккумулятивный (70% разрезов) и инверсионный (30% разрезов). Максимальные запасы ^{137}Cs (до 9,05 кБк/м²) приурочены к глеевым подзолам. Содержание природных радионуклидов не превышает среднемировых фоновых значений, что позволяет характеризовать территорию как зону с нормальным радиационным фоном. Полученные данные восполняют пробел в мониторинге радиационного состояния арктических дельтовых экосистем и могут быть использованы для разработки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: радионуклиды, почвы, дельта Северной Двины, цезий-137, Арктика, глобальные выпадения, радиационная безопасность, пространственное распределение

ASSESSMENT OF RADIONUCLIDE CONTENT IN SOILS OF THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA AND ANALYSIS OF THEIR SPATIAL DISTRIBUTION

Lapikov P. I., Yakovlev E. Yu.

*Federal Research Center for Integrated Study of the Arctic named after Academician
N. P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk,
Russian Federation, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com*

This paper presents the results of an assessment of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in soils of the Northern Dvina River delta, a key Arctic region of Russia characterized by high anthropogenic pressure. The aim of the study is to evaluate the radionuclide content in the soils of the Northern Dvina River delta and to analyze their spatial distribution (using ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K as examples). Soil samples were collected at 17 sites covering the main geomorphological elements of the delta and adjacent areas from depths of 0–5 cm and 5–10 cm. Measurements were performed using semiconductor gamma spectrometry with low-background ORTEC equipment. The specific activity of technogenic ^{137}Cs in the upper soil layer ranges from 1.4 to 131 Bq/kg, significantly expanding the previously reported range and indicating pronounced spatial heterogeneity. Two main types of vertical distribution of ^{137}Cs were identified: surface-accumulative (70% of soil profiles) and inversion (30% of profiles), the latter being associated with illuvial processes in podzols and sorption barriers in peat-gley soils. Maximum ^{137}Cs inventories (up to 9.05 kBq/m²) are confined to gleyic podzols. The concentrations of natural radionuclides do not exceed global background values, allowing the study area to be characterized as having a normal radiation background. The obtained data fill a gap in the monitoring of the radiation status of Arctic delta ecosystems and can be used for the development of environmental protection measures under conditions of increasing anthropogenic pressure in key regions of the Russian Arctic.

Keyword: Keywords: radionuclides, soils, Northern Dvina delta, cesium-137, Arctic, global fallout, radiation safety, spatial distribution

Введение

Почвы арктических территорий выполняют важнейшую биосферную функцию, выступая естественным накопителем поллютантов и регулятором климатической системы. Оценка их состояния, включая уровень накопления загрязняющих веществ, является элементом глобального мониторинга.

Дельта Северной Двины – ключевой регион Российской Арктики с высокой антропогенной нагрузкой: здесь расположена крупнейшая в западном секторе Арктики городская агломерация и промышленные кластеры. Хрупкие экосистемы дельты испытывают хроническое техногенное воздействие, последствия которого изучены недостаточно.

Почвы, сформированные на аллювиальных отложениях, характеризуются высокой пространственной неоднородностью и специфическими условиями гумусообразования [1]. Они выступают основным накопителем загрязняющих веществ, включая радионуклиды. В отличие от хорошо изученных для дельты Северной Двины тяжёлых металлов [2-4], радиоактивное загрязнение почв дельты исследовано фрагментарно. Отдельные аспекты загрязнения тяжёлыми металлами рассмотрены также в работах [5; 6]. Радиационная обстановка определяется природной радиоактивностью пород и техногенными радионуклидами глобального происхождения [7; 8].

Техногенный ^{137}Cs является информативным трассером почвенных процессов и основным дозообразующим радионуклидом. Его поступление связано с глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия и аварий на АЭС [9; 10]. В почвенном профиле ^{137}Cs закрепляется в верхних гумусовых горизонтах, что позволяет использовать его как индикатор эрозивно-аккумуляционных процессов [11].

Современные систематические данные о распределении радионуклидов в почвах

дельты отсутствуют [7; 12]. Существуют данные, получаемые в ходе мониторинга государственными органами, но они могут иметь ведомственный характер на первичном этапе их получения [13]. Экологическая значимость дельты и важность ее исследования подтверждается ее функцией маргинального фильтра [14].

Цель данного исследования – оценка содержания радионуклидов в почвах дельты реки Северная Двина (на примере ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K).

В задачи исследования входило:

- определение удельной активности радионуклидов в слоях 0–5 и 5–10 см,
- анализ их пространственного распределения,
- оценка радиэкологической значимости.

Материалы и методы исследования

Отбор проб проведён в 17 точках в пределах дельты Северной Двины в радиусе 30 км методом конверта (рис. 1). В каждой точке отобраны пробы из слоёв 0-5 и 5-10 см. Типы почв определены по классификации почв России (2004). Координаты точек приведены в таблице 1.

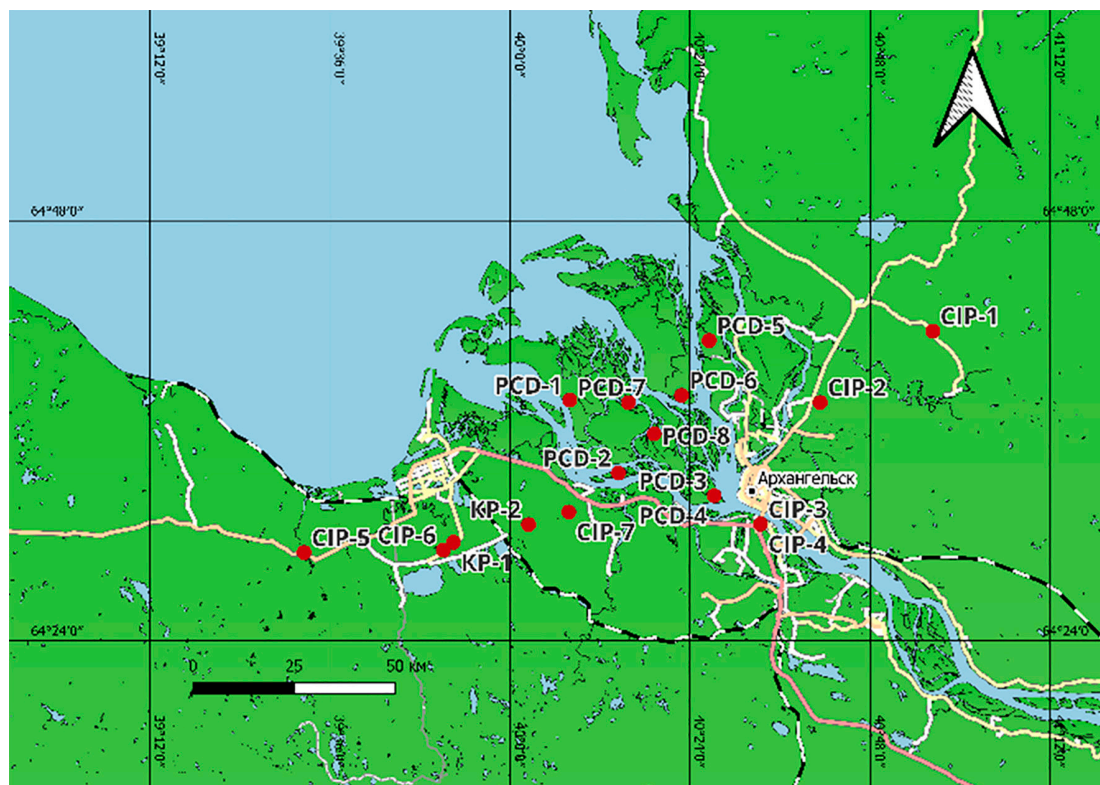


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб почв в дельте реки Северная Двина
Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Координаты и даты отбора проб почв

№	Шифр	Широта	Долгота	Дата отбора
1	CIP-1	64.695355	40.939508	14.08.2024
2	CIP-2	64.627553	40.689116	14.08.2024
3	CIP-3	64.511635	40.556786	14.08.2024
4	CIP-4	64.511635	40.556786	14.08.2024
5	CIP-5	64.484485	39.542279	14.08.2024
6	CIP-6	64.486687	39.851669	14.08.2024
7	CIP-7	64.523179	40.130617	14.08.2024
8	PCD -1	64.629720	40.132810	16.07.2025
9	PCD -2	64.560291	40.240713	16.07.2025
10	PCD-3	64.538662	40.453628	16.07.2025
11	PCD-4	64.538662	40.453628	17.07.2025
12	PCD-5	64.686354	40.442466	20.07.2025
13	PCD -6	64.634318	40.381017	27.07.2025
14	PCD -7	64.627456	40.263076	27.07.2025
15	PCD -8	64.597669	40.320515	30.07.2025
16	KP-1	64.494238	39.874258	10.10.2025
17	KP-2	64.511205	40.041142	10.10.2025

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Пробы высушены при 105 °С и гомогенизированы. Удельную активность определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (HPGe). Идентификацию проводили по гамма-линиям: ⁴⁰K – 1460,8 кэВ, ²²⁶Ra – по линиям ²¹⁴Pb (351,9 кэВ) и ²¹⁴Bi (609,3 кэВ), ²³²Th – по линиям ²²⁸Ac (911,2 кэВ) и ²¹²Pb (238,6 кэВ), ¹³⁷Cs – 661,7 кэВ. Минимально детектируемые активности: ⁴⁰K – 1,0 Бк, ²²⁶Ra – 0,2 Бк, ²³²Th – 0,3 Бк, ¹³⁷Cs – 0,1 Бк.

Обработка данных выполнена в R и Microsoft Office, картирование – в QGIS 3.44.3.

Результаты исследования и их обсуждение

Сеть пробоотбора охватывает основные геоморфологические элементы дельты и прилегающие территории. Полные данные по удельной активности и плотности поверхностного загрязнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Удельная активность (Бк/кг) и плотность загрязнения (кБк/м²) ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra

Шифр	Название	Формула ПП	Глубина, см	¹³⁷ Cs		⁴⁰ K		²³² Th		²²⁶ Ra	
				Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²
CIP-1	Подзол альфегумусный	O-E-BF-C	0-5	29.0	1450	73	3650	3.1	155	1.8	90
			5-10	18.0	900	352	17600	1.8	90	1.5	75
			Сумма	47.0	2350	425	21250	4.9	245	3.3	165
CIP-2	Серогумусовая	AY-B-C	0-5	1.7	85	360	18000	13.7	685	10.5	525
			5-10	0.8	40	371	18550	11.7	585	10.2	510
			Сумма	2.5	125	731	36550	25.4	1270	20.7	1035
CIP-3	Торфяно-глеявая	T-G-CG~	0-5	1.7	85	360	18000	13.7	685	10.5	525
			5-10	6.7	335	380	19000	12.8	640	10.7	535
			Сумма	8.4	420	740	37000	26.5	1325	21.2	1060

Шифр	Название	Формула ПП	Глубина, см	¹³⁷ Cs		⁴⁰ K		²³² Th		²²⁶ Ra	
				Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²	Бк/кг	Бк/м ²
СIP-4	Серогумусовая (дерновая) аллювиальная	AY-C~	0-5	2.2	110	370	18500	13.7	685	10.1	505
			5-10	1.6	80	390	19500	12.2	610	10.8	540
			Сумма	3.8	190	760	38000	25.9	1295	20.9	1045
СIP-5	Подзол альфегумусный	O-E- BFH-C	0-5	1.4	70	340	17000	10.2	510	9.3	465
			5-10	3.8	190	530	26500	19.4	970	11.9	595
			Сумма	5.2	260	870	43500	29.6	1480	21.2	1060
СIP-6	Подзол альфегумусный глеевый	O-Eg- BHg-Cg	0-5	131.0	6550	160	8000	5.9	295	6.4	320
			5-10	50.0	2500	350	17500	5.4	270	6.1	305
			Сумма	181.0	9050	510	25500	11.3	565	12.5	625
СIP-7	Серогумусовая (дерновая) аллювиальная	AY-C~	0-5	23.0	1150	310	15500	8.2	410	7.4	370
			5-10	18.0	900	341	17050	6.8	340	7.1	355
			Сумма	41.0	2050	651	32550	15.0	750	14.5	725
PCD-1	Серогумусовая (дерновая) аллювиальная	AY-C~	0-5	4.6	230	232	1150	2.2	110	3.7	185
			5-10	1.2	60	191	100	1.3	65	2.1	105
			Сумма	5.8	290	423	1250	3.5	175	5.8	290
PCD-2	Серогумусовая (дерновая) аллювиальная	AY-C~	0-5	11.8	590	460	21150	19.2	960	13.6	680
			5-10	10.3	515	480	24000	17.3	865	12.0	600
			Сумма	22.1	1105	940	45150	36.5	1825	25.6	1280
PCD-3	Агрогумусовая старопахотная аллювиальная	AYpa-C~	0-5	6.9	345	500	25000	20.2	1010	17.0	850
			5-10	4.3	215	390	19500	11.1	555	9.4	470
			Сумма	11.2	560	890	44500	31.3	1565	26.4	1320
PCD-4	Серогумусовая (дерновая) глееватая	AY-Cg	0-5	4.1	205	400	20000	12.0	600	10.7	535
			5-10	3.7	185	300	15000	9.2	460	8.6	430
			Сумма	7.8	390	700	35000	21.2	1060	19.3	965
PCD-5	Серогумусовая (дерновая) глееватая	AY-Cg	0-5	13.6	680	400	20000	14.3	715	11.9	595
			5-10	8.3	415	398	19900	12.7	635	10.1	505
			Сумма	21.9	1095	798	39900	27.0	1350	22.0	1100
PCD-6	Серогумусовая (дерновая) глеевая аллювиальная	AYg-Cg~	0-5	11.3	565	397	19850	21.4	1070	22.1	1105
			5-10	6.2	310	319	15950	17.6	880	18.7	935
			Сумма	17.5	875	716	35800	39.0	1950	40.8	2040
PCD-7	Агрогумусовая старопахотная аллювиальная	AYpa-C~	0-5	7.3	365	294	14700	18.5	925	19.2	960
			5-10	6.1	305	278	13900	16.2	810	16.5	825
			Сумма	13.4	670	572	28600	34.7	1735	35.7	1785
PCD-8	Серогумусовая аллювиальная	AY-C~	0-5	5.8	290	293	14650	17.1	855	18.2	910
			5-10	4.3	215	281	14050	15.2	760	16.9	845
			Сумма	10.1	505	574	28700	32.3	1615	35.1	1755
KP-1	Подзол супесчаный глеевый	O-Eg- BHg-Cg	0-5	3.5	175	370	18500	4.1	205	3.0	150
			5-10	1.2	60	260	13000	2.3	115	2.5	125
			Сумма	4.7	235	630	31500	6.4	320	5.5	275
KP-2	Подзол супесчаный глеевый	O-Eg- BHg-Cg	0-5	39.0	1950	115	5750	6.4	320	5.2	260
			5-10	115.0	5750	300	15000	22.8	1140	16.0	800

Примечание: O – органогенный горизонт, T – торфяной, AY – серогумусовый, AYpa – агрогумусовый, AYg – серогумусовый с оглеением, E – элювиальный, Eg – элювиальный с оглеением, BF – альфегумусовый, BFH – альфегумусовый с повышенным гумусом, BH – иллювиально-гумусовый, BHg – с оглеением, B – переходный, C – порода, Cg – порода с оглеением, C~ – слоистая аллювиальная, G – глеевый, CG~ – слоистая порода с оглеением, g – признак оглеения, pa – пахотный, ~ – слоистость. Составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Природные радионуклиды (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra) в 60% разрезов не имеют статистически значимых различий между горизонтами, что характерно для почв с однородной минеральной толщей. В подзолах их содержание в слое 5–10 см может в 2–5 раз превышать верхний слой вследствие иллювиального процесса.

Удельная активность ^{137}Cs в слое 0–5 см варьирует от 1,4 до 131 Бк/кг, что значительно расширяет известный ранее диапазон (0,14–24 Бк/кг для острова Ягры [12; 15]). Аномалии в точках СР-6 (131 Бк/кг) и КР-2 (115 Бк/кг) более чем в 5 раз превышают максимальные уровни, отмеченные ранее, что указывает на роль локальных условий аккумуляции (глеевые процессы, органогенные горизонты).

Для 70% точек характерно убывание ^{137}Cs с глубиной (коэффициент снижения 1,5–5). В 30% проб зафиксирована инверсия профиля (СР-5, КР-2, СР-3), связанная с наличием сорбционного горизонта или литологической неоднородностью.

Подзолистые почвы (СР-1, СР-5, СР-6, КР-1, КР-2) имеют максимальную вариабельность ^{137}Cs (3,5–181 Бк/кг суммарно) и минимальные уровни природных радионуклидов. В автоморфных подзолах ^{137}Cs накапливается в верхнем горизонте, в глеевых – в органогенных и иллювиальных горизонтах.

Сравнительный график активности ^{137}Cs представлен на рисунке 2.

Подзолистые почвы (СР-1, СР-5, СР-6, КР-1, КР-2) имеют максимальную вариабельность ^{137}Cs (3,5–181 Бк/кг суммарно) и минимальные уровни природных радионуклидов. В автоморфных подзолах ^{137}Cs накапливается в верхнем горизонте, в глеевых – в органогенных и иллювиальных горизонтах.

Агрогумусовые почвы (РСД-3, РСД-7) имеют чёткую стратификацию: слой 0–5 см обогащён радионуклидами относительно слоя 5–10 см.

Торфяно-глеевая почва (СР-3) демонстрирует инверсию ^{137}Cs при однородном распределении природных радионуклидов – маркер сорбционного барьера.

Матрица корреляций Пирсона (рис. 3) показывает сильную связь между ^{232}Th и ^{226}Ra ($r = 0,93$), подтверждая их общее происхождение из минералов. ^{40}K коррелирует с торием ($r = 0,57$) и радием ($r = 0,41$). ^{137}Cs не имеет значимых связей с природными радионуклидами ($r \approx -0,03 \dots -0,08$), что указывает на независимость его распределения.

Сравнение с данными UNSCEAR показало, что уровни природных радионуклидов не превышают глобального фона: средние значения ^{40}K – 415 Бк/кг, ^{232}Th – 18,4 Бк/кг, ^{226}Ra – 17,9 Бк/кг, что соответствует нижней границе глобального фона. Это подтверждает отсутствие техногенного обогащения почв природными радионуклидами.

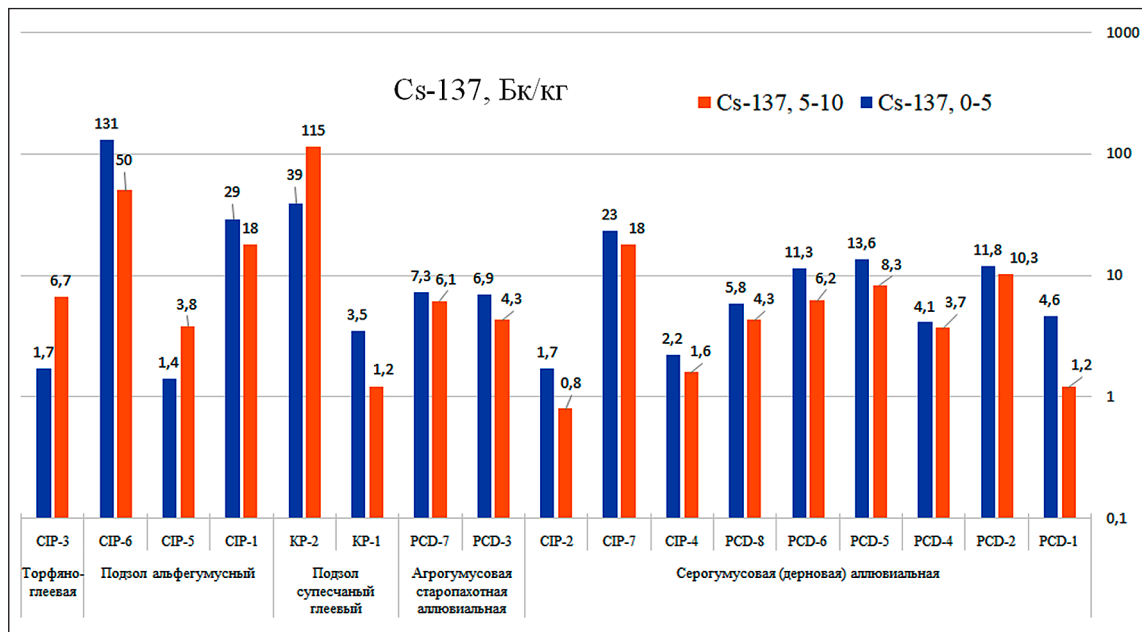


Рис. 2. Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs в почвенных профилях основных генетических типов почв дельты
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

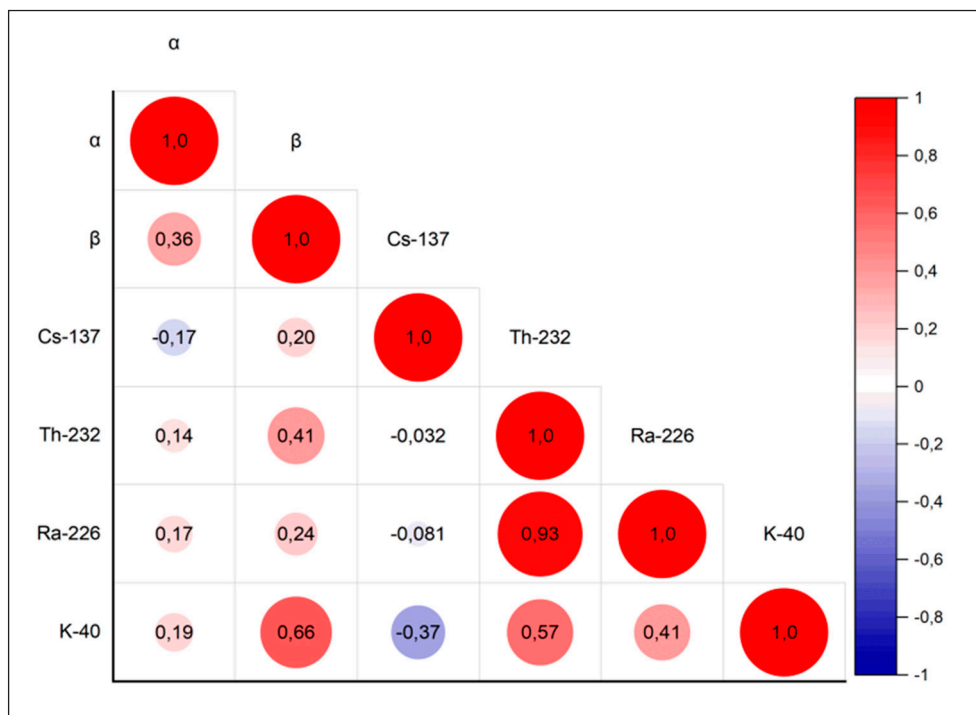


Рис. 3. Матрица коэффициентов корреляции Пирсона между удельными активностями радионуклидов в почвах дельты Северной Двины
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Выводы

1. Удельная активность ^{137}Cs в слое 0-5 см варьирует от 1,4 до 131 Бк/кг, что значительно выше ранее известных значений (0,14-24 Бк/кг).

2. Максимальные запасы ^{137}Cs (до 9,05 кБк/м²) приурочены к глеевым подзолам. В гидроморфных почвах активность цезия-137 в 5-50 раз выше, чем в автоморфных.

3. Выявлены два типа вертикального распределения ^{137}Cs : поверхностно-аккумулятивный (70%) и инверсионный (30%), связанный с иллювиальными процессами и сорбционными барьерами.

4. Средние значения ^{226}Ra (17,9 Бк/кг) и ^{232}Th (18,4 Бк/кг) соответствуют нижней границе глобального фона, территория характеризуется нормальным радиационным фоном.

Полученные результаты имеют прямое практическое значение для организации системы радиоэкологического мониторинга в дельте реки Северная Двина. Результаты исследования могут быть использованы: территориальными органами Росгидромета и Роспотребнадзора; природоохранными организациями Архангельской области; научными учреждениями при создании ре-

гиональных баз данных фонового содержания радионуклидов.

Список литературы

- Наквасина Е. Н., Парина Т. А., Копылова М. В. Почвы лугов островной поймы Северной Двины // Вестник КрасГАУ. 2012. № 11. С. 54-60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochvy-lugov-ostrovnoy-poymy-severnoy-dviny> (дата обращения: 31.03.2026).
- Климовский Н. В., Чернова В. Г., Петракова И. В., Новоселов А. П. Аккумуляция загрязняющих веществ донными отложениями в Двинском заливе Белого моря // Вода: химия и экология. 2017. № 10 (112). С. 3-10. EDN: YUUIYM. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32738901> (дата обращения: 31.03.2026).
- Лещев А. В. Влияние судоходного канала порта Архангельск на перенос взвешенных веществ в зоне смешения «река-море» устья реки Северной Двины // Проблемы региональной экологии. 2018. № 2. С. 17-21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sudohodnogo-kanala-porta-arhangel'sk-na-perenos-vzveshennyh-veschestv-v-zone-smesheniya-reka-more-ustya-reki-severnoy-dviny/viewer> (дата обращения: 31.03.2026).
- Котова Е. И., Коробов В. Б., Шевченко В. П., Иглин С. М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // Успехи современного естествознания. 2020. № 5. С. 121-129. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37402> (дата обращения: 31.03.2026). DOI: 10.17513/use.37402.
- Неверова Н. В., Чупаков А. В. Оценка загрязнения устьевой области реки Северной Двины методом расчета фоновых концентраций (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni) // Морской биологический журнал. 2021. Т. 6. № 4. С. 51-67. DOI: 10.21072/mbj.2021.06.4.05. EDN: IXVZLN. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47286178> (дата обращения: 31.03.2026).

6. Красницкий В. М., Бобренко И. А., Шмидт А. Г., Матвейчик О. А. Агроэкологический мониторинг почв на правом берегу Иртыша лесостепной зоны Омской области // Плодородие. 2016. № 3 (90). С. 33–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agroekologicheskiy-monitoring-pochv-na-pravom-beregu-irtysha-lesostepnoy-zony-omskoy-oblasti> (дата обращения: 31.03.2026).
7. Kriauciunas V., Iglovsky S., Bazhenov A., Kuznetsova I., Shakhova E., Druzhinin S. ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra in bottom sediments of the Dvina Bay on the White Sea (the Suhoie Sea Gulf) // Arctic Environmental Research. 2018. Vol. 18. № 4. P. 148–154. DOI: 10.3897/issn2541-8416.2018.18.4.148. URL: <https://aer.pensoft.net/article/31853/> (дата обращения: 31.03.2026).
8. Баженов А. В., Крячюнас В. В., Игловский С. А. Результаты исследования цезия-137 в почвах окрестностей городских агломераций Архангельска, Северодвинска и Новодвинска // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 90–95. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36888> (дата обращения: 07.03.2026). EDN: YLXXZZ.
9. Аникина Н. А., Крышев А. И. Расчет обобщенных показателей радиационно-экологического риска для районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 274–285. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285. URL: <https://journals.rudn.ru/ecology/article/view/41275> (дата обращения: 31.03.2026).
10. IAEA. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006. URL: <https://www.iaea.org/publications/7382/environmental-consequences-of-the-chernobyl-accident-and-their-remediation-twenty-years-of-experience> (дата обращения: 31.03.2026).
11. Лурье А. А., Кубасова М. С. Современное состояние содержания ^{137}Cs в компонентах лесных биоценозов Архангельской области // АНРИ. 2015. № 1(80). С. 41–47. EDN: TJLCOT. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23005400> (дата обращения: 31.03.2026).
12. Лапиков П. И., Яковлев Е. Ю., Лапикова А. Т. Оценка содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвах дельты реки Северная Двина (на примере острова Ягры) // Успехи современного естествознания. 2025. № 1. С. 43–49. DOI: 10.17513/use.38369. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38369> (дата обращения: 31.03.2026).
13. Гордеев В. В., Коченкова А. И., Лохов А. С., Яковлев А. Е., Белоруков С. К., Федулов В. Ю. Сезонные и межгодовые вариации концентраций и стоков растворенных и взвешенных форм органического углерода, железа и марганца Северной Двины в Белое море // Океанология. 2021. № 1 Т. 61. С. 41–55. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?doi=10.31857/S0030157421010068> (дата обращения: 31.03.2026).
14. Министерство природных ресурсов и экологии Архангельской области. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2024 год». Архангельск, 2025. 555 с. URL: <https://eco29.ru/informatsionnyerekursy-/ekologiya-oblasti/2024/> (дата обращения: 31.03.2026).
15. Коробов В. Б., Шевченко В. П., Котова Е. И. Нерешенные задачи исследования устьевой области Северной Двины // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 2. С. 125–138. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).6. EDN: RBNEBY. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49622488> (дата обращения: 31.03.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена в рамках ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 125022002727-2.

Financing: The work was supported by the Research and Development Program “Features of Element and Isotope Migration in Environmental Components of the Western Sector of the Russian Arctic under Climate and Technogenic Change” № 125022002727-2.



РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКАРНОИДОВ ДАХОВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВЫСТУПА (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

Латун С. В., Попов Ю. В. ORCID ID 0000-0002-0216-5998

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация,
e-mail: latun@sfedu.ru*

Даховское кристаллическое поднятие, расположенное на тектонически раздробленном фланге Бечасынской тектонической зоны Большого Кавказа, характеризуется сложным геологическим строением и петрографическим разнообразием слагающих его горных пород. Целью работы является изучение обнаруженных на северном контакте поднятия не описанных ранее гранат-амфибол-пироксеносодержащих горных пород. По результатам рентгенофазовых и электронно-зондовых исследований приведена их минералого-петрографическая характеристика. Основная масса породы состоит из микрокристаллического агрегата альбита-олигоклаза и пироксена авгитового состава. Порфириобластовые сростания образованы гранатом с преобладанием альмандинового (43–52%) и гроссулярового (26–28%) компонентов, амфиболами переменного состава Na-Ca и Ca подгрупп (от магнезиогастингситового до эденитового состава), хлоритом. Акцессорными минералами являются рутил, титанит (иногда образующий оторочки вокруг рутила), апатит. Порода имеет контактово-метасоматическое происхождение – является скарноидом, образованным за счет воздействия на амфиболиты гранитоидной интрузии. Приведена (по данным прецизионных измерений) геохимическая характеристика скарноида, включая особенности распределения редкоземельных элементов; относительно базальтов срединно-океанических хребтов отмечается наличие Eu аномалии, относительно континентальной земной коры – обогащенность тяжелыми редкими землями. В породе присутствует рассеянная рудная сульфидная минерализация, в составе которой присутствуют сульфиды серебра, нехарактерные для гидротермальных минеральных ассоциаций Даховского поднятия.

Ключевые слова: скарноид, Даховский выступ, контактовый метасоматоз

Благодарности: Авторы выражают глубокую благодарность доктору геолого-минералогических наук, профессору Хардикову Александру Эдуардовичу за помощь и конструктивную критику работы.

RESULTS OF MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL STUDIES OF SKARNIDS FROM THE DAKHOVSKY CRYSTALLINE LEDGE (GREATER CAUCASUS)

Latun S. V., Popov Yu. V. ORCID ID 0000-0002-0216-5998

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Southern Federal University”, Rostov-on-Don, Russian Federation,
e-mail: latun@sfedu.ru*

The Dakhovsky crystalline ledge, located on the tectonically fragmented flank of the Bechasyntectonic zone of the Greater Caucasus, is characterized by a complex geological structure and petrographic diversity of its constituent rocks. The aim of this work is to study previously undescribed garnet-amphibole-pyroxene-bearing rocks discovered at the northern contact of the ledge. Based on the results of X-ray diffraction and electron probe microanalysis, their mineralogical and petrographic characteristics are presented. The groundmass of the rock consists of a microcrystalline aggregate of albite-oligoclase and augitic pyroxene. Porphyroblastic intergrowths are composed of garnet with a predominance of almandine (43–52%) and grossular (26–28%) components, amphiboles of variable composition belonging to the Na-Ca and Ca subgroups (ranging from magnesio-hastingsite to edenite compositions), and chlorite. Accessory minerals include rutile, titanite (sometimes forming rims around rutile), and apatite. The rock is of contact-metasomatic origin — it is a skarnoid formed by the effect of a granitoid intrusion on amphibolites. The geochemical characteristics of the skarnoid, including the distribution patterns of rare earth elements (based on high-precision measurements), are presented; relative to mid-ocean ridge basalts (MORB), a Eu anomaly is noted, and relative to the continental crust, enrichment in heavy rare earth elements is observed. The rock contains disseminated ore sulfide mineralization, including silver sulfides, which are uncharacteristic of the hydrothermal mineral assemblages of the Dakhovsky ledge.

Keywords: skarnoids, Dakhovsky ledge, contact metasomatism

Acknowledgements: The authors express their deep gratitude to Alexander Eduardovich Khardikov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, for his assistance and constructive criticism of the work.

Введение

Даховский выступ кристаллических пород приурочен к Бечасынской тектонической зоне, соответствующей перекрытому ниже-среднеюрским осадочным челом краю эпигерцинской Скифской плиты, вовлеченному в альпийское поднятие Большого Кавказа. Выступ ограничен крупными разломами (с юга отделен от Пшекиш-Бамбакского блока Пшекиш-Тырныаузской шовной зоны Северным разломом), интенсивно дислоцирован и может рассматриваться как фрагмент тектонического шва [1, 2]. Это, наряду с петрографическим разнообразием слагающих его пород, их интенсивной метасоматической переработкой и плохой обнаженностью, осложняет анализ геолого-генетических особенностей формирования образующих его комплексов, оставляя дискуссионными ряд ключевых вопросов его геологии [3 и др.], включая характер взаимоотношений разновозрастных интрузивов с вмещающими породами.

Даховский выступ образован гнейсо-амфиболитовой толщей и внедренными в нее средне- и позднепалеозойскими гранитоидами [4]. Среднепалеозойский даховский плагиогранит-диоритовый плутонический комплекс обнажен фрагментарно, его породы в современной структуре имеют тектонический контакт с амфиболитовой толщей на северном фланге поднятия. Позднепалеозойский гранитовый плутонический комплекс, относимый к «малкинским гранитам» [5], объединяет раннюю гранодиоритовую фазу и позднюю гранитную фазу малых интрузивных тел. С последней связан площадной щелочной калиевый метасоматоз, локальное развитие грейзенизации и более низкотемпературные гидротермальные процессы. В последние годы опубликовано несколько работ, указывающих на возможность присутствия в составе гранитоидного массива не описанных ранее пород [6, 7]. На северном краю массива, в составе меланжевой зоны, присутствуют небольшие по мощности пластины и линзы альпинотипных апогарцбургитовых гипербазитов [8, 9].

Наряду с широко распространенными горными породами вышеотмеченных комплексов в составе массива присутствуют и достаточно «экзотические» для них образования, например базификаты пренит минерального состава [10], предполагаемые монзониты, преобразованные в аляскиты [7], и др. К числу таких пород можно отнести и обнаруженные авторами среди коллювия в междуречье рек Сюк и Липовая

и в отвалах штолен Белореченского баритового месторождения (то есть приуроченные к раздробленному северному флагу массива) гранат- и пироксенсодержащие породы.

Ранее в сходных геологических условиях (в ассоциации с серпентинитами) исследователями описывались родингиты [10, 11] и их разновидности – хлограпиты [12], а также высокобарические гранатовые амфиболиты. Это позволяет предполагать генетическую связь изученных пород с данными образованиями и требует проведения верификации.

Цель исследования – на основе комплекса минералого-петрографических и геохимических данных охарактеризовать впервые обнаруженные в составе Даховского выступа гранат- и пироксенсодержащие породы и установить их генетическую природу.

Материалы и методы исследования

Объектом изучения послужили образцы неравномернокристаллической породы, сложенной зеленовато-серой микрокристаллической основной массой, среди которой присутствуют многочисленные гломеробластовые буровато-черные кристаллические сростания (рис. 1, а). В гломеробластовых сростках иногда отмечается зональное строение – в центральной их части расположены мелкие буроватые зерна (граната?), окруженные агрегатом темноцветных минералов. В горной породе незакономерно рассеяны рудные минералы.

Микрокристаллическое сложение горной породы и необходимость получения данных об особенностях состава минералов требуют применения комплекса инструментальных методов анализа. Минеральный состав изучен с применением качественного рентгенофазового анализа и электронно-зондовых исследований с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 (с медным излучением анода) и растрового электронного микроскопа Tescan Vega LMU II, интегрированного и системой EDX-микроанализа INCA Energy 450. Элементный состав охарактеризован по результатам рентгенофлуоресцентного анализа (силикатного анализа) на спектрометре Axios Advanced и масс-спектрометрии, проведенной на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN-DRC.

Основной объем измерений выполнен в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета.

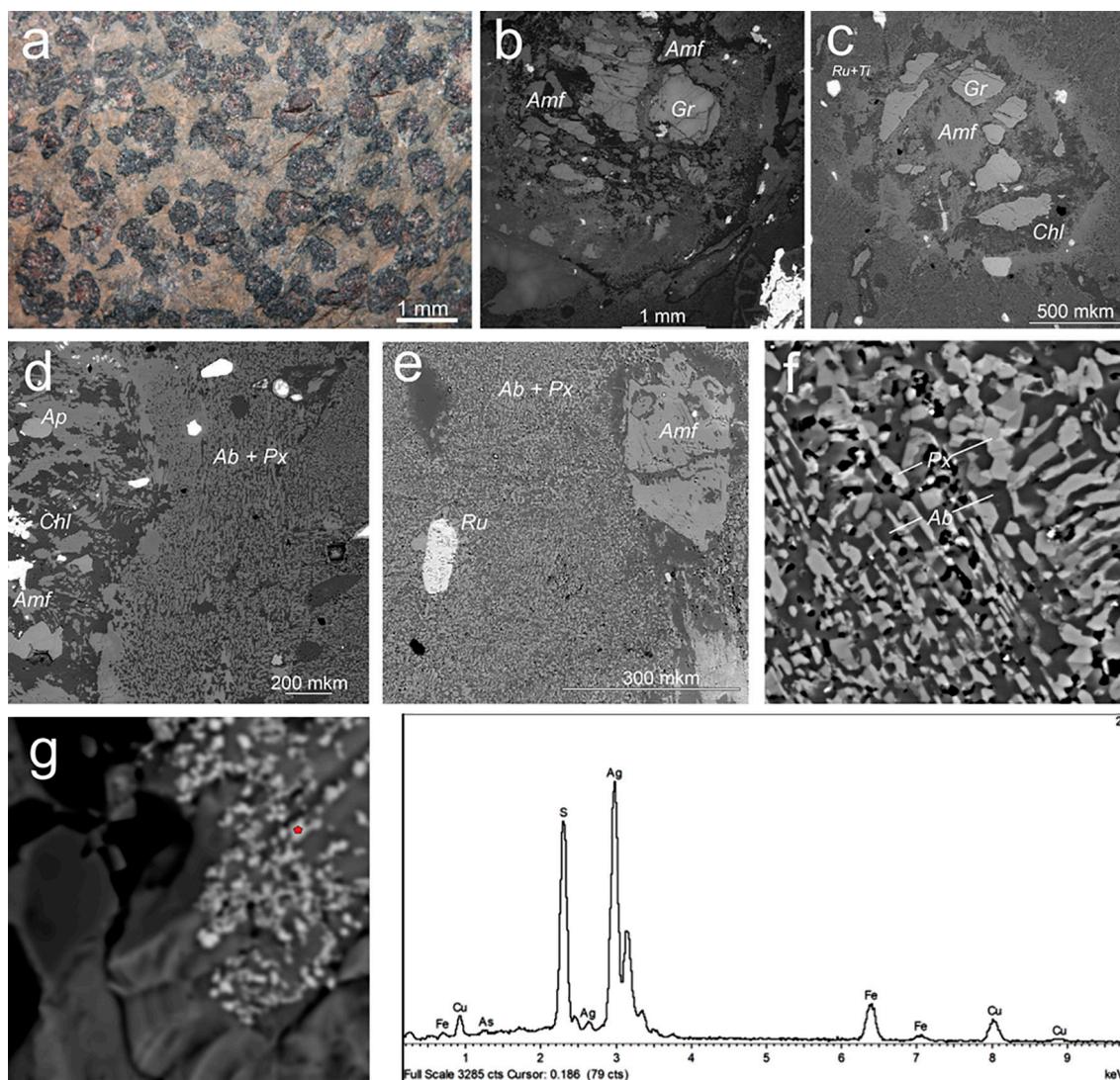


Рис. 1. Структура изучаемой горной породы: а – внешний вид, б, с – участки с порфиробластовой структурой, d, e – неоднородная текстура, f – мозаичная структура основной массы, g – сульфиды серебра в халькопирите и их спектр EDX
 Обозначения минералов: Ab – альбит, Amf – амфибол, Ap – апатит, Gr – гранат, Chl – хлорит, Px – пироксен, Ru – рутил, Ti – титанит
 Примечание: составлена авторами по результатам данного исследования

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа образцов изучаемой горной породы указывают на присутствие в качестве породообразующих минералов (рис. 2) амфиболов, близких по кристаллоструктурным параметрам к фазе магнезиогорнблендита (наблюдаемые основные рефлексы соответствуют межплоскостным расстояниям $d \sim 8,34; 2,70; 3,10 \text{ \AA}$), пироксенов со структурным типом диопсида ($d \sim 2,98; 2,59; 2,70 \text{ \AA}$), плагиоклазов альбит-олигоклазового состава

($d \sim 3,18; 4,03; 3,21$), хлорита ($d \sim 2,69; 14,19 \text{ \AA}$), в ряде образцов присутствуют рефлексы структурно сходного с андрадитом граната ($d \sim 1,60 \text{ \AA}$).

Структура породы неоднородная (рис. 1). В основной зеленовато-серой массе она массивная гранобластовая, образована мозаичными тонкими срастаниями кристалликов (размером $\sim 5\text{--}10 \text{ мкм}$) кислого плагиоклаза и пироксена (рис. 1, d, e, f). Плагиоклазы микрокристаллической ткани породы по составу соответствуют альбиту – олигоклазу (рис. 3, d). Пироксены по составу мало изменяются и соответствуют авгиту (рис. 3, b).

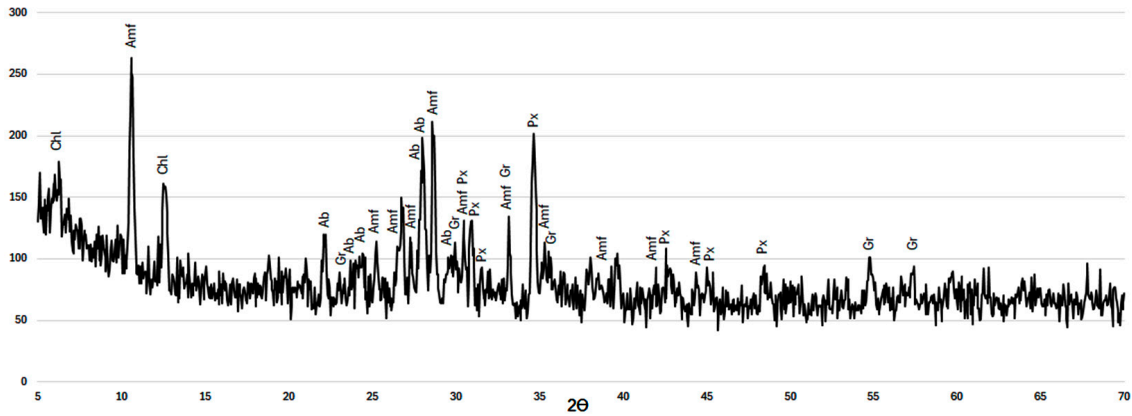


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа изучаемой породы
 Обозначения минеральных фаз: Ab – альбит, Amf – амфибол,
 Gr – гранат, Chl – хлорит, Px – пироксен
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

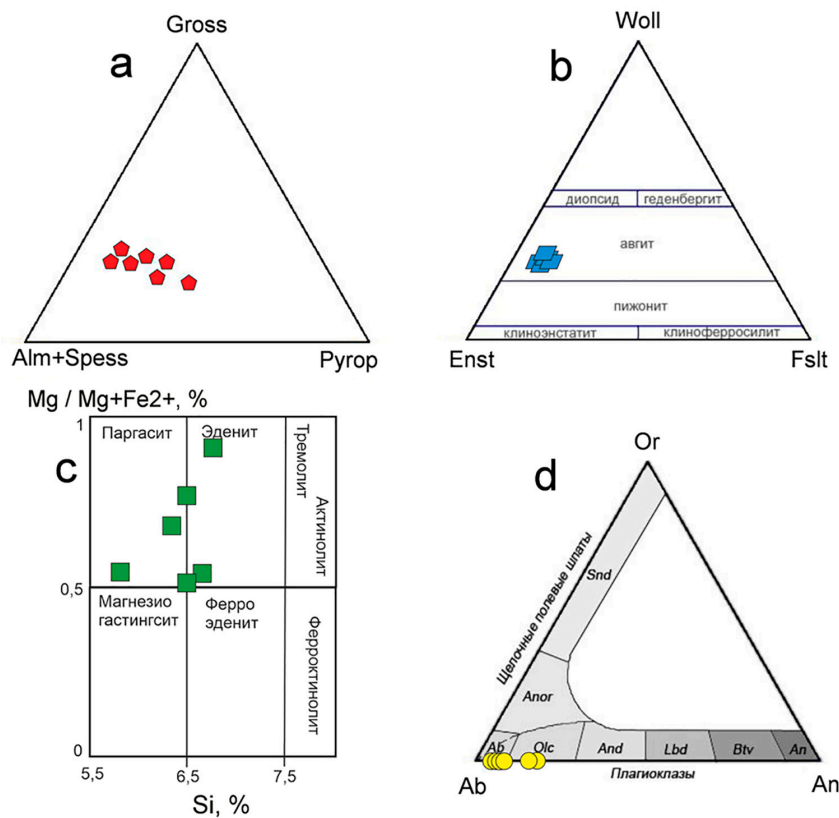


Рис. 3. Особенности состава породообразующих минералов:
 a – гранатов, b – пироксенов, c – амфиболов, d – плагиоклазов
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Порфиробластовые агрегаты меланократовых минералов нередко имеют выраженные шестиугольные очертания, типичные для сечений кристаллов роговых обманок (рис. 1, a). Сложены они сростаниями амфибола, граната, хлорита, ильменита, титанита (рис. 1, b, c). Амфиболы по составу измен-

чивы: их характеристики меняются от собственных представителям подгруппы Na-Ca амфиболов до Ca амфиболов (рис. 3, c), варьируя в диапазоне от магнезиогастингсита до эденита (содержание $K+Na \geq 0,5$ ф. е.). Такие вариации, видимо, связаны с метасоматическими преобразованиями в породе

и нарушением состава при гидротермальных низкотемпературных наложенных изменениях. Отмечается сходство составов амфиболов из изучаемой породы и амфиболов из диоритов даховского плагиогранит-диоритового плутонического комплекса [13]. Гранаты принадлежат к уграндитам, изменчивы по составу (рис. 3, а), но в их составе всегда преобладает альмандиновый компонент: содержание альмандинового минала меняется в интервале ~ 43–52%, пиропового – 12–28%,grossулярового – 26–28%, иногда отмечается повышенное содержание спессартинового минала – до 8%. В зернах гранатов нередки мелкие вроски титанита. Акцессорными минералами являются рутил, титанит (иногда образующий оторочки вокруг рутила), апатит. Рудные минералы представлены пиритом и халькопиритом, в составе последнего присутствуют мышьяк ($\leq 0,3$ мас. %) и кобальт ($\leq 0,1$ мас. %). В ассоциации с халькопиритом отмечается присут-

ствие сульфида серебра (аргентита или акантита) (рис. 2, g), состав которого уверенно не измеряется из-за очень малых размеров. Нужно отметить, что присутствие сульфидов серебра нехарактерно для гидротермальных минеральных ассоциаций Даровского выступа [14, 15]. Порода пересекается тонкими прожилками кварц-карбонатного состава.

Структурно-текстурные особенности породы указывают на ее образование контактово-метасоматическим путем за счет амфиболитового протолита в ходе интенсивного основного метасоматоза.

В плане химического состава порода обогащена основными элементами при достаточно низком содержании кремнезема и щелочей (табл. 1), наличием выраженного Eu минимума в спектре распределения редкоземельных элементов (REE) и обогащенностью тяжелыми REE относительно среднего состава континентальной коры (табл. 2, рис. 4).

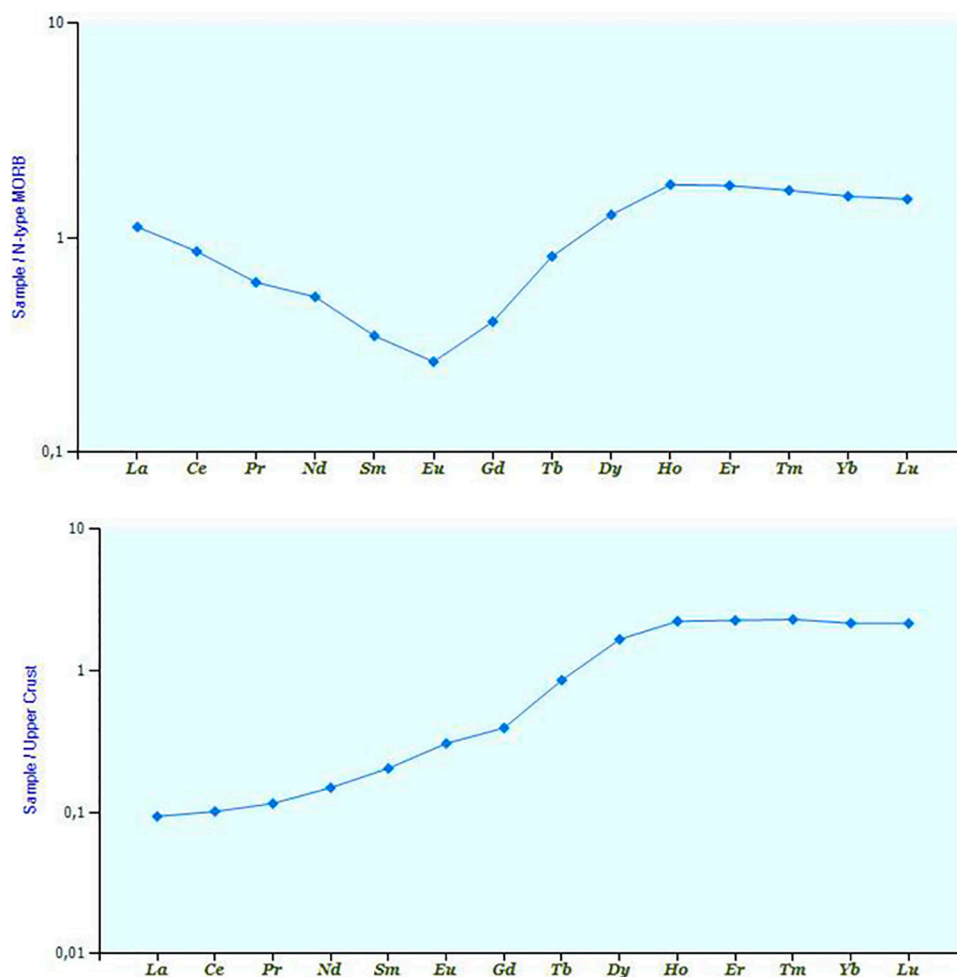


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов (REE) в породе
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Результаты силикатного анализа породы (в мас. %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
41,56	17,20	2,34	19,51	0,45	6,52	9,03	1,80	0,61	0,55	0,42

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 2

Содержание элементов в породе (ppm)

Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
15,5	< 1	40,9	235	66,8	39,5	33,9	51,4	98,5	11,9
As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd
7,91	0,70	12,2	236	45,3	35,8	4,52	<0,6	0,042	0,12
Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
0,85	0,23	< 0,5	3,55	67,6	2,81	6,49	0,82	3,88	0,92
Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
0,27	1,50	0,55	5,83	1,79	5,21	0,76	4,77	0,69	1,18
Ta	W	Re	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	
0,24	0,51	< 0,005	0,029	< 0,1	1,04	< 0,1	0,48	<0,1	

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Заключение

Обнаруженные в северной приконтактной зоне Даховского кристаллического поднятия гранат-пироксен-амфиболовые породы являются контактово-метасоматическими базификатами, образованными за счет воздействия на амфиболиты герцинских гранитоидных интрузий, и могут быть определены как скарноиды. Отсутствие наблюдаемых магматических контактов с интрузивами и геохимической характеристики их пород не позволяют уверенно указать состав контактирующих магматических пород. Однако отсутствие признаков кремнещелочного метасоматоза, типичного для калиевых гранитоидов поздних фаз внедрения, сходство составов амфиболов из диоритов и скарноидов, наличие признаков структурных и минеральных преобразования амфиболитов вблизи контактов с диоритами позволяют предполагать взаимодействие с последними.

В металлогеническом плане обращает на себя внимание присутствие в рудной ассоциации нехарактерного для гидротермальных минеральных ассоциаций выступа сульфида серебра.

Впервые полученные данные о содержании и особенностях распределения малых элементов позволят (при получении анало-

гичных данных для других пород выступа) уточнить состав протолита и особенности перераспределения химических элементов в ходе метасоматоза.

Список литературы

1. Ненахов В. М., Жабин А. В., Никитин А. В., Бондаренко С. В. Внутреннее строение тектонической зоны северного обрамления Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 1. С. 5–14. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geo/2019/01/2019-01-01.pdf> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Полигоны учебных геологических практик вузов России: сборник статей. Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет, 2023. 272 с. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_61327207_64667642.pdf (дата обращения: 03.03.2026). EDN: PVDYNB. ISBN 978-5-9275-4506-3.
3. Рубан Д. А. Геологические исследования в Горной Адыгее. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2024. 149 с. ISBN 978-5-6051261-8-8.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L – 37 – XXXV. Майкоп. Объяснительная записка. 2004. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/maps/8226> (дата обращения: 03.03.2026).
5. Снежко В. А., Снежко В. В., Шарпенко Л. Н. Малкинский гранит-лейкогранитовый плутонический комплекс (Северный Кавказ) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 5–20. URL: https://karpinskyinstitute.ru/public/reggeology_met/content/2021/85/85_01.pdf (дата обращения: 03.03.2026).
6. Ненахов В. М., Жабин А. В., Жаворонкин В. И., Ильин В. В., Чеботарева Л. С. Вещественные особенности, петрофизические свойства и геодинамические условия формирования гранитоидов Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2021. № 2. С. 4–21. DOI: 10.17308/geology.2021.2/3484.

7. Рубан Д. А., Зорина С. О., Никашин К. И., Таххан Ф. Новые данные о позднепалеозойских гранитоидах Руфагинского кристаллического массива Горной Адыгеи // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-dannye-o-pozdnepal-eozoyskih-granitoidah-rufabginskogo-kristallicheskogo-mas-siva-gornoy-adygei> (дата обращения: 03.03.2026).
8. Попов Ю. В., Пустовит О. Е. Серпентиниты западной части зоны Передового хребта Большого Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. № 1 (27). С. 44–54. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48704022_66093118.pdf (дата обращения: 03.03.2026). DOI: 10.25744/genb.2022.72.53.005. EDN: BVVJNZ.
9. Пустовит О. Е. Типохимизм хромшпинелидов серпентинитов зоны Передового хребта Большого Кавказа // Материалы международных Саптаевских чтений «Саптаевские чтения – 2021». Алматы: КазНИТУ имени Саптаева, 2021. Том. I. С. 128–131. URL: <https://official.satbayev.university/download/document/20338/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%A7%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%202021%20-%201%20%D1%82%D0%BE%D0%BC.pdf> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 978-601-323-247-8.
10. Труфанов В. Н., Попов Ю. В., Цицуашвили Р. А., Труфанов А. В., Гончаров А. Б. Родингиты даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 5 (165). С. 73–77. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17063910_78603799.pdf (дата обращения: 03.03.2026). EDN: OJKQSH.
11. Попов Ю. В., Бураева Е. А., Цицуашвили Р. А. Удельная активность ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 115–119. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34366> (дата обращения: 03.03.2026).
12. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А. Родингиты и хлограптиты: сходство, различие, роль в металлогеническом анализе, прогнозировании и поисках золотого оруденения // Уральская минералогическая школа – 2008 «Минералогия ультрабазит-базитовых комплексов». Екатеринбург, 2008. С. 56–60. URL: <http://i.uran.ru/nasledie/content/rodingity-i-hlograpity-shodstvo-razlichie-rol-v-metallogenicheskom-analize-prognozirovani-i> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 5-94332-079-8.
13. Заентина А. В., Савельев Г. М. Амфиболы пород Даховского массива (Большой Кавказ) // Практика геологов на производстве. Сборник трудов IV Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Ю. А. Жданова. 2019. С. 88–91. URL: <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/19239/188.pdf?sequence=1> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 978-5-9275-3448-7.
14. Пеков И. В., Левицкий В. В., Кривовичев В. Г. Минералогия Белореченского месторождения (Северный Кавказ, Россия) // Минералогический альманах. 2010. Т. 15. Вып. 2. 96 с. ISBN 5-900395-28-6.
15. Долженко И. В. Кварц-карбонатные породы на контактах серпентинитов Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Практика геологов на производстве. Сборник трудов VII всероссийской студенческой научно-практической конференции. Ростов-на-Дону – Таганрог. 2022. С. 131–133. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50781604_73019997.pdf (дата обращения: 03.03.2026). DOI: 10.18522/801309206. ISBN 978-5-9275-4290-1.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

СТАТЬЯ

УДК 622.7:54
DOI



CC BY 4.0

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ
НА СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ
МОНТМОРИЛЛОНИТОВЫХ И КАОЛИНИТОВЫХ ЧАСТИЦ**

¹Тютрина С. В. ORCID ID 0000-0001-7559-7057,

¹Мясникова Н. В. ORCID ID 0000-0002-5235-4658,

²Ахметшин Б. С. ORCID ID 0000-0002-8849-402X

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация, e-mail: lana-2001@yandex.ru;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Российская Федерация

Цель исследования – разработать оптимальный режим комплексного физико-химического воздействия на процесс осаждения дисперсных частиц каолинита и монтмориллонита. Изучено влияние ультразвуковых колебаний в режиме стоячей волны в сочетании с флокулянтами на сорбционную активность дисперсных водных систем монтмориллонита и каолинита. Объектом исследования были сточные и оборотные воды артели «Бальджа». Мелкодисперсный ил и частицы силикатов накапливаются в отстойниках, что усложняет процесс промывки золотосодержащих песков. Использование полиэлектролитов способствует увеличению вязкостных характеристик из-за остаточных концентраций. Предлагается использовать комбинированное воздействие акустических колебаний и полиэлектролитов для снижения реологических параметров технической воды и увеличения скорости флокуляции. Воздействие ультразвуком на дисперсии монтмориллонита и каолинита приводит к увеличению площади поверхности частиц и повышению сорбционной активности. Диапазон частот ультразвука от 20 до 30 кГц оптимален для дисперсных химических систем, претерпевающих химические и физические изменения. Полученные флокулы монтмориллонита и каолинита исследовали в проходящем свете с помощью поляризационного микроскопа ZEISS AXIO Scope A1 в иммерсионных каплях диаметром до 10 мм. Режим фотосъемки осуществлялся в соответствии с программой Axio Vision Rel 4.8. Исследование мутности сточных и оборотных вод исследуемых объектов до воздействия на твердую фазу акустических колебаний и после воздействия в сочетании с флокулянтами проводилось на нефелометре, работающем в режиме мутномера. Степень осветления составила 88 %. Низкочастотный ультразвук облегчает отделение твердых частиц от суспензии, уменьшает наличие воды в межслоевом пространстве и способствует концентрированию во время обработки. Доказано, что частицы монтмориллонита лучше всего подвергаются воздействию ультразвуковых колебаний из-за наличия слабых коагуляционных мостиков.

Ключевые слова: монтмориллонит, каолинит, флокуляция, ультразвуковые колебания, дисперсная система

**THE EFFECT OF THE ULTRASONIC FIELD ON THE SORPTION CAPACITY
OF MONTMORILLONITE AND KAOLINITE PARTICLES**

¹Tyutrina S. V. ORCID ID 0000-0001-7559-7057,

¹Myasnikova N. V. ORCID ID 0000-0002-5235-4658,

²Akhmetshin B. S. ORCID ID 0000-0002-5235-4658

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “National Research University Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russian Federation, e-mail: lana-2001@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa University of Science and Technology”, Ufa, Russian Federation

The purpose of the study: to develop an optimal regime of complex physico-chemical effects on the deposition of dispersed particles of kaolinite and montmorillonite. The effect of ultrasonic vibrations in the standing wave mode in combination with flocculants on the sorption activity of dispersed aqueous systems of montmorillonite and kaolinite has been studied. The object of the study was wastewater and recycled water from the Baldzha artel. Fine silt and silicate particles accumulate in the settling tanks, which complicates the process of washing gold-bearing sands. The use of polyelectrolytes on a constant basis contributes to an increase in viscosity characteristics due to residual concentrations. It is proposed to use the combined effect of acoustic vibrations and polyelectrolytes to reduce the rheological parameters of process water and increase the flocculation rate. The effect of ultrasound on montmorillonite and kaolinite dispersions leads to an increase in the surface area of the particles and an increase in sorption activity. The ultrasound frequency range from 20 to 30 kHz is optimal for dispersed chemical systems undergoing chemical and physical changes. The obtained montmorillonite and kaolinite floccules were examined in transmitted light using a ZEISS AXIO Scope A1 polarization microscope in immersion droplets up to 10 mm in diameter. The photographing mode was carried out in accordance with the Axio Vision Rel 4.8 program. The turbidity of wastewater and recycled water of the studied objects before exposure to the solid phase of acoustic vibrations and after exposure in combination with flocculants was carried out on a nephelometer operating in the turbidity meter mode. The degree of lightening was 88 %. Low-frequency ultrasound facilitates the separation of solid particles from the suspension, reduces the presence of water in the interlayer space and promotes concentration during processing. It has been proven that montmorillonite particles are best exposed to ultrasonic vibrations due to the presence of weak coagulation bridges.

Keywords: montmorillonite, kaolinite, flocculation, ultrasonic vibrations, dispersed system

Введение

Известно, что разработка глинистых золотосодержащих месторождений приводит к значительному накоплению мелких силикатных примесей, ионов тяжелых металлов и органических примесей, особенно если доля мелкодисперсного чистого золота очень высока. Эффективность улавливания дисперсного золота напрямую зависит от изменений реологических параметров технологической воды, используемой на производстве [1, 2]. Для силикатных суспензий процесс структурообразования нежелателен, поскольку он уменьшает массу золотых зерен, способных к осаждению в шлюзах. Увеличение вязкости и предельного напряжения сдвига, вызванное присутствием коллоидных частиц кремниевой кислоты, способствует усилению адгезионных свойств по отношению к силикатам [1]. Обратные воды подвергаются циклическому очищению с использованием флокулянтов, избыток которых постепенно накапливается и приводит к значительному усилению вязкости [2, 3]. Использование ультразвука стимулирует эффект расслаивания, способствуя значительному уменьшению размера частиц глины и предотвращая их структурообразование. Известно, что каолинит и монтмориллонит являются глинами с небольшой площадью поверхности из-за сложности их расслаивания [4, 5]. В связи с этим их сорбционная способность ограничена, что влияет на скорость процесса флокуляции. Для увеличения площади контакта илисто-глинистой фазы и полиэлектролитов и уменьшения размера частиц предлагается использование акустических колебаний в режиме стоячей волны. Ультразвуковые волны приводят к изменению площади исходных макроскопических материалов, в результате чего образуются нанометрические хлопья, способные сохранять структуру материала.

Цель исследования – разработать оптимальный режим комплексного физико-химического воздействия на процесс осаждения дисперсных частиц каолинита и монтмориллонита.

Материалы и методы исследования

Работы проводились на золотоносном месторождении артели «Бальджа», расположенном на юге Забайкальского края. Наличие мелкодисперсных илисто-гли-

нистых частиц в оборотных водах объекта исследования варьирует в пределах от 1400 до 40000 г/м³ и относится к слоистым и слоисто-ленточным силикатам алюминия, железа и магния. Глинистые частицы месторождения характеризуются значительным содержанием мелких фракций (менее 5 мкм), являются трудноосаждаемыми и мелкодисперсными [6]. Минеральный состав включает каолинит в виде гексагональных пластин, монтмориллонит в форме расплывчатых аморфных микроагрегатов и небольшие количества палыгорскита. Согласно СанПиН 2.1.5.980-00 и СанПиН 2.1.3684-21, фоновая концентрация взвешенных веществ в среднем по месторождению не должна превышать 40,75 г/м³ [6]. Использован коммерческий флокулянт, состоящий из анионных полиакриламидных высокомолекулярных полимеров (15×106), марка А-155 компании «Химэнерго». Флокулянт готовили в виде 0,3 масс. % раствора путем взвешивания 1,5 г сухих гранул, растворение проводили в 500 мл дистиллированной воды. Раствор постоянно перемешивали в течение 30 мин шестилопастной мешалкой при 400 об/мин, затем уменьшали до 300 об/мин и снова перемешивали в течение 2 ч, после чего полученный раствор оставляли на ночь.

Фотографии образцов были получены с помощью поляризационного микроскопа ZEISS AXIO Scope A1, работающего в режиме проходящего света, были созданы иммерсионные капли диаметром до 10 мм. Изображения были обработаны в соответствии с программой Axio Vision Rel 4.8. С помощью ротационного вискозиметра BGD 152/2S и концентрационного фотоэлектрического фотометра КФК-3-01 (ЗОМЗ), работающего в режиме мутномера в диапазоне волн 315-650 нм изучались вязкостные характеристики объекта и его оптическая плотность. Изучена электрофоретическая подвижность частиц, проведен химический и аналитический анализ, разработан полупромышленная ультразвуковая установка. В основу установки вошел генератор низких частот, вольтметр с усилителем сигналов, магнитострикционный преобразователь с волноводом. Использовался режим ждущей развертки на осциллографе для поддержания стоячей волны, флокулянт подавался в систему через дозатор, полученный продукт отводился в специализированную камеру.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Обработка ультразвуком в режиме стоячих волн не вызывает аморфизации частиц глины и дополнительно влияет на усиление специфических сдвигов между соседними слоями с последующим увеличением доли случайных перемещений между ними [7]. Время ультразвуковой обработки дисперсных систем монтмориллонита и каолинита для достижения FUC 82,75 % составило

3,5 мин. Без ультразвукового- воздействия на систему показатель свободной флокуляции (FUC) составляет 5,78 %. Ультразвуковая стоячая волна с частотой 25–30 кГц расщепляет полимерные цепочки флокулянта на более короткие фрагменты и способствует дополнительному выделению воды из концентрата. Зависимость скорости осаждения от концентрации флокулянтов без озвучивания системы и при воздействии ультразвука показана на рис. 1.

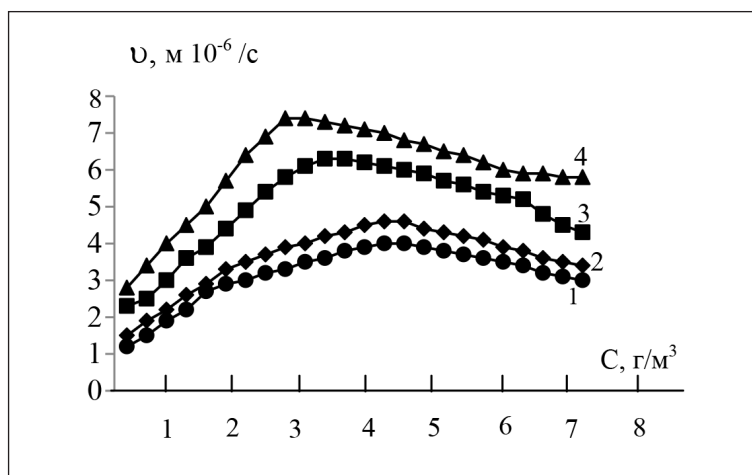


Рис. 1. Зависимость скорости седиментации глинистых частиц от концентрации полиэлектролита; 1 – каолинит без ультразвука, 2 – монтмориллонит без ультразвука, 3 – каолинит с ультразвуком, 4 – монтмориллонит с ультразвуком
Примечание: составлен авторами по результатам фотоколориметрического исследования на фотометре КФК-3-01 (ЗОМЗ)

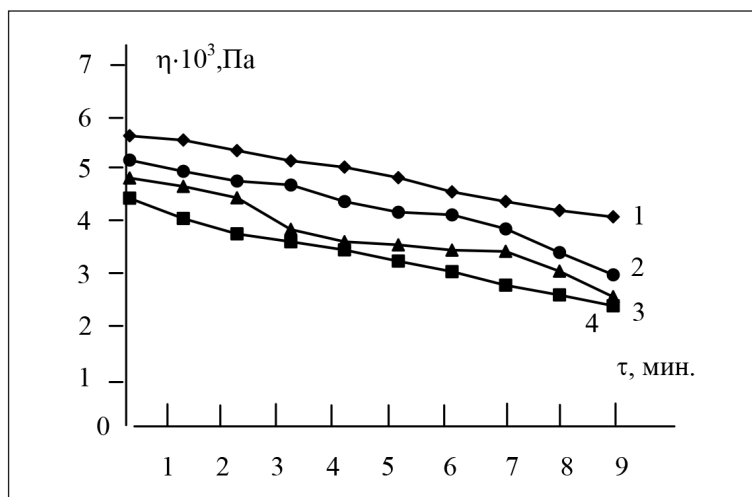


Рис. 2. Зависимость изменения динамической вязкости от времени ультразвуковой обработки дисперсной среды: 1 – каолинит без флокулянта, 2 – монтмориллонит без флокулянта, 3 – каолинит с флокулянтам, 4 – монтмориллонит с флокулянтам
Примечание: составлен авторами по результатам определения вязкости на ротационном вискозиметре BGD 152/2S

Наблюдается увеличение скорости сорбции дисперсий при уменьшении концентрации полимера. Детальные исследования водных дисперсий монтмориллонита и каолинита под воздействием ультразвука [6, 7] показали, что короткое время обработки ультразвуком ($< 7,5$ мин при частоте 20 кГц) разрушает естественные агрегаты глинистых минералов, улучшая их дисперсность и повышая стабильность суспензий за счет образования новой коагуляционной структуры с увеличенной сорбционной поверхностью. Ультразвуковые стоячие волны индуцируют колебательный процесс, за счет которого молекулы воды мигрируют в поры глинистых частиц. Наблюдаемое латеральное смещение слоев кристаллической решетки дополнительно увеличивает расширение адсорбционной поверхности для взаимодействия с полимером [8]. Данные процессы способствуют изменению не только вязкости системы, но и влияют на ξ -потенциал дисперсий (рис. 2).

Определен эффективный режим работы ультразвуковой установки в диапазоне 24–27 кГц. Скорость осаждения суспензий на различных частотах ультразвуковой волны показана на рис. 3. Комплексное воздействие на дисперсии ультразвуком и флокулянтами дало максимальный эффект осветления в течение 3–7 мин. Оптимальная концентрация флокулянтов не должна превышать 4–5 г/м³. На рис. 4 показаны данные с нефелометра, позволяющие сделать вывод о значительном осветлении оборотных вод (более 89 %) при минимальном добавлении

флокулянта. Выбранный режим ультразвукового воздействия формирует крупные и тяжелые флокулы, что значительно ускоряет процесс их осаждения. Кроме того, стоячие волны изменяют конформацию флокулянта, способствуя разматыванию молекулы полимера и появлению дополнительных активных центров для адсорбции глинистых частиц [9, 10]. Наблюдаемое уменьшение вязкостных характеристик системы обусловлено небольшой концентрацией флокулянта с сохранением адсорбционных свойств за счет появления новых активных центров. Акустическое поле, распространяемое ультразвуком, образует более крупные и рыхлые хлопья, что объясняет процесс ускорения осаждения при озвучивании системы. Изучаемая система состоит из кварцевых зерен, окруженных глинистыми чешуйками.

Наличие коагуляционных контактов между зернами обусловлено глинистыми мостиками (коагуляционная связь). Волновые колебания разрушают структуру коагуляционных мостиков, тем самым способствуют более полному контакту флокулянта с поверхностью глины, образуя крупные хлопьевидные осадки [10]. На рис. 5 показана зависимость размера и рыхлости полученных флокул до и после акустических колебаний. Минералы монтмориллонитовой глины образуются в более крупные агрегаты, чем каолин. Возникающие в результате ортокинетические столкновения частиц, турбулентные потоки и повышенный капиллярный эффект способствуют дополнительной конвергенции и агрегации.

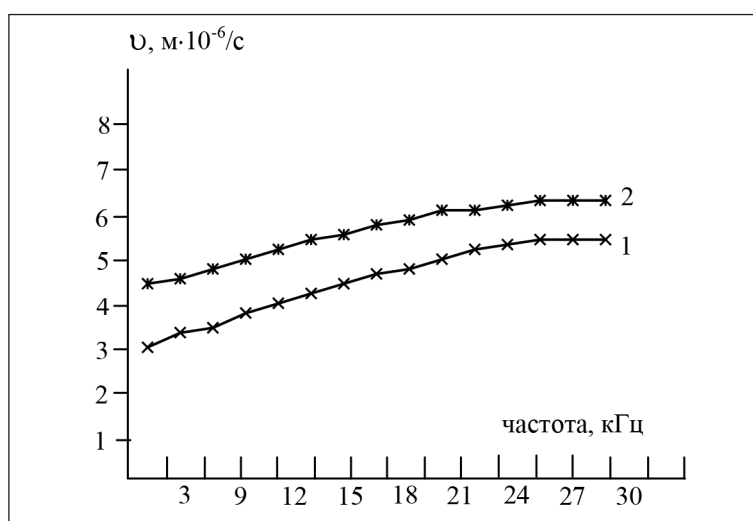


Рис. 3. Зависимость скорости седиментации глинистых частиц от частоты УЗ:

1 – каолинит с флокулянтом, 2 – монтмориллонит с флокулянтом

Примечание: составлен авторами по результатам фотокolorиметрического исследования на фотометре КФК-3-01 (ЗОМЗ)

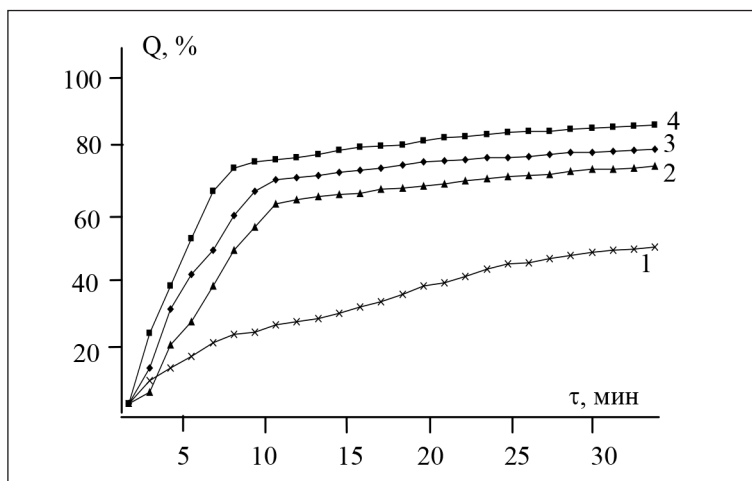


Рис. 4. Зависимость степени осветления от времени УЗ: 1 – каолинит без флокулянта, 2 – монтмориллонит без флокулянта, 3 – каолинит в комплексе с флокулянтом, 4 – монтмориллонит в комплексе с флокулянтом
Примечание: составлен авторами по результатам фотоколориметрического исследования на фотометре КФК-3-01

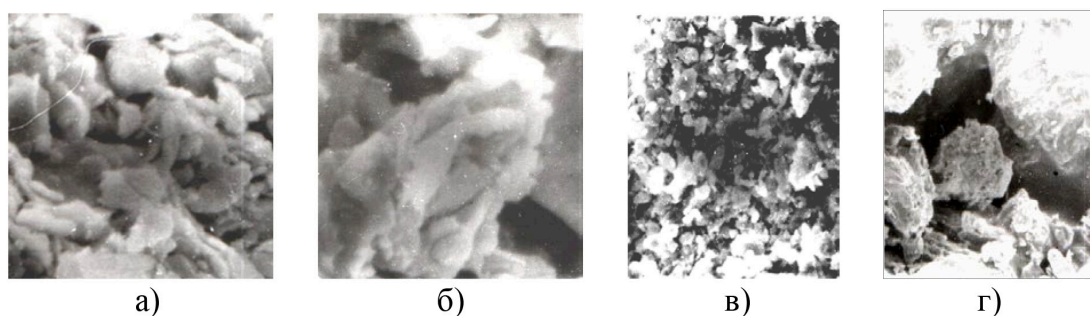


Рис. 5. Электронные фотографии флокулов, образованных: а) монтмориллонит с полиэлектролитом без ультразвука; б) монтмориллонит с полиэлектролитом после воздействия ультразвука; в) каолинит с полиэлектролитом без ультразвука; г) каолинит с полиэлектролитом после воздействия ультразвука
Примечание: составлен авторами по результатам съемок на поляризационном микроскопе ZEISS AXIO Scope A1

Хлопьевидная структура без обработки ультразвуком однородна и регулярна, отсутствуют выраженные трещины, нет крупных агрегатов, между цепочками флокулянта образовалась структура «ячеистой сети». После обработки УЗ в микроструктурах наблюдаются глубокие отверстия и длинные трещины, появляются крупные зерна. Частицы глины в дисперсном состоянии в поле ультразвука изменяют ξ -потенциал. Согласно [11, 12], частицы монтмориллонита из-за нарушения агрегатной стабильности снижают значение ξ -потенциала активнее, чем образцы каолинита, что способствует увеличению скорости осаждения дисперсий. Образование двойного электрического слоя на поверхности

твердое тело – жидкость определяет ход электрокинетических процессов. Глинистые минералы монтмориллонитовой группы, обладающие довольно выраженными ионообменными свойствами, обладают повышенной адсорбционной способностью. Исследование зависимости величины ξ -потенциала от времени озвучивания дисперсии подтвердило оптимальное значение интервала экспозиции в 3–5 мин. При этом наблюдается уменьшение значений потенциала, увеличение скорости относительного перемещения дисперсной фазы относительно дисперсионной среды, возрастает устойчивость потоков к разрушению дисперсных систем. Стоячие волны способствуют резонансному движению взвешенных дисперс-

ных частиц относительно самой жидкости и дополнительно создают зоны их концентрации [13]. Пространственное разделение компонентов в суспензии, находящейся в ультразвуковом поле, четко определено. Миграция макромолекул полимеров энергетически выгодна в зоны пучности давления, что приводит к отсутствию флокулянтов в зоны пучностей скоростей (неустойчивая зона). За счет рэлеевских течений в области повышенного давления рвутся цепочки полимера. За счет микропотоков дисперсные частицы сталкиваются и укрупняются, что приводит к созданию коагуляционных контактов между ними [7, 14]. Перемещение частиц в ультразвуковом поле вызвано не только разрушением коагуляционных структур. Наблюдаемая деформация флокулянтов за счет механических напряжений изменяет течение микропотоков. Под действием кумулятивных струй диспергированная глинистая частица сближается с полимером, при этом формируются новые молекулярные мостики, способствующие их агрегации. Получение более плотного сфлуктурированного продукта приводит к уменьшению используемого полимера и увеличению скорости оседания хлопьев [15, 16]. УЗ вызывают перестройку структуры коагуляции, что влияет на увеличение поверхности свободной энергии. Происходит изменение силы молекулярного взаимодействия и ускорение процесса слипания частиц в более крупные хлопья.

Заключение

Разработаны параметры интенсификации процесса флокуляции в условиях работы с мелкодисперсными фракциями илисто-глинистых отложений в прудах-осветлителях при не-возможности сбрасывать технические воды в природные объекты. Рабочие параметры полу-промышленной установки составили: эффективная частота ≈ 30 кГц, интенсивность 1×10^4 Вт/м², время акустического воздействия 6–7 мин. За счет снижения количества используемых флокулянтов, времени осветления оборотных вод от мелкодисперсных фракций, снижения общей вязкости водных систем, формирования более плотных и крупных хлопьев можно добиться существенного снижения экономических затрат. Наблюдаемое ускорение седиментационного процесса позволит достичь необходимого минимума коллоидных взвесей в сбрасываемых в природные объекты сточных вод из отстойников по нормам СанПиН 2.1.5.980-00 и СанПиН 2.1.3684-21. Рассмотрен механизм действия

ультразвуковых колебаний в режиме стоячих волн на пограничные слои дисперсных глинистых частиц в комплексе с анионными флокулянтами. Используя полученные данные по изменению дзета-потенциалов, размеров полученных после обработки хлопьев, снижению вязкостных характеристик, уменьшению количества связанной воды, можно сделать предварительные выводы о влиянии акустических воздействий на адсорбционные процессы и изменения в диффузионном слое. Наблюдаемое разрушение межмолекулярных связей в водной дисперсной системе приводит к формированию молекулярных мостиков и дополнительной агрегации. Показана возможность математического моделирования процесса седиментации на основании полученных параболических зависимостей скоростей осаждения сфлуктурированного осадка от параметров работы ультразвуковой установки для достижения FUC не менее 80 %. Планируется модернизировать ультразвуковую установку до промышленного образца, сделав основной акцент на ее энергоэффективности. Так же необходимо оптимизировать процесс седиментации не только для отдельных образцов монтмориллонитовых и каолиновых дисперсий, но и для смешанных систем с различным соотношением глинистых и силикатных частиц. Предложенная рабочая схема очистки сточных и оборотных вод золотодобывающих предприятий позволяет получить приемлемые результаты при сравнительно небольших экономических затратах на модернизацию процесса.

Список литературы

1. Гурман М. А. Флокуляция взвесей технологической воды россыпного месторождения золота // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12–1. С. 76–84. URL: <https://www.giab-online.ru/catalog/archives/gornyy-informacionno-analiticheskiy-byulleten-12-1-2021/view> (дата обращения: 12.03.2026). DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_76.
2. Ali W., Chassagne C. Comparison between two analytical models to study the flocculation of mineral clay by polyelectrolytes // *Continental Shelf Research*, 2022. Vol. 250. Art. 104864. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434322002175?via%3Dihub> (дата обращения: 18.03.2026). DOI: 10.1016/j.csr.2022.104864.
3. Aref Abbasi Moud Polymer based flocculants: Review of water purification applications // *Journal of Water Process Engineering*. 2022. Vol. 48. Art. 102938. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714422003828?via%3Dihub>. (дата обращения: 08.03.2026). DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.102938.
4. Ульрих Е. В., Баркова А. С. Использование флокулянтов для очистки сточных вод // *Трансформация экосистем*. 2023. Т. 6. № 1. С. 168–187. DOI: 10.23859/estr-220525. URL: <https://en.ecosysttrans.com/publikatsii/ecosystem-transformation-volume-6-no-1-2023/use-of-flocculants-for-wastewater-treatment/> (дата обращения: 18.02.2026).

5. Castillo C., Fawell P., Costine A. Optimising the activity of acrylamide-based polymer so-lutions used to flocculate mineral processing tailings suspensions // *Chemical Engineering Research and Design*. 2023. Vol. 199. P. 214–237. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876223006135?via%3Dihub> (дата обращения: 15.03.2026). DOI: 10.1016/j.cherd.2023.10.001.
6. Тютрина С. В. Влияние ультразвука на процесс флокуляции тонкодисперсных минеральных систем при очистке сточных и оборотных вод: дис. ... канд. техн. наук. Чита, 2004. 166 с. URL: <https://www.disscat.com/content/vliyanie-ultrazvuka-na-protsess-flokulyatsii-tonkodispersnykh-mineralnykh-sistem-pri-ochistke> (дата обращения: 17.02.2026).
7. Meribout M. On using ultrasonic-assisted Enhanced Oil Recovery (EOR): recent practical achievements and future prospects // *IEEE Access*. 2018. Vol. 6. P. 51110–51118. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8432426> (дата обращения: 16.02.2026). DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2859774.
8. Лавриненко А. А., Гольберг Г. Ю. Современное состояние и направления совершенствования процессов разделения суспензий продуктов обогащения углей с применением флокулянтов // *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. 2024. Т. 22. № 2. С. 58–70. URL: <https://vestnik.mgtu.ru/en/118-archive/no-2-2024/1576-58.html> (дата обращения: 15.02.2026). DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-58-70.
9. Zhu L., Lyu W., Yang P., Wang Z. Effect of ultrasound on the flocculation-sedimentation and thickening of unclassified tailings // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. Vol. 66. Art. 104984. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417719315986?via%3Dihub> (дата обращения: 06.03.2026). DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.104984.
10. Аверкина Е. В., Шакирова Э. В., Бутакова Л. А. Влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистых суспензий // *Разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2020. Т. 43. № 2. С. 230–241. URL: <https://www.nznj.ru/jour/article/view/106> (дата обращения: 02.03.2026). DOI: 10.21285/2686-9993-2020-43-2-230-241.
11. Rezaei A., Abdollahi H., Gharabaghi M., Mohammadzadeh A. A. Effects of Flocculant, Surfactant, Coagulant, and Filter Aid on Efficiency of Filtration Processing of Copper Concentrate: Mechanism and Optimization // *Journal of Mining and Environment*. 2020. Vol. 11. Is. 1. P. 119–141. URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85092167120> (дата обращения: 02.03.2026). DOI: 10.22044/jme.2019.8692.1753.
12. Khazaie A., Mazarji M., Samali B., Osborne D., Minkina T., Sushkova S., Mandzhieva S., Soldatov A. A. A Review on Coagulation/Flocculation in Dewatering of Coal Slurry // *Water*. 2022. Vol. 14. Is. 6. P. 918. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/6/918> (дата обращения: 22.03.2026). DOI: 10.3390/w14060918.
13. Xinlei Zhu, Linglu Jiang, Wentao Huang Evaluation an anionic polyacrylamide flocculant with microblock structure in the hematite wastewater treatment: Characterization and flocculation performance // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024. Vol. 693. Art. 134072. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775724009336?via%3Dihub> (дата обращения: 08.03.2026). DOI: 10.1016/j.colsurfa.2024.134072.
14. Yijiang Li, Yuting Chen, Shixin Zhang, et al. Filtration of kaolinite and coal mixture suspension: Settling behavior and filter cake structure analysis // *Powder Technology*. 2021. Vol. 381. P. 122–128. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591020312171?via%3Dihub> (дата обращения: 08.03.2026). DOI: 10.1016/j.powtec.2020.12.050.
15. Nguyen C. V., Nguyen A. V., Doi A., Dinh E., Nguyen T. V., Ejtemaei M., Osborne D. Advanced solid-liquid separation for dewatering fine coal tailings by combining chemical reagents and solid bowl centrifugation // *Separation and Purification Technology*. 2021. Vol. 259. Art. 118172. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620326459?via%3Dihub> (дата обращения: 28.03.2026). DOI: 10.1016/J.SEP-PUR.2020.118172.
16. Лавриненко А. А., Гольберг Г. Ю. Состояние процессов сгущения и обезвоживания отходов флотации углей // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2023. Т. 21. № 3. С. 27–41. URL: https://vestnik.mgtu.ru/images/data_base/2023_3/27-41.pdf (дата обращения: 05.03.2026). DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-27-41.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

СТАТЬЯ

УДК 528.41
DOI

CC BY 4.0

**К ВОПРОСУ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ
ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПУНКТОВ НА «ОПАСНОМ КРУГЕ»
ПРИ ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАСЕЧКЕ****Гурский И. Н. ORCID ID 0009-0008-6956-1881,
Солодунов А. А. ORCID ID 0000-0001-6609-9398,
Пшидаток С. К. ORCID ID 0000-0001-8514-8677, Шичиях З. З.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар,
Российская Федерация, e-mail: 2602555@mail.ru*

В статье рассмотрен способ быстрого определения координат контрольных точек на «опасном круге» с использованием обратной геодезической засечки. Цель исследования заключается в проблеме быстрого определения положения точек на «опасном круге» при обратной геодезической засечке, которая требует комплексного подхода, включающего разработку новых алгоритмов, использование передовых технологий и методов обработки данных. В настоящей работе приведены результаты исследований на предмет подтверждения неопределенности решения задачи для точек на «опасном круге» и предлагается способ быстрого определения попадания на «опасный круг» геодезических пунктов координаты, которых определяют обратной засечкой еще на стадии полевых измерений. Концепция обратной засечки в контексте наличия «опасного круга» может быть упорядочена через систему трех вписанных треугольников, где все пять вершин расположены на окружности. Данный геометрический подход позволяет эффективно решать задачи, связанные с определением местоположения объекта в пространстве. Для оперативного установления координат искомого пункта на «опасном круге» в полевых условиях рекомендуется проведение угловых измерений, определение направления между тремя исходными пунктами на искомом пункте и решение обратной геодезической задачи с целью определения длины хорды, соединяющей указанные исходные пункты. Внедрение данной функции в программное обеспечение современных электронных тахеометров значительно повысит их функциональные возможности и презентабельность.

Ключевые слова: обратная засечка, «опасный круг», неопределенность решения задачи, свойства хорды, радиусы описанной окружности, результаты вычислений

**ON THE ISSUE OF QUICKLY DETERMINING THE POSITION
OF DESIGNATED POINTS ON THE "DANGER CIRCLE"
DURING REVERSE GEODETIC NOTATION****Gurskiy I. N. ORCID ID 0009-0008-6956-1881,
Solodunov A. A. ORCID ID 0000-0001-6609-9398,
Pshidatok S. K. ORCID ID 0000-0001-8514-8677, Shichiyakh Z. Z.**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin",
Krasnodar, Russian Federation, e-mail: 2602555@mail.ru*

Implementation of this feature in the software of modern electronic total stations will significantly enhance their functionality and presentation. The purpose of the study is to address the issue of quickly determining the position of points on the "dangerous circle" using reverse geodetic triangulation, which requires a comprehensive approach that includes the development of new algorithms and the use of advanced technologies and data processing methods. In this work, the authors present the results of their research to confirm the uncertainty of solving the problem for points on the "dangerous circle" and propose a method for quickly determining the location of geodetic points on the "dangerous circle" using reverse triangulation during the field measurement stage. The concept of reverse triangulation in the context of the presence of a "dangerous circle" can be organized through a system of three inscribed triangles, where all five vertices are located on a circle. This geometric approach allows for the effective solution of problems related to the determination of an object's location in space. To quickly establish the coordinates of the desired points on the "dangerous circle" in the field, it is recommended to perform angular measurements, determine the direction between three reference points at the desired point, and solve the inverse geodetic problem to determine the length of the chord connecting these reference points. The implementation of this feature in the software of modern electronic total stations will significantly enhance their functionality and presentation.

Keywords: reverse serif, «dangerous circle», problem solution uncertainty, chord properties, circumradii, calculation results

Введение

В полевых условиях при выполнении измерений сложно определить ситуацию возникновения «опасного круга». В большинстве случаев наличие «опасного круга» выявляют в период камеральной обработки результатов измерений, что вызывает повторные полевые геодезические действия, а в конечном итоге влияет на себестоимость геодезических работ.

Цель исследования – быстрое определение положения определяемых пунктов на «опасном круге» при обратной геодезической засечке.

Материалы и методы исследования

Кафедрой геодезии Кубанского аграрного университета имени А. И. Трубилина проведены некоторые теоретические и практические исследования на предмет быстрого выявления «опасного круга» непосредственно в полевых условиях при выполнении измерений для определения координат геодезических пунктов обратной угловой засечкой. Кроме того, в результате исследования рассмотрен практический пример, которых нет в обозреваемых литературных источниках, подтверждающий утверждение, что если определяемая точка лежит на окружности, проходящей через три исходных пункта («опасный круг»), то задача становится неопределенной [1].

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе проведения исследований на местности создана ситуация, при которой в первом случае исходные геодезические пункты и определяемый пункт P_0 находятся на одной окружности, а во втором определяемый P находится внутри окружности [2].

Для этой цели на местности закреплены шесть точек геодезического обоснования $m1, m2, m3, m4, m5, m6$ и пункт P_0 по окружности по направлению радиусов от центра, что гарантировало размещение исходных и определяемого пункта на «опасном круге». Второй определяемый пункт P расположен произвольно внутри данного круга. При этом местоположение исходных пунктов не менялось [3]. Схема размещения исходных и определяемых пунктов приведена на рис. 1.

Предварительно для сопоставления расчетов и анализа результатов экспериментальных измерений и произведено определение координат исходных и определяемых пунктов методом GPS-измерений с относительной погрешностью 1/10 000 каталог координат, которых представлен в табл. 1.

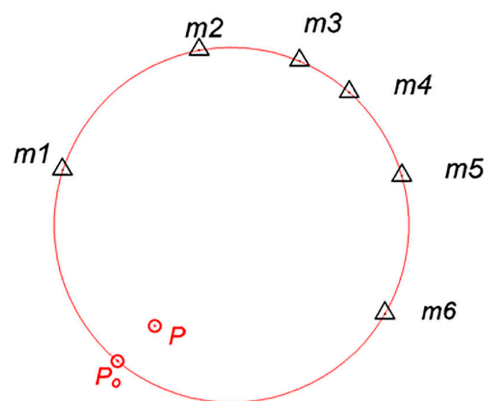


Рис. 1. Схема расположения исходных и определяемых пунктов на местности
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Каталог координат исходных и определяемых пунктов

Номер точки	Координаты	
	x	x
Исходные пункты		
t1	15366,97	16861,06
t2	15457,78	16964,98
t3	15449,54	17041,48
t4	15425,81	17079,16
t5	15362,38	17119,10
t6	15257,56	17106,32
Определяемые пункты		
P_0	15221,43	16902,78
P	15248,33	16931,07

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Известно, что для решения обратной засечки с контролем необходимо выполнить измерения направлений не менее чем на четыре исходных пункта [4]. В процессе исследований измерения направлений выполнены способом круговых приемов с использованием электронного тахеометра Trimble S3 5" LP [5].

Для получения независимых результатов измерения направлений выполнены по двум вариантам. По первому варианту исходными пунктами являются $m1, m2, m4, m6$, по второму варианту – $m1, m2, m3, m5$. При этом местоположение определяемого пункта P_0 неизменно. По каждому из вариантов центрирование на пункте P_0 и начальное ориентирование выполнялось индивидуаль-

но, что позволяет исключить систематическую погрешность центрирования [6]. Схема измерения направлений (по двум вариантам) на пункте P_0 представлена на рис. 2.

Координаты исходных пунктов и результаты измерения направлений для определения координат пункта P_0 , расположенного

на «опасном круге», и по указанным выше вариантам приведены в табл. 2.

Вычисление координат дополнительного пункта P_0 , а в дальнейшем и для пункта P , выполнено решением обратной угловой засечки по формулам Кнейсселя, классическая схема которой представлена на рис. 3.

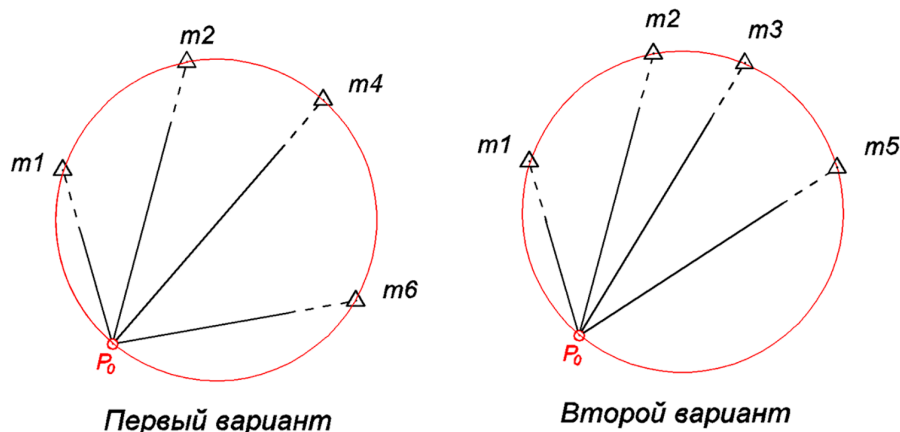


Рис. 2. Схема измерения направлений на пункте P_0 на «опасном круге»
Примечание: составлен авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 2

Исходные координаты и измеренные направления по вариантам

Номер точки	Координаты		Направления		
	x	y	град	мин	сек
Первый вариант					
$m1$	15366,97	16861,06	0	0	0
$m2$	15457,78	16964,98	30	44	22
$m4$	15425,81	17079,16	56	47	13
$m6$	15257,56	17106,32	95	55	43
Второй вариант					
$m1$	15366,97	16861,06	0	0	0
$m2$	15457,78	16964,98	30	44	22
$m3$	15449,54	17041,48	47	17	42
$m5$	15362,38	17119,1	72	54	26

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

$$\left. \begin{aligned}
 & a = \operatorname{ctg}(\beta_1); b = \operatorname{ctg}(\beta_2). \\
 & k_1 = a(y_B - y_A) - (x_B - x_A); k_2 = a(x_B - x_A) + (y_B - y_A); \\
 & k_3 = b(y_C - y_A) - (x_C - x_A); k_4 = b(x_C - x_A) + (y_C - y_A); \\
 & c = \frac{k_2 - k_4}{k_1 - k_3}; \Delta y_{AP} = \frac{k_2 - ck_1}{1 + c^2}; \Delta x_{AP} = c \cdot \Delta y_{AP} \\
 & x_p = x_A + \Delta x_{AP}; y_p = y_A + \Delta y_{AP}.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

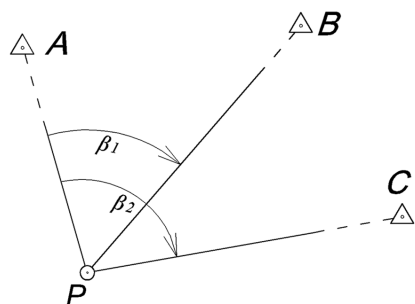


Рис. 3. Схема обратной угловой засечки по Кнейсселю

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Ниже приведен пример первого решения по вычислению координат пункта P_0 , в котором вместо обозначенных A, B, C в качестве исходных приняты координаты пунктов $m1, m4, m6$, а значения углов β_1 и β_2 равны измеренным направлениям на точки $m4$ и $m6$.

По аналогии выполнены еще три решения для первого и второго вариантов измерений, результаты которых приведены в табл. 3.

Следует заметить, что ранее определены истинные координаты точки P_0 (табл. 1), которые равны $x_{P_0} = 15221,43$, а $y_{P_0} = 16902,78$.

$$a = \text{ctg}56^\circ47'13 = 0,654707; b = \text{ctg}95^\circ55'43 = -0,103845.$$

$$k_1 = 0,654707 \cdot (17079,16 - 16861,06) - (15425,81 - 15366,97) = 83,95;$$

$$k_2 = 0,654707 \cdot (15425,81 - 15366,97) + (17079,16 - 16861,06) = 256,62;$$

$$k_3 = -0,103845 \cdot (17106,32 - 16861,06) - (15257,56 - 15366,97) = 83,94;$$

$$k_4 = -0,103845 \cdot (15257,56 - 15366,97) + (17106,32 - 16861,06) = 256,62;$$

$$C = \frac{256,62 - 256,62}{83,95 - 83,94} = 0,13; \Delta y_{m1-P_0} = \frac{256,62 - 0,13 \cdot 83,95}{1 + 0,13^2} = 242,31;$$

$$\Delta x_{m1-P_0} = 0,13 \cdot 242,31 = 30,35.$$

$$x_{P_0} = 15366,97 + 30,35 = 15397,32; y_{P_0} = 16861,06 + 242,31 = 17103,37.$$

Таблица 3

Результаты вычислений координат пункта P_0

Номер решения	Номер точки	Координаты		Направления			Вычисленные координаты	
		x	y	x	x	сек		
Первый вариант								
1	m1	15366,97	16861,06	0	0	0	15397,32	17103,37
	m4	15425,81	17079,16	56	47	13		
	m6	15257,56	17106,32	95	55	43		
2	m1	15366,97	16861,06	0	0	0	15385,22	17110,20
	m2	15457,78	16964,98	30	44	22		
	m4	15425,81	17079,16	56	47	13		
Второй вариант								
3	m1	15366,97	16861,06	0	0	0	15307,86	17123,28
	m3	15449,54	17041,48	47	17	42		
	m5	15362,38	17119,1	72	54	26		
4	m1	15366,97	16861,06	0	00	00	15455,65	17023,38
	m2	15457,78	16964,98	30	44	22		
	m3	15449,54	17041,48	47	17	42		

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Как видно из результатов вычислений, получены различные значения координат и при этом ни одно из вычисленных значений не соответствует истинным координатам пункта P_0 , что подтверждает классическое положение о том, что, если определяемые и исходные пункты располагаются на «опасном круге» при обратной засечке, результат вычислений дает неопределенное решение.

Для сравнения рассмотрен случай, при котором определяемая точка P размещена вне окружности на которой расположены исходные пункты (рис. 4).

На пункте P измерены направления по двум вариантам по неизменным исходным пунктам, как и для пункта P_0 . Изменения только в местоположении определяемого пункта, который в данном случае смещен внутрь окружности на произвольное расстояние [7–9]. В табл. 4 приведены исходные координаты и измеренные направления для пункта P , который гарантированно расположен вне «опасного круга».

По формулам (1) и схеме решения обратной засечки по Кнейсселю произведено четырехкратное вычисление координат пункта P , результаты которого приведены в табл. 5.

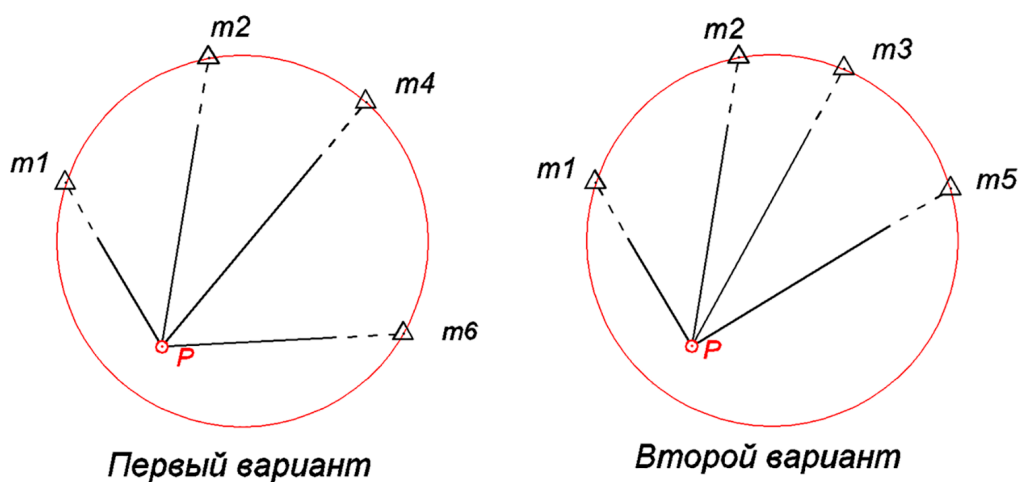


Рис. 4. Схема измерения направлений на точке P вне «опасного круга»
Примечание: составлен авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 4

Каталог исходных координат и направлений на пункте P

Номер точки	Координаты		Направления		
	x	y		x	y
Первый вариант					
$m1$	15366,97	16861,06	0	0	0
$m2$	15457,78	16964,98	39	44	31
$m4$	15425,81	17079,16	70	23	04
$m6$	15257,56	17106,32	117	31	46
Второй вариант					
$m1$	15366,97	16861,06	0	0	0
$m2$	15457,78	16964,98	39	44	31
$m3$	15449,54	17041,48	59	17	55
$m5$	15362,38	17119,1	89	18	22

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 5

Результаты вычислений координат пункта P

Номер решения	Номер точки	Координаты		Направления			Вычисленные координаты	
		x	y	град	мин	сек	x	y
Первый вариант								
1	m1	15366,97	16861,06	0	0	0	15248,31	16931,10
	m4	15425,81	17079,16	70	23	04		
	m6	15257,56	17106,32	117	31	46		
2	m1	15366,97	16861,06	0	00	00	15248,34	16931,06
	m2	15457,78	16964,98	39	44	31		
	m6	15257,56	17106,32	117	31	46		
Второй вариант								
3	m1	15366,97	16861,06	0	00	00	15248,34	16931,04
	m3	15449,54	17041,47	59	17	55		
	m5	15362,38	17119,1	89	18	22		
4	m1	15366,97	16861,06	0	00	00	15248,33	16931,08
	m2	15457,78	16964,98	39	44	31		
	m3	15449,54	17041,48	59	17	55		

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

По результатам вычислений можно видеть, что вычисленные координаты определяемого пункта P практически одинаковы и отличаются лишь на сотые доли метра [10]. При сопоставлении с ранее определенными координатами $x_p = 15248,33$, $y_p = 16931,07$ (табл. 1) максимальное расхождение в координатах составляет

$$r_{xP} = x_{P_{выч}} - x_{P_{ист}};$$

$$r_{xP} = 15248,31 - 15248,33 = -0.02;$$

$$r_{yP} = y_{P_{выч}} - y_{P_{ист}};$$

$$r_{yP} = 16931,10 - 16931,07 = 0.03.$$

Откуда абсолютное (линейное) расхождение:

$$r_P = \sqrt{r_{xP}^2 + r_{yP}^2};$$

$$r_P = \sqrt{-0.02^2 + r_{yP} \cdot 0.03^2} = \pm 0.04.$$

Приведенные выше измерения и расчеты являются необходимой составляющей для обоснования предлагаемой методики решения вопроса быстрого определения наличия «опасного круга» при обратной засечке. Идея заключается в том, что обратную засечку, для случая наличия «опасного круга», можно представить как три вписанных

треугольника, у которого все пять точек лежат на окружности (рис. 5).

Три хорды образованы четырьмя исходными пунктами, а вписанные углы, опирающиеся на хорды, образованы направлениями с определяемого пункта на исходные.

Из школьного курса геометрии, используя свойства хорды и опирающегося на нее вписанного угла, можно вычислить радиус окружности для каждого треугольника по формуле

$$R = \frac{L}{2 \cdot \sin \beta}. \tag{2}$$

где L – длина хорды; β – вписанный угол, опирающийся на хорду.

Длины хорд можно вычислить решением обратных геодезических задач (ОГЗ) по координатам исходных пунктов, а значения опирающихся на них вписанных углов получают в результате полевых измерений [11].

Учитывая то, что все исходные и определяемая точка лежат на одной окружности (рис. 5) следует ожидать, что радиусы, вычисленные из каждого треугольника, должны быть одинаковы [12].

Для определения радиусов решением (ОГЗ) проведены вычисления значений длин хорд по координатам исходных пунктов для первого и второго вариантов измерений и вычислений (табл. 6).

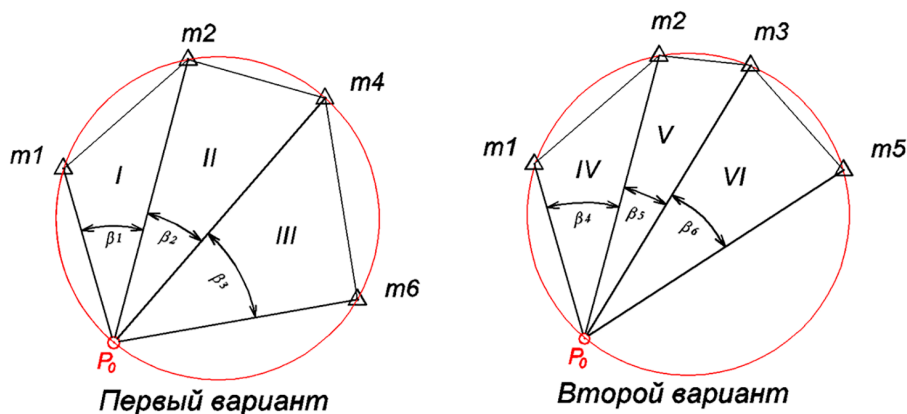


Рис. 5. Схемы обратных засечек как три вписанных треугольника по вариантам
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 6

Вычисление длин хорд по вариантам

Номера пунктов	Координаты		Приращения координат		Длина хорды
	x	y	Δx	Δy	
Первый вариант					
m1	15366,97	16861,06			
			90,81	103,92	138,01
m2	15457,78	16964,98			
			-31,97	114,18	118,57
m4	15425,81	17079,16			
			-168,25	27,16	170,43
m6	15257,56	17106,32			
Второй вариант					
m1	15366,97	16861,06			
			90,81	103,92	138,01
m2	15457,78	16964,98			
			-8,24	76,5	76,94
m3	15449,54	17041,48			
			-87,16	77,62	116,71
m5	15362,38	17119,1			

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

По результатам измерения направлений (табл. 2) вычислены вписанные углы для каждой хорды [13, 14]. Для наглядности и удобства вычислений значения хорд и вписанных углов по всем шести треугольникам сведены в табл. 7.

Ниже, в качестве примера, по формуле (2) приведен расчет радиуса для первого вписанного треугольника:

$$R_1 = \frac{138,01}{2 \cdot \sin 30^\circ 44' 22''} = 135,0035 = 035,00.$$

Аналогично выполнены расчеты для всех треугольников, результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Вычисление радиусов для вписанных треугольников

Номер треугольника	Хорда между пунктами	Длина хорды L	Вписанный угол β	Вычисленный радиус
Первый вариант				
I	$m1-m2$	138,01	30°44'22"	135,00
II	$m2-m4$	118,57	26°02'51"	135,01
III	$m4-m6$	170,43	39°08'30"	135,00
Второй вариант				
IV	$m1-m2$	138,01	30°44'22"	135,00
V	$m2-m3$	76,94	16°33'20"	135,01
VI	$m3-m5$	116,71	25°36'44"	134,99

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

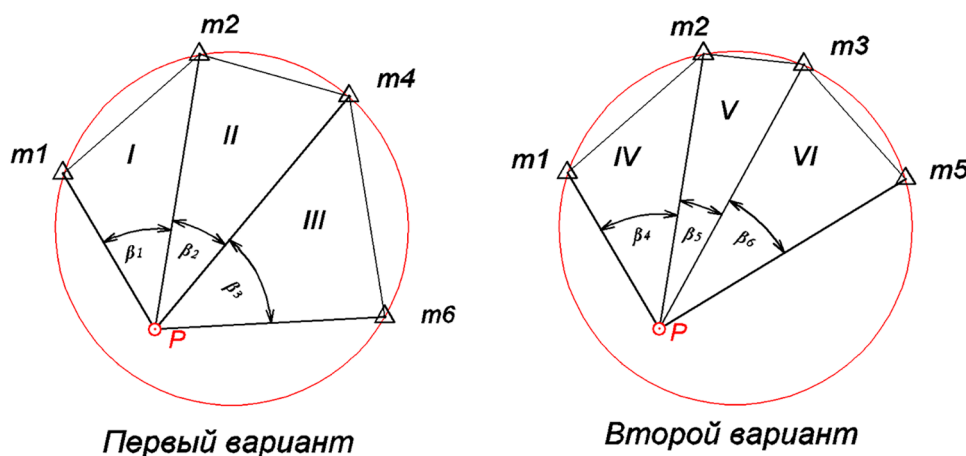


Рис. 6. Схема треугольников с точкой P вне «опасного круга»
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 8

Вычисление радиусов треугольников вне «опасного круга»

Номер треугольника	Хорда между пунктами	Длина хорды L	Вписанный угол β	Вычисленный радиус
Первый вариант				
I	$m1-m2$	138,01	39°44'31"	107,93
II	$m2-m4$	118,57	30°38'33"	115,75
III	$m4-m6$	170,43	47°08'42"	116,24
Второй вариант				
IV	$m1-m2$	138,01	39°44'31"	107,93
V	$m2-m3$	76,94	19°33'24"	114,93
VI	$m3-m5$	116,71	30°00'27"	116,68

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Как видно из расчетов для любого вписанного треугольника, значения радиусов практически равны, значит, исходные пункты и определяемый P_0 лежат на одной окружно-

сти, поэтому определение координат обратной засечкой в таком случае невозможно.

Так как в период эксперимента выполнены измерения и вычисления координат пун-

кта P , в порядке сопоставления по аналогии произведен расчет радиусов для аналогичных треугольников для обратных засечек свободных от влияния «опасного круга». Схема треугольников для точки расположенной вне «опасного круга» представлена на рис. 6.

Следует заметить, что исходные пункты, как было сказано ранее, расположены на окружности и длины хорд между ними неизменно [15]. Изменяются только значения углов $\beta_1 - \beta_6$ значения, которых определены по измеренным направлениям, приведенным в табл. 4. Данные для расчетов и их результаты приведены в табл. 8.

Заключение

Как видно из результатов, значения вычисленных радиусов для всех треугольников не одинаковы, следовательно точка P не лежит на одной окружности с исходными пунктами (на «опасном круге»).

Из всего изложенного выше можно сделать вывод, что для быстрого определения положения определяемых пунктов на «опасном круге» уже в полевых условиях следует:

- На определяемом пункте измерить углы или направления между тремя исходными пунктами;
- Решением обратной геодезической задачи определить расстояние (хорды) между исходными пунктами;
- По формуле (2) вычислить и сравнить полученные радиусы.

При равенстве радиусов имеет место быть наличие опасного круга.

Такую функцию можно ввести в программное обеспечение современных электронных тахеометров, что повысит их презентабельность.

Список литературы

1. Соколов Ю. Г., Гурский И. Н., Струсь С. С., Пшида-ток С. К. К определению координат точек обратной угловой засечкой // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 118. С. 1387–1395. EDN: VWPUPV.
2. Соколов Ю. Г., Струсь С. С., Пшида-ток С. К., Губанова Н. Я. К вопросу оценки точности геодезических сетей из четырехугольника с измеренными сторонами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 98. С. 1588–1605. EDN: SEGWJF.
3. Солодунов А. А., Гурский И. Н., Пшида-ток С. К. Оценка точности выполнения геодезических работ при закладке коллекции виноградников на территории Учебно-опытного хозяйства «Кубань» // Успехи современного есте-

ствознания. 2025. № 10. С. 57–64. DOI: 10.17513/use.38443. EDN: GTXGEX.

4. Гура Д. А. Применение технологий искусственного интеллекта в кадастре и геодезии: современное состояние и перспективы // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2025. Т. 30. № 1. С. 126–136. DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-1-126-136. EDN: OWXXIV.

5. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Бегеретова М. А. Особенности устройства дренажа обратной засыпки пазух подпорных стен в зависимости от типа подтопления и конструкции сооружения // Инженерный вестник Дона. 2026. № 3 (135). EDN: GVRWBN.

6. Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Подтелков В. В., Ушаков А. Н., Пристанков А. А. Влияние жесткости элементов ленточного фундамента на несущую способность основания // Строительство и архитектура. 2018. Т. 6. № 1. С. 12–15. DOI: 10.29039/article_5abc8c7e828ea2.11100132. EDN: YODDIL.

7. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшида-ток М. А. Вопросы достаточности инженерно-геологических изысканий на подрабатываемой территории для устройства оснований силовых полов и фундаментов логистического центра // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1 (109). С. 277–289. EDN: NGPKUU.

8. Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Подтелков В. В., Богдан А. В., Либурацков Е. М. Зависимость величины предельно допустимой нагрузки от физико-механических свойств однородного основания штампа в условиях смешанной задачи // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 115–127. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.10. EDN: YLXSQJ.

9. Богомолов А. Н., Абрамов Г. А., Богомолова О. А., Подтелков В. В., Якименко И. В. Оценка устойчивости круглых выработок различного диаметра, отработанных в однородном грунтовом откосе на уровне его подошвы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 44–1(63). С. 12–20. EDN: VYTQEZ.

10. Сергиенко Е. А., Цораева Э. Н., Катаева М. В. К вопросу нормирования площади земельных участков для размещения образовательных учреждений // Международный научный журнал. 2021. № 3. С. 41–49. DOI: 10.34286/1995-4638-2021-78-3-41-49. EDN: MJFRAO.

11. Шипилова Н. А., Ванжа В. В., Белокур К. А., Михеев Г. В., Дегтярева Е. В., Шишкин А. С., Орехова В. И. Развитие строительства с учетом внедрения инновационных технологий при возведении гидротехнических сооружений // Экономика и предпринимательство. 2024. № 6 (167). С. 990–993. DOI: 10.34925/EIP.2024.167.6.206. EDN: FXGDNB.

12. Цораева Э. Н. Актуальные вопросы рационального использования земель сельскохозяйственного назначения // International Agricultural Journal. 2025. Т. 68. № 2. DOI: 10.55186/25880209_2025_9_2_16. EDN: GXFJJJ.

13. Серга Г. В., Белокур К. А., Лебедев В. А. Технологические особенности изготовления винтовых роторов для отделочно-упрочняющей обработки деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 4. С. 8–11. EDN: VWPZBP.

14. Серга Г. В., Белокур К. А., Хвостик Э. А. Совершенствование рабочих органов станков на базе винтовых роторов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 9 (70). С. 4. DOI: 10.30987/article_5bd17b452ab289.28134044. EDN: YSSJGX.

15. Белокур К. А., Серга Г. В. Новые конструкции колонн, жилых, промышленных и административных зданий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 115. С. 859–872. EDN: VJLRV.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.