ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 10 2026

ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 10 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 завершенных исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.
Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (**ВАК РФ**). **К2**.
Журнал ориентируется 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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Технический редактор
Доронкина Е. 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. ***Ширапов 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	30.10.2026	**Дата выхода номера**	30.11.2026
Формат	60x90 1/8	**Усл. печ. л.**	13
Тираж	1000 экз.	**Заказ**	УСЕ 2026/10

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**). **К2**.
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.

EXECUTIVE SECRETARY
Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Technical editor
Doronkina E. N.

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 ***Sokolskaya 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	**Telephone**	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	30.10.2026	**Number issue date**	30.11.2026
Format	60x90 1/8	**Conditionally printed sheets**	13
Circulation	1000 copies	**Order**	УСЕ 2026/10

Distribution at a free price
© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1)

СТАТЬЯ

ЭФФЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *APORRECTODEA CALIGINOSA* НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Унру Д. П. *8*

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 2025 ГОДА

Волощук М. С., Ничаевский А. А., Елфимова Н. С., Бондарев С. В., Трушков А. В., Жукова С. В., Беспалова Л. А. *14*

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОСТИНИЧНОГО СЕКТОРА ЕГИПТА

Гергес Б. Р. Б. *22*

ПРОГНОЗИРУЕМОЕ ВЛИЯНИЕ СОЗДАНИЯ ПРУДОВ НА ЛАНДШАФТНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ

Калаев С. В., Адодина Е. В. *31*

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОТУРИСТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В СТЕПНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Селезнева Е. В., Легачева Н. М., Ротанова И. Н. *42*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗВРАЩЕНИЯ БЕСХОЗЯЙНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ В ОБОРОТ

Сурodеев М. С., Москалева С. А., Фролов А. Н., Долгачева Т. А., Учайкин Н. И., Аникин В. В. *49*

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

ОКОЛОРУДНЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ ЗОЛОТО-МЕДНОГО ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННОГО КВАРЦ-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Никонов В. Н., Мустафин С. К., Хасанова Г. Ф. *57*

ПОТЕНЦИАЛ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНОГО ВИДА *APORRECTODEA CALIGINOSA* НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Романчук Р. Р., Голованова Е. В. *64*

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

СТАТЬИ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА КАМЕРНЫЙ ЗАБОЙ
И СИСТЕМУ ЦЕЛИКОВ

Бейсембаев К. М., Жетесова Г. С., Оразбеков Д. Е., Акижанова Ж. Т. 72

ИЗВЛЕЧЕНИЕ БОРНОЙ И МЫШЬЯКОВОЙ КИСЛОТ
ИЗ СЕПАРАТА ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
ПАУЖЕТСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Хижко З. И., Авфукова Л. С., Белова Т. П. 80

Физико-математические науки (1.6.22)

СТАТЬЯ

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА В ЖИЛОМ КОМПЛЕКСЕ
«ПРЕДГОРЬЕ-ЛАГОНАКИ» (МАЙКОП, АДЫГЕЯ)

Пшидаток С. К., Солодунов А. А., Турк Г. Г., Бегеретов А. А. 88

Сельскохозяйственные науки (4.1.6)

СТАТЬЯ

АНАЛИЗ АДАПТАЦИИ ИНТРОДУЦЕНТОВ К ПРИРОДНО-
КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ
НА ПРИМЕРЕ БРАТСКА

Аношкина Л. В. Рунова Е. М. 97

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1)

ARTICLE

THE EFFECT OF USING *APORRECTODEA CALIGINOSA* ON THE CONTENT OF SOIL ORGANIC MATTER

Unru D. P. *8*

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE MACROZOOBENTHOS OF THE SEA OF AZOV ACCORDING TO THE DATA OF 2025

Voloshchuk M. S., Nichaevskiy A. A., Elfimova N. S., Bondarev S. V., Trushkov A. V., Zhukova S. V., Bespalova L. A. *14*

TERRITORIAL DIFFERENTIATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE HOTEL SECTOR OF EGYPT

Gerges B. R. B. *22*

FORECASTED IMPACT OF POND CREATION ON THE LANDSCAPE DIVERSITY OF RAVINE-AND-GULLY SYSTEMS

Kalaev S. V., Adodina E. V. *31*

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL PREREQUISITES FOR ORGANIZING AN ECOTOURISM TERRITORY IN THE STEPPE PART OF THE ALTAI KRAI

Selezneva E. V., Legacheva N. M., Rotanova I. N. *42*

PROBLEMS AND PROSPECTS OF RETURNING ABANDONED AGRICULTURAL LANDS OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA INTO CIRCULATION

Surodeev M. S., Moskaleva S. A., Frolov A. N., Dolgacheva T. A., Uchaykin N. I., Anikin V. V. *49*

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

NEAR-ORE METASOMATITES OF PYRITE DEPOSITS OF BASHKIR TRANS-URALS AS A PROMISING OBJECT OF GOLD-COPPER VEIN-DISSEMINATED QUARTZ-SULFIDE MINERALIZATION

Nikonov V. N., Mustafin S. K., Khasanova G. F. *57*

POTENTIAL DISTRIBUTION OF THE INVASIVE SPECIES *APORRECTODEA CALIGINOSA* IN THE ALTAI KRAI AND THE ALTAI REPUBLIC

Romanchuk R. R., Golovanova E. V. *64*

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

ARTICLES

STUDY OF LOADS ON ROOM FACES AND PILLAR SYSTEMS

Beysembaev K. M., Zhetesova G. S., Orazbekov D. E., Akizhanova Zh. T. 72

SORPTION RECOVERY OF BORIC AND ARSENIC ACIDS FROM THE GEOTHERMAL SEPARATOR FLUID OF THE PAUZHETSKAYA GEOTHERMAL POWER PLANT

Khizhko Z. I., Avfukova L. S., Belova T. P. 80

Physical and mathematical sciences (1.6.22)

ARTICLE

GEODETIC SUPPORT FOR THE CONSTRUCTION OF AN APARTMENT BUILDING IN THE PREDGORYE-LAGONAKI RESIDENTIAL COMPLEX (MAYKOP, ADYGEA)

Pshidatok S. K., Solodunov A. A., Turk G. G., Begeretov A. A. 88

Agricultural sciences (4.1.6)

ARTICLE

ANALYSIS OF THE ADAPTATION OF INTRODUCED SPECIES TO THE NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA, USING BRATSK AS AN EXAMPLE

Anoshkina L. V., Runova E. M. 97

СТАТЬЯ

УДК 631.423.4
DOI 10.17513/use.38549

CC BY 4.0

ЭФФЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *APORRECTODEA CALIGINOSA* НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Унру Д. П. ORCID ID 0009-0002-1495-7631

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный педагогический университет», Омск, Российская Федерация, e-mail: unrudarya@yandex.ru

Дождевые черви играют важную роль в трансформации и перераспределении почвенного органического вещества, однако влияние отдельных инвазивных видов на его содержание в конкретных типах почв остается недостаточно изученным. Цель исследования – установить влияние инвазивного вида *Aporrectodea caliginosa* на изменение содержания общего органического вещества в черноземах гидрометаморфизованных в вегетационном полевом эксперименте по сравнению с контролем. Полевой эксперимент в мезокосмах был проведен по блочно-рандомизированному дизайну с пятью повторностями на территории полевого стационара Омского государственного педагогического университета. Эксперимент включал два варианта: моновидовую культуру *A. caliginosa* и контроль без дождевых червей. В каждый мезокосм вносили по шесть половозрелых особей *A. caliginosa.* После трехмесячной экспозиции проводили послойный отбор почвенных проб. Содержание органического вещества определяли фотометрически в соответствии с ГОСТ 26213-2021. Эффект вида определялся разницей между содержанием органического вещества в варианте с *A. caliginosa* и контролем. Статистическую обработку выполняли с использованием многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и теста Дункана. Установлено, что само присутствие *A. caliginosa* не оказывало статистически значимого влияния на содержание почвенного органического вещества, однако выявлено послойное значимое влияние. В слое 11–15 см содержание органического вещества снизилось на 9 %, тогда как в слоях 21–30 и 31–40 см увеличилось соответственно на 12 и 6 % по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют о неоднородном воздействии *A. caliginosa*, связанном с вертикальным перераспределением и трансформацией органического вещества. Таким образом, влияние данного вида нельзя однозначно характеризовать как повышение или снижение содержания почвенного органического вещества.

Ключевые слова: мезокосм, фотометрия, черноземы гидрометаморфизованные, инвазивный вид, *Aporrectodea caliginosa*

THE EFFECT OF USING *APORRECTODEA CALIGINOSA* ON THE CONTENT OF SOIL ORGANIC MATTER

Unru D. P. ORCID ID 0009-0002-1495-7631

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Pedagogical University", Omsk, Russian Federation, e-mail: unrudarya@yandex.ru

Earthworms play an important role in the transformation and redistribution of soil organic matter, but the impact of individual invasive species on its content in specific types of soil remains insufficiently studied. The aim of the study is to determine the effect of the invasive species *Aporrectodea caliginosa* on the content of total organic matter in hydrometamorphosed chernozems under the conditions of a vegetation field experiment compared to the control. The field experiment in mesocosms was conducted using a block-randomized design with five repetitions on the territory of the field station of Omsk State Pedagogical University. The experiment included two variants: a monospecific culture of *A. caliginosa* and a control without earthworms. Six mature individuals of *A. caliginosa* were introduced into each mesocosm. After a three-month exposure period, layer-by-layer soil samples were taken. The organic matter content was determined photometrically in accordance with GOST 26213-2021. The species effect was determined by the difference between the organic matter content in the variant with *A. caliginosa* and the control. Statistical analysis was performed using multifactor analysis of variance (ANOVA) and the Duncan test. It was found that the mere presence of *A. caliginosa* did not have a statistically significant effect on the content of soil organic matter; however, a layer-specific significant effect was identified. In the 11–15 cm layer, the organic matter content decreased by 9 %, while in the 21–30 cm and 31–40 cm layers, it increased by 12 % and 6 %, respectively, compared to the control. The obtained results indicate a heterogeneous impact of *A. caliginosa*, associated with the vertical redistribution and transformation of organic matter. Thus, the influence of this species cannot be unequivocally characterized as an increase or decrease in the content of soil organic matter.

Keywords: mesocosm, photometry, gleyic chernozems, invasive species, *Aporrectodea caliginosa*

Введение

Почвенное органическое вещество (ПОВ) – это компонент почвы, состоящий из остатков растений и животных на различных стадиях разложения, клеток и тканей почвенных организмов, а также веществ, синтезируемых почвенными организмами [1]. Его динамика зависит от поступления растительных остатков, интенсивности их разложения, активности микроорганизмов и почвенной фауны. Изучение факторов, регулирующих трансформацию ПОВ, важно

для оценки функционирования и устойчивости почвенных экосистем [1, 2].

Значительную роль в трансформации почвенного органического вещества играют дождевые черви [3]. Благодаря питанию почвенным материалом и растительными остатками, образованию копролитов и системе ходов, их деятельность способна одновременно ускорять разложение органических субстратов и способствовать физической стабилизации органического вещества в почвенных агрегатах [4]. При этом характер и интенсивность воздействия во многом определяются видовой принадлежностью и экологической группой дождевых червей, что подтверждается глобальным метаанализом [5].

На территории Западной Сибири за последние 30 лет распространились инвазивные виды дождевых червей, постепенно вытесняя аборигенные [6]. Один из них – инвазивный эндогейный вид *Aporrectodea caliginosa*, пришедший с территории Европы. В процессе питания *A. caliginosa* поглощает почвенный материал, обогащенный органическими остатками, и возвращает его в окружающую среду в виде копролитов. Это сопровождается пространственным перемещением веществ и изменением их доступности для почвенных микроорганизмов [7, 8]. Например, Kusińska et al. обнаружили, что в условиях многовидового травостоя присутствие *A. caliginosa* сопровождалось увеличением содержания органического углерода по сравнению с исходным состоянием почвы [9]. Необходимость изучения воздействия *A. caliginosa* также обусловлена распространением данного вида в агроэкосистемах.

A. caliginosa на территории Западной Сибири распространен в черноземах гидрометаморфизованных. Данный тип почвы характеризуется высоким исходным содержанием органического вещества и относительно близким залеганием грунтовых вод. Черноземы обладают потенциалом накопления органического углерода, однако интенсивность его трансформации может существенно изменяться под воздействием дождевых червей.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных роли дождевых червей в трансформации органического вещества, данные о влиянии отдельных инвазивных видов на его содержание в конкретных типах почв остаются неполными. В частности, недостаточно изученным является воздействие *A. caliginosa* на содержание общего органического вещества в черноземах гидрометаморфизованных. Это определяет необходимость проведения исследования, позволяющего оценить влияние данного вида.

Цель исследования – установить влияние инвазивного вида *A. caliginosa* на изменение содержания общего органического вещества в черноземах гидрометаморфизованных в вегетационном полевом эксперименте по сравнению с контролем.

Материалы и методы исследования

Полевой эксперимент в мезокосмах на черноземах гидрометаморфизованных проводился в течение вегетационного периода. В качестве площадки эксперимента была выбрана территория полевого стационара Омского государственного педагогического университета (г. Омск, 55°02'9" с. ш., 73°22'8" в. д.). В ходе исследования были изучены черноземы гидрометаморфизованные (Gleyic Chernozems) [10] с глубиной гумусово-аккумулятивного горизонта больше 40 см.

Половозрелые дождевые черви были собраны в окрестностях с. Чернолучье Омского района (55°16'2" с. ш., 73°02'6" в. д.). Эксперимент длился в период с 11 июля по 27 сентября 2022 г. (вегетационный период) и имел блочный дизайн с пятью повторностями. Подробная методика организации полевого эксперимента в мезокосмах и описание площадки представлены в работах [11].

Мезокосмы представляли собой трубы ПВХ длиной 50 см и диаметром 15 см. Дно труб запечатывалось тканью для сит № 76. Из нее же были изготовлены проницаемые для воздуха и влаги съемные крышки. Мезокосмы заполнялись почвой, предварительно просеянной для дефаунизации. В качестве подстилки вносились листья *Populus tremula* (L., 1753) (12,0 ± 0,1 г на каждый мезокосм). Вариантами эксперимента были моновидовая культура *A. caliginosa* и контрольный вариант без червей. В один мезокосм вносилось 6 особей дождевых червей.

Влажность на начало эксперимента стандартизировали на уровне 60 % во всех вариантах мезокосмов. При снижении средней влажности ниже 40 % (определялось влагомером TR 46908, TR di Turoni & c. Snc, Италия) почву в мезокосмах поливали дистиллированной водой объемом 450 мл.

После экспозиции мезокосмы были извлечены из грунта и разобраны с послойным отбором проб почвы. Шаг отбора проб составлял 5 см до глубины 20 см и 10 см – от 20 до 40 см. Для анализа использовали все слои почвы.

Поскольку pH почв был больше 7, содержание органического вещества в высушенных пробах почв определяли в соответствии с ГОСТ 26213-2021 с помощью фотометра «Эксперт-003» (Econix-Expert, РФ) методом окисления бихроматом калия в серной кислоте с предварительным отбором органических остатков (листвы, корней растений). Всего выполнено 180 измерений (2 варианта * 5 повторностей * 6 слоев * 3 аналитических повторности). Для получения данных об эффекте вида определяли разницу между содержанием ПОВ в варианте с *A. caliginosa* и контролем. Нормальность распределения данных оценивали с помощью теста Шапиро – Уилка. Поскольку распределение данных для выборок значимо не отличалось от нормального ($p > 0,05$), использовались параметрические статистические методы. Оценку влияния дождевых червей на содержание органического вещества провели с помощью многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), а также многорангового теста Дункана (Duncan's test). Все статистические тесты выполнены в программном пакете Statistica 13.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты (табл. 1) показывают, что влияние *A. caliginosa* на содержание ПОВ определяется прежде всего глубиной почвенного слоя.

Фактор присутствия *A. caliginosa* не оказал статистически значимого влияния на содержание ПОВ, тогда как фактор «глубина» имел значимый эффект, а также значимым оказалось взаимодействие факторов «*A. caliginosa* * глубина» (табл. 2). Таким образом, полученные данные не позволяют рассматривать воздействие вида как однозначное увеличение или снижение содержания ПОВ при рассмотрении гумусово-аккумулятивного горизонта как единого слоя, так как влияние имеет выраженный пространственный характер.

Наиболее выраженный отрицательный эффект воздействия *A. caliginosa* отмечен в слое 11–15 см, где содержание ПОВ снизилось на 9 % по сравнению с контролем (рисунок). Одним из возможных механизмов такого изменения может быть ускорение трансформации органического вещества вследствие питания и стимуляции микробиологической активности. *A. caliginosa* относится к эндогейным дождевым червям, для которых характерно потребление минеральной почвы, содержащей органические компоненты. При прохождении субстрата через кишечник червя происходит его механическая переработка и смешивание с кишечным содержимым и слизью, что может изменять доступность углеродсодержащих соединений для микроорганизмов. В исследовании, посвященном ферментативной активности в копролитах *A. caliginosa*, показано, что использование растительных остатков в качестве пищевого субстрата сопровождалось изменением активности ферментов, участвующих в приобретении углерода, азота и фосфора. Авторы отмечают, что дождевые черви обеспечивают почвенные микроорганизмы органическими ресурсами и слизью, что может усиливать процессы переработки органического вещества [12].

Таблица 1

Результаты измерения содержания ПОВ в вегетационном полевом эксперименте

Слой, см	Вариант	ПОВ среднее, %
0–5	*A. caliginosa*	6,50 ± 0,13
	контроль	6,81 ± 0,13
6–10	A. caliginosa	6,72 ± 0,14
	контроль	6,39 ± 0,10
11–15	*A. caliginosa*	6,84 ± 0,09
	контроль	7,52 ± 0,09
16–20	*A. caliginosa*	6,64 ± 0,07
	контроль	6,82 ± 0,05
21–30	*A. caliginosa*	6,92 ± 0,15
	контроль	6,19 ± 0,08
31–40	A. caliginosa	6,68 ± 0,05
	контроль	6,30 ± 0,15

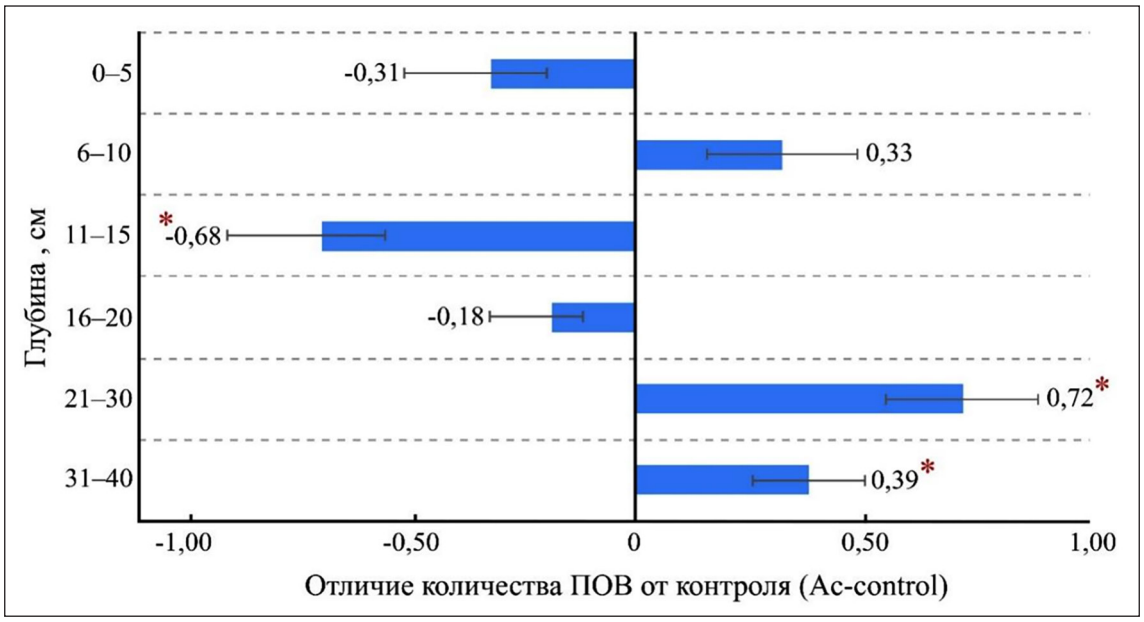
Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа влияния *A. Caliginosa* на почвенное органическое вещество (жирным шрифтом выделено значимое влияние факторов)

Источник изменчивости	SS (сумма квадратов	df (число степеней свободы)	MS (межгрупповая дисперсия)	F-критерий	p
A. caliginosa	0,029	1	0,029	0,49	0,486
Глубина	3,221	5	0,644	11,01	< 0,001
A. caliginosa *Глубина	3,412	5	0,682	11,66	< 0,001
Ошибка (внутри группы)	2,809	48	0,059	–	–

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



Эффект влияния A. caliginosa на содержание ПОВ на разной глубине (– показывает значимые отличия (p ≤ 0,05) ПОВ между вариантом с A. caliginosa и контролем)*
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Важным обстоятельством является то, что уменьшение ПОВ в слое 11–15 см сопровождалось его увеличением в более глубоких слоях. В слое 21–30 см содержание ПОВ при наличии *A. caliginosa* было на 12 % выше контроля, а в слое 31–40 см – на 6 % выше. Подобная разнонаправленность эффектов позволяет предположить, что деятельность дождевых червей приводит не только к ускорению трансформации органического вещества, но и к его вертикальному перераспределению.

Именно перемещение органического вещества рассматривается в современных исследованиях как один из ключевых механизмов воздействия почвенной фауны на формирование и сохранение органического вещества. Angst et al. подчеркивают, что для дождевых червей такой механизм особенно выражен вследствие сочетания роющей деятельности и формирования копролитов [13]. Поэтому увеличение ПОВ в слоях 21–30 и 31–40 см может быть связано с поступлением органического материала из вышележащих горизонтов и его последующим включением в почвенную матрицу.

Дополнительным механизмом может выступать образование почвенных агрегатов. Копролиты дождевых червей отличаются от окружающей почвы по структуре и химическим свойствам и в процессе старения могут становиться центрами формирования устойчивых микроагрегатов. Исследование Li et al. показало, что внесение копролитов

дождевых червей увеличивало содержание водоустойчивых агрегатов и содержание органического углерода в агрегатных фракциях. При этом наиболее выраженное повышение стабильности углерода наблюдалось в микроагрегатах [14]. Также Puche et al. в эксперименте продолжительностью 400 суток показали, что свежие копролиты характеризуются повышенным содержанием органического углерода и органического вещества, однако со временем наиболее лабильная часть углерода теряется. Одновременно физическая защита органического вещества внутри структуры копролитов возрастает, и часть углерода может сохраняться в течение длительного периода [15]. Поэтому, вероятно, выявленное увеличение ПОВ на 12 % в слое 21–30 см и на 6 % в слое 31–40 см не следует автоматически рассматривать как увеличение долгосрочного запаса стабильного углерода. Оно может отражать как поступление органического материала в данные горизонты, так и временное накопление относительно лабильных соединений. Таким образом, результаты трехмесячного вегетационного эксперимента, вероятно, отражают относительно раннюю стадию взаимодействия *A. caliginosa* с ПОВ. Часть обнаруженных изменений могла быть связана с активной фазой трансформации и перераспределения органического вещества, тогда как долгосрочная стабилизация могла еще не проявиться полностью.

Следует также учитывать, что эффект дождевых червей зависит от поступающей подстилки. Недавнее исследование Petit-dit-Grézériat et al. показало, что *A. caliginosa* активно взаимодействует с органическими субстратами, причем характеристики и доступность органического материала влияют на его потребление и включение в почвенную систему [16]. Это позволяет предположить, что присутствие подстилки могло усиливать воздействие *A. caliginosa*.

Таким образом, снижение содержания ПОВ в слое 11–15 см и его увеличение в более глубоких горизонтах могут отражать одновременное действие нескольких процессов: перемещение органического материала в результате биотурбации, его переработку микроорганизмами, образование копролитов и агрегатов, а также последующую физическую защиту части органического вещества. Полученные данные позволяют предположить, что *A. caliginosa* оказывает на почвенное органическое вещество комплексное воздействие.

Следует подчеркнуть, что выявленное увеличение ПОВ в отдельных слоях не следует непосредственно интерпретировать как доказательство долговременной секвестрации углерода. Содержание ПОВ характеризует общий пул органического вещества, но не позволяет установить его химическую природу, время пребывания в почве и степень устойчивости.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показывает, что присутствие *A. caliginosa* не вызвало равномерного изменения содержания ПОВ в вегетационном эксперименте на черноземах гидрометаморфизованных. Вид способствовал вертикальному перераспределению веществ. При этом полученные результаты согласуются с современным представлением о дождевых червях как о почвенных инженерах, способных одновременно ускорять трансформацию органического вещества, перемещать его по профилю и создавать условия для его физической и минеральной стабилизации. Влияние *A. caliginosa* на органическое вещество следует рассматривать не как однозначное увеличение или уменьшение его содержания, а как комплексный процесс пространственного перераспределения и изменения доступности ПОВ.

Список литературы

1. Carvalho M. L., Maciel V. F., Bordonal R. de O., Carvalho J. L. N., Ferreira T. O., Cerri C. E. P., Cherubin M. R. Stabilization of organic matter in soils: drivers, mechanisms, and analytical tools – a literature review // Rev. Bras. Cienc. Solo. 2023.Vol.47.P.e0220130.DOI:10.36783/18069657rbcs20220130.

2. Blouin M., Hodson M. E., Delgado E. A., Bakerd G., Brussaarde L., Buttf K. R., Daig J., Dendoovenh L., Peresi G., Tondohj J. E., Cluzeauk&J.-J., Brun D. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services // European Journal of Soil Science. 2013. Vol. 64. Is. 2. P. 161–182. DOI: 10.1111/ejss.12025.

3. Kooch Y., Heydari M., Parsapour M. K., Valkó O. Earthworm: a keystone species of soil quality, health and functions // Acta Oecologica. 2025. Vol. 128. Art. 104106. DOI: 10.1016/j.actao.2025.104106.

4. Dang H. X., Pham Q. V., Tran T. M., Rumpel C., Bottinell N. Earthworm impacts on soil carbon storage: the importance of quantifying all drilosphere compartments // Applied Soil Ecolog. 2025. Vol. 215. P. 106448. DOI: 10.1016/j.apsoil.2025.106448.

5. Vidal A., Blouin M., Lubbers I., Capowiez Y., Sanchez-Hernandez J. C., Calogiuri T., Van Groenigen J. W. The role of earthworms in agronomy: Consensus, novel insights and remaining challenges // Advances in Agronomy. 2023. Vol. 181. P. 1–78. DOI: 10.1016/bs.agron.2023.05.001.

6. Huang W., González G., Zou X. Earthworm abundance and functional group diversity regulate plant litter decay and soil organic carbon level: A global meta-analysis // Applied Soil Ecology. 2020. Vol. 150. P. 103473. DOI: 10.1016/j.apsoil.2019.103473.

7. Golovanova E. V., Kniazev S. Yu., Babiy K. A., Tsvirko E. I., Karaban K., Solomatin D. V. Dispersal of earthworms from the Rudny Altai (Kazakhstan) into Western Siberia. // Ecol. Montenegrina. 2021. Vol. 45. P. 48–61. DOI: 10.37828/em.2021.45.9.

8. Huang W., Gonzalezc G., Zou X. Earthworm abundance and functional group diversity regulate plant litter decay and soil organic carbon level: A global meta-analysis // Appl. Soil Ecol. 2020. Vol. 150. P. 103473. DOI: 10.1016/j.apsoil.2019.103473.

9. Jouquet P., Dauber J., Lagerlöf J., Lavelle P., Lepage M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops // Applied Soil Ecology. 2006. Vol. 32. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.07.004.

10. Kusińska A., Makulec G., Oktaba L. Role of *Aporrectodea caliginosa* in the processes of soil organic matter transformation under the condition of monoculture and multispecies plant community // Polish Journal of Soil Science. 2012. Vol. 45. Art. 1. P. 9–16.

11. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. FAO, Rome.

12. Unru D., Babiy K., Kniazev S., Golovanova E. Associations of Endogeic Earthworm Species and Soil Organic Matter: Results of One-Year Experiment on Gleyic Chernozem // Eur. Soil Sci. 2026. Vol. 59. Art. 6. P. 113. DOI: 10.1134/S106422932560486X.

13. Domínguez A., Gabbarini L., Rodríguez M. P., Escudero H., Wall J., Bedano C. Crop residues used as food drive enzyme activation and enzymatic stoichiometry in casts of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) // Applied Soil Ecology. 2021. Vol. 166. Art. 104000. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.104000.

14. Angst G., Potapov A., Joly F.-X., Angst Š., Frouz J., Ganault P., Eisenhauer N. Conceptualizing soil fauna effects on labile and stabilized soil organic matter // Nature Communications. 2024. Vol. 15. Art. 5005. DOI: 10.1038/s41467-024-49240-x.

15. Li Y., Wang J., Shao M. Application of earthworm cast improves soil aggregation and aggregate-associated carbon stability in typical soils from Loess Plateau // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 278. Art. 111504. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111504.

16. Puche N., Rumpel C., Le Mer G., Jouquet P. Mechanisms and kinetics of (de-) protection of soil organic carbon in earthworm casts in a tropical environment // Soil Biology and Biochemistry. 2022. Vol. 170. Art. 108686. DOI: 10.1016/j.soilbio.2022.108686.

17. Petit-dit-Grézériat L., Vallayer M., Rault M., Pelosi C. Aporrectodea caliginosa life history traits are improved by positive earthworm interaction and organic matter addition // European Journal of Soil Biology. 2024. Vol. 122. P. 103654. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2024.103654.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-14-20073) и Министерства науки Омской области (соглашение № 10 от 22.04.2026).

Financing: The study was conducted with the financial assistance of the Russian Science Foundation (Project No. 25-14-20073) and the Ministry of Science, Higher Education, and Scientific and Technological Development of the Omsk Region (Agreement No. 10, dated April 22, 2026).

СТАТЬИ

УДК 504:574.587(262.54)
DOI 10.17513/use.38550

CC BY 4.0

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 2025 ГОДА

[1,2]Волощук М. С., [1,3]Ничаевский А. А., [1]Елфимова Н. С., [1]Бондарев С. В., [1]Трушков А. В., [1]Жукова С. В., [2]Беспалова Л. А.

[1]Южный филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Ростов-на-Дону, Российская Федерация, e-mail: mixail.voloshhuk@gmail.com;
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Институт наук о Земле, Ростов-на-Дону, Российская Федерация;
[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Представлены результаты оценки экологического состояния макрозообентоса Азовского моря по материалам гидробиологических и гидрологических съёмок 2025 года. Проанализированы таксономический состав, численность, биомасса, структура доминирования и показатели биоразнообразия донных сообществ Таганрогского залива и собственно моря. В исследованной акватории зарегистрировано около 45 таксонов макрозообентоса. Установлена выраженная пространственная неоднородность сообществ: наиболее сбалансированная структура отмечена в центральной части Таганрогского залива и восточном районе моря, тогда как в южной части собственно моря выявлено усиление доминирования отдельных таксонов. Основную долю общей биомассы, превышающую 90%, формировали двустворчатые моллюски. Сопоставление гидробиологических и гидрологических данных показало наиболее выраженную связь биомассы макрозообентоса с придонной солёностью. По мере увеличения солёности возрастала роль морских и эвригалинных видов, прежде всего крупных двустворчатых моллюсков. Особое значение имел инвазивный вид *Anadara kagoshimensis*, биомасса которого положительно коррелировала с придонной солёностью. Полученные результаты свидетельствуют о продолжающейся перестройке донных сообществ Азовского моря в условиях современного осолонения. Наиболее высокие значения биомассы отмечены в северном, западном и южном районах собственно Азовского моря.

Ключевые слова: Азовское море, геоэкологическое состояние, макрозообентос, биомасса, биоразнообразие, солёность, донные сообщества

Благодарности: *авторы выражают благодарность Живоглядовой Любови Александровне за научное наставничество, ценные рекомендации и консультативную поддержку при подготовке исследования.*

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE MACROZOOBENTHOS OF THE SEA OF AZOV ACCORDING TO THE DATA OF 2025

[1,2]Voloshchuk M. S., [1,3]Nichaevskiy A. A., [1]Elfimova N. S., [1]Bondarev S. V., [1]Trushkov A. V., [1]Zhukova S. V., [2]Bespalova L. A.

[1]The Southern branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography", Rostov-on-Don, Russian Federation, e-mail: mixail.voloshhuk@gmail.com;
[2]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Southern Federal University", Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation;
[3]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donskoy State Technical University", Rostov-on-Don, Russian Federation

The results of the assessment of the ecological state of the macrozoobenthos of the Sea of Azov are presented based on the materials of hydrobiological and hydrological surveys conducted in 2025. The taxonomic composition, abundance, biomass, dominance structure, and biodiversity indicators of the bottom communities of the Taganrog Bay and the sea itself have been analysed. Approximately 45 macrozoobenthos taxa have been recorded in the studied water area. A pronounced spatial heterogeneity of communities has been established: the most balanced structure is noted in the central part of the Taganrog Bay and the eastern region of the sea, while in the southern part of the sea proper, an increased dominance of individual taxa has been revealed. The main share of the total biomass, exceeding 90%, was formed by bivalves. A comparison of hydrobiological and hydrological data showed the most pronounced relationship between macrozoobenthos biomass and bottom salinity. As salinity increased, the role of marine and euryhaline species, primarily large bivalves, increased. Of particular importance was the invasive species Anadara kagoshimensis, whose biomass positively correlated with bottom salinity. The results obtained indicate the ongoing restructuring of the bottom communities of the Sea of Azov in the conditions of modern salinization. The highest biomass values were observed in the northern, western, and southern regions of the Sea of Azov proper.

Keywords: Sea of Azov, geoecological assessment, macrozoobenthos, biomass, biodiversity, salinity, benthic communities

Acknowledgements: *The authors express their sincere gratitude to Lyubov Aleksandrovna Zhivoglyadova for her scientific mentorship, valuable recommendations, and advisory support during the preparation of this study.*

Введение

Азовское море представляет собой полузамкнутый водоём, соединённый с Чёрным морем через Керченский пролив. Площадь его акватории составляет около 39 тыс. км², протяжённость достигает примерно 340 км, а наибольшая ширина – около 135 км. Средняя глубина моря составляет около 7 м, максимальная – приблизительно 14 м, благодаря чему Азовское море относится к числу наиболее мелководных морей мира [1].

По данным настоящего исследования, наиболее распространённым типом донного грунта является смесь ила и ракушки, которая существенно превосходит по встречаемости как чисто илистые, так и ракушечные или ракушечно-песчаные отложения. Это указывает на широкое развитие смешанных донных субстратов в Азовском море и подчёркивает их ведущую роль в формировании условий обитания донных гидробионтов. Изменения гидробиологических показателей Азовского моря изучаются давно и демонстрируют пространственную динамику [2; 3]. Современное осолонение связывают с маловодьем и ростом испарения [4]. Для Таганрогского залива показана связь солёности с устойчивостью водных масс, развитием придонной гипоксии и первичным продуцированием органического вещества [5].

Цель исследования – оценить экологическое состояние макрозообентоса Азовского моря по данным гидробиологических и гидрологических съёмок 2025 года и выявить влияние гидрологических условий на пространственную изменчивость биомассы донных сообществ.

Материалы и методы исследования

Отбор проб осуществлялся дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,1 м². Материалы обрабатывали согласно методическим рекомендациям [6]. Промывку бентосных проб осуществляли через сита с диаметром ячеи фильтрации в 1 мм, после чего фиксировали 75%-ным этиловым спиртом [7]. Камеральную обработку проб проводили под бинокуляром. Статистическая систематизация данных, а также расчёт коэффициента Спирмена проводилась в программе Past.

Для измерения гидрометеорологических характеристик использовались следующие приборы: температура воздуха – аспирационный психрометр МВ-4-М, погрешность измерения от ± 2 до ±6%; температура воды – термометр ТМ-10, точность определения – 0,2 °С; скорость ветра определялась анемометром (АРЭ-М); направление ветра определялось приборами судовой навигации (румбы); волнение оценивалось визуально (в баллах); глубина определялась приборами судовой навигации (м); отбор проб воды осуществлялся батометрами ГР-18, Нискина [6]. Схема отбора проб представлена на рисунке 1.

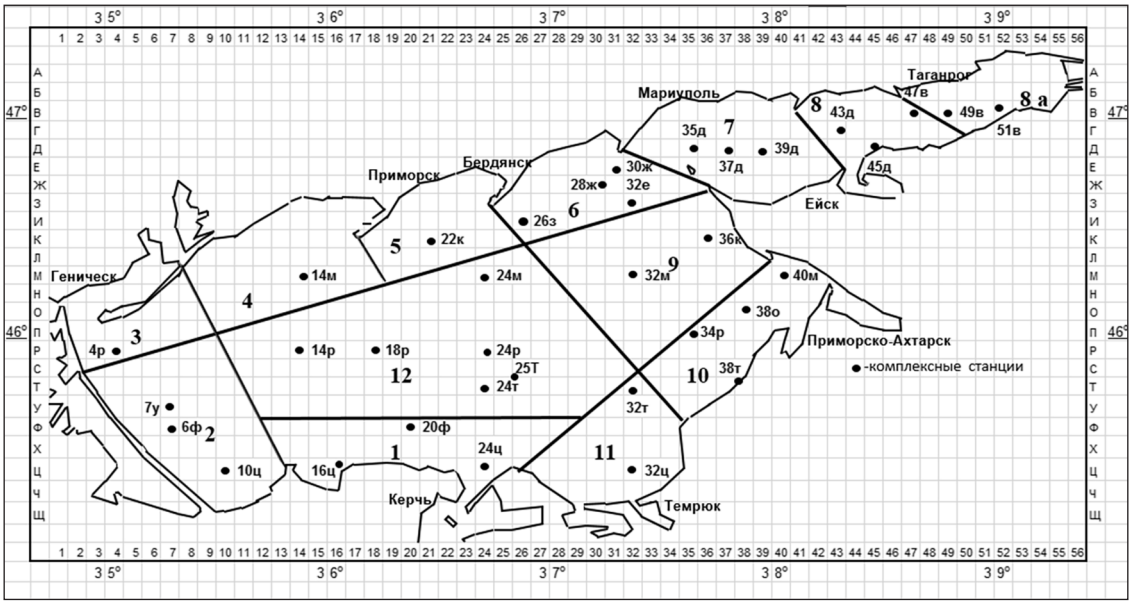


Рис. 1. Схема расположения комплексных станций гидробиологических и гидрологических исследований в Азовском море в 2025 г.
Примечание: составлено авторами по материалам экспедиционных съёмок 2025 года

Результаты исследования и их обсуждение

Таксономический состав

В обследованной акватории Азовского моря, включая Таганрогский залив, в 2025 году зарегистрировано порядка 45 макрозообентосных таксонов. Доминируют моллюски (брюхоногие и двустворчатые) и многощетинковые кольчатые черви. Моллюски обеспечивают подавляющий вклад в биомассу (>90% от общей биомассы). Так, большинство биомассы приходится на крупных моллюсков, таких как *Anadara kagoshimensis, Mytilaster lineatus, Mytilus galloprovincialis*.

Имеются также явные инвазивные компоненты: зарегистрирован инвазивный двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis*, нативный ареал которого расположен в Азиатско-Тихоокеанском регионе (префектура Кагосима, Япония) [8]. Повсеместно отмечаются азово-черноморские инвазивы: мелкий голландский краб *Rhithropanopeus harrisii*, *Amphibalanus improvisus*, а также средиземноморская разновидность мидии – *Mytilus galloprovilincialis*. В литературе также описана находка азиатской мидии *Arcuatula senhousia* в Керченском проливе [9]. Показатели ведущих таксонов по полной гидробиологической выборке приведены в таблице 1.

Пространственное распределение

Численность и биомасса макрозообентоса распределялись по акватории неравномерно. Наиболее выраженные локальные участки повышенной численности были приурочены к южной и западной частям моря; высокие значения биомассы отмечались преимущественно в северной, западной и южной частях. Пространственное распределение обоих показателей представлено на рисунке 2.

В Таганрогском заливе и собственно море численность макрозообентоса, как правило, не превышала 4 тыс. экз./кв. м. Ядра повышенной плотности были приурочены к южному и западному районам, где высокой численности достигали остракоды. Собственно море – биомасса резко возрастает в северной, западной и южной частях (1600-1800 г/м²), падает в центральной и восточной (580-613 г/м²). Численность максимальна на юге (более 21 тыс. экз/м² за счёт мелких ракообразных).

Таблица 1

Структура доминирования макрозообентоса в Азовском море

Таксон	Средняя биомасса, г/м²	Частота встречаемости, %	Район наибольшей встречаемости	Примечание
Anadara kagoshimensis (Tokunaga, 1906)	731,17	75,8	Восточный район	инвазивный вид
Cerastoderma glaucum (Bruguière, 1789)	124,76	42,4	Таганрогский залив	-
Mytilus galloprovincialis (Lamarck, 1819)	58,24	24,2	Центральный район	-
Mya arenaria (Linnaeus, 1758)	47,15	12,1	Таганрогский залив	вселенец (натурализованный)
Amphibalanus improvisus (Darwin, 1854)	33,80	78,8	Таганрогский залив	инвазивный вид
Rhithropanopeus harrisii (Gould, 1841)	8,06	42,4	Таганрогский залив	инвазивный вид
Alitta succinea (Leuckart, 1847)	3,99	60,6	Центральный район	-
Nephtys hombergii Savigny (Lamarck, 1818)	3,78	100,0	Центральный район	-
Ascidiella aspersa (Müller, 1776)	3,20	3,0	Центральный район	инвазивный вид
Mytilaster lineatus	3,12	18,2	Центральный район	-

Примечание: частота встречаемости рассчитана по 33 станционным пробам с учётом всех размерных групп таксона; каждая проба учитывается однократно. Районные и акваториальные средние из подсчёта исключены.

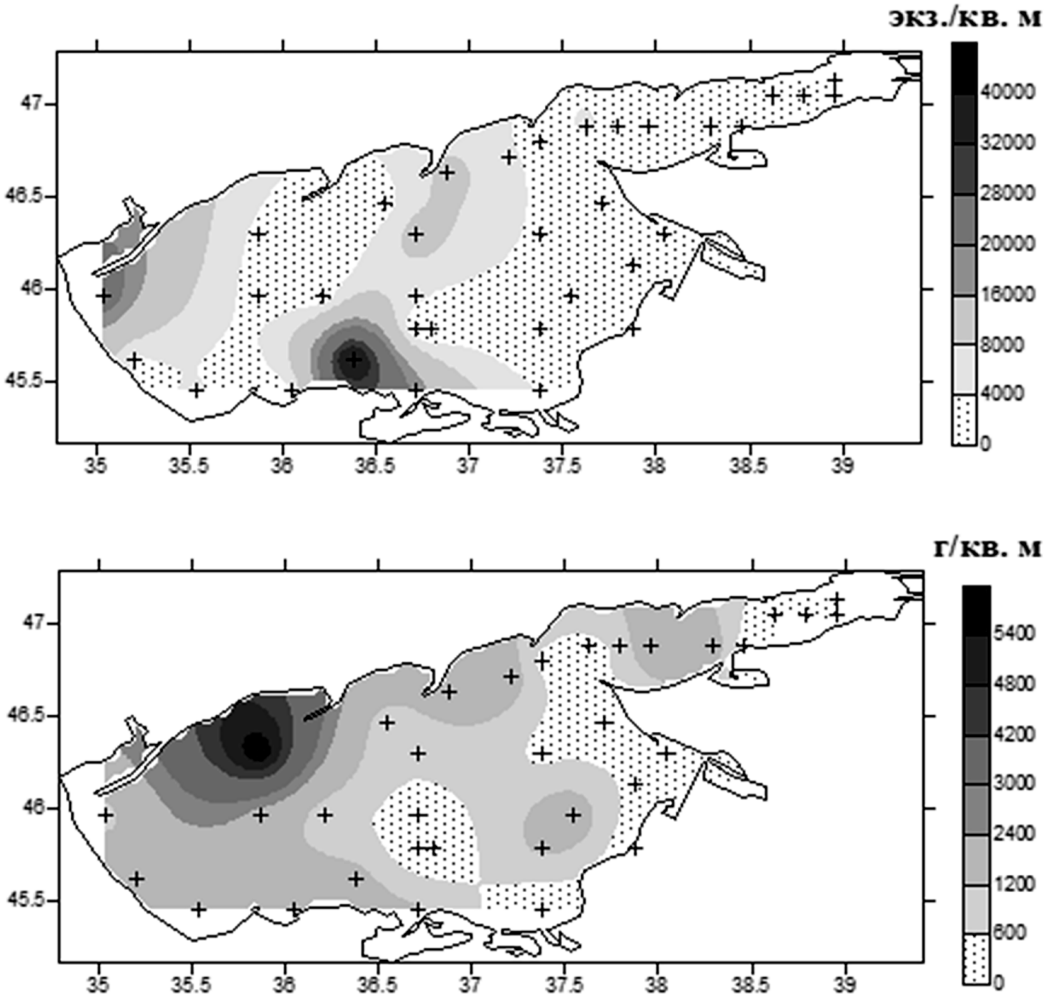


Рис. 2. Пространственное распределение численности и биомассы зообентоса в 2025 г. Примечание: составлено авторами по материалам экспедиционных съёмок 2025 года

Сопоставление с гидрологическими данными

Сопоставление пространственного распределения общей биомассы макрозообентоса с гидрологическими характеристиками показало наиболее выраженную сопряжённость с придонной солёностью. Особенно отчётливо данная закономерность проявляется в Таганрогском заливе, где увеличение средней придонной солёности от 9,34‰ в восточной части до 11,82‰ в центральной и 13,84‰ в западной сопровождается последовательным ростом средней биомассы с 110,6 до 670,1 и 1015,9 г/м² соответственно. Одновременно происходит смена основных таксонов: от преобладания *Amphibalanus improvisus* в наиболее опреснённой части к доминированию крупных двустворчатых моллюсков *Cerastoderma glaucum* и *Mya arenaria* при повышении солёности. Средние показатели биомассы, численности и таксономического богатства по районам представлены на рисунке 3, а три ведущих таксона каждого района и их доли в общей биомассе приведены в таблице 2.

Наиболее выраженная сопряжённость с гидрологическими условиями установлена для биомассы *Anadara kagoshimensis*. Выявлена сильная положительная корреляция биомассы вида с придонной солёностью (ρ Спирмена = 0,858; $p = 6{,}6 \times 10^{-10}$; $n = 31$) [10]. В наиболее опреснённых центральной и восточной частях Таганрогского залива роль *A. kagoshimensis* в формировании биомассы невелика, тогда как в собственно морской части Азовского моря при солёности порядка 15,5-16,6‰ вид в большинстве районов становится основным биомассообразующим компонентом, формируя до 88-96% общей биомассы. Районные показатели совмещённой выборки приведены в таблице 3.

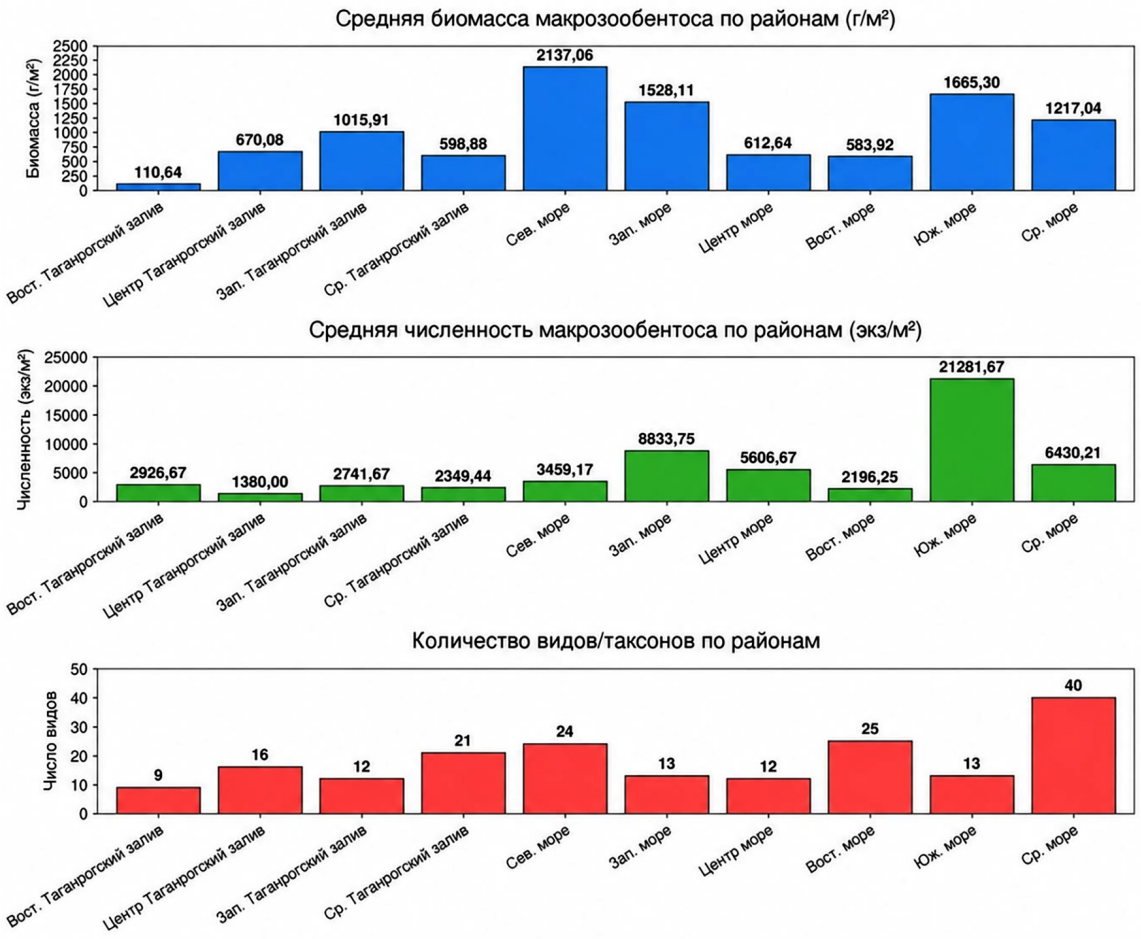


Рис. 3. Графическое представление средних показателей биомассы, численности, таксономического разнообразия
Примечание: составлено авторами по полной гидробиологической выборке 2025 года

Таблица 2

Ведущие таксоны макрозообентоса
по средней биомассе в Азовском море по данным 2025 г.

Район	Первое место	Второе место	Третье место
Таганрогский залив – восток	*Amphibalanus improvisus* – 80,50 г/м² (72,8%)	*Alitta succinea* – 21,33 (19,3%)	*Rhithropanopeus harrisii* – 5,26 (4,8%)
Таганрогский залив – центр	*Cerastoderma glaucum* – 574,13 г/м² (85,7%)	*Mya arenaria* – 68,46 (10,2%)	*Rhithropanopeus harrisii* – 10,57 (1,6%)
Таганрогский залив – запад	*Cerastoderma glaucum* – 513,18 г/м² (50,5%)	*Mya arenaria* – 386,08 (38,0%)	*Anadara kagoshimensis* – 87,07 (8,6%)
Собственно море – север	*Anadara kagoshimensis* – 1595,13 г/м² (88,7%)	*Amphibalanus improvisus* – 48,88 (2,7%)	*Mytilus galloprovincialis* – 48,11 (2,7%)
Собственно море – запад	*Anadara kagoshimensis* – 1533,23 г/м² (94,0%)	*Amphibalanus improvisus* – 58,30 (3,6%)	*Cerastoderma glaucum* – 14,25 (0,9%)
Собственно море – центр	*Anadara kagoshimensis* – 586,71 г/м² (95,8%)	*Amphibalanus improvisus* – 7,22 (1,2%)	*Actinia equina* – 6,85 (1,1%)
Собственно море – восток	*Anadara kagoshimensis* – 297,02 г/м² (50,9%)	*Mytilus galloprovincialis* – 206,99 (35,4%)	*Cerastoderma glaucum* – 34,32 (5,9%)
Собственно море – юг	*Anadara kagoshimensis* – 1547,68 г/м² (92,9%)	*Mytilus galloprovincialis* – 49,94 (3,0%)	*Amphibalanus improvisus* – 43,30 (2,6%)

Примечание: составлено авторами по полной выборке гидробиологических проб 2025 года.

Таблица 3

Гидрологические показатели Азовского моря за 2025 г.

Район	Средняя биомасса, г/м²	Средняя температура дна, °C	Средняя солёность дна, ‰	Средняя скорость ветра, м/с
Таганрогский залив – восточный район	110,64	13,87	9,34	4,67
Таганрогский залив – центральный район	670,08	14,07	11,82	2,75
Таганрогский залив – западный район	1015,91	14,2	13,84	4,67
Собственно море – северный район	2137,06	14,8	16,04	5,2
Собственно море – западный район	1528,11	16,2	16,48	5,25
Собственно море – центральный район	612,64	16,9	16,1	3,6
Собственно море – восточный район	583,92	15,62	15,63	4,75
Собственно море – южный район	1665,3	17,13	16,2	3,5

Примечание: составлено авторами по собственным данным комплексных съёмок 2025 года.

Таблица 4

Коэффициенты множественной регрессии общей биомассы макрозообентоса

Предиктор	b	Стандартная ошибка	t	p	95%-ный доверительный интервал
Свободный член	0,4118	1,0615	0,388	0,7013	−1,7744; 2,5981
Солёность дна, S	0,1913	0,0513	3,726	0,0010	0,0855; 0,2970
Температура дна, T	−0,0556	0,0861	−0,646	0,5243	−0,2330; 0,1218
Скорость ветра, W	0,0735	0,0538	1,367	0,1837	−0,0372; 0,1842

Примечание: оценки получены методом наименьших квадратов; p – двусторонний уровень значимости t-критерия, 95%-ные доверительные интервалы рассчитаны при 25 остаточных степенях свободы.

Множественная линейная регрессия по 29 полным наблюдениям показала положительную связь общей биомассы макрозообентоса с придонной солёностью при учёте придонной температуры и скорости ветра. Полное уравнение модели имеет вид:

$$\log_{10}(B + 1) = 0{,}4118 + 0{,}1913S – 0{,}0556T + 0{,}0735W,$$

где B – общая биомасса макрозообентоса, г/м²; S – придонная солёность, ‰; T – придонная температура, °C; W – скорость ветра, м/с. Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}428$, скорректированный $R^2 = 0{,}359$; $F(3; 25) = 6{,}231$, $p = 0{,}0026$. Все коэффициенты модели, включая свободный член, представлены в таблице 4.

При уровне значимости 0,05 только солёность имела статистически значимый частный коэффициент ($b = 0{,}1913$; $p = 0{,}0010$). Коэффициенты температуры и скорости ветра статистически не отличались от нуля. Модель описывает 42,8% изменчивости логарифмированной биомассы; сама по себе эта связь не устанавливает причинного влияния солёности.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в октябре 2025 года пространственная изменчивость биомассы макрозообентоса Азовского моря в наибольшей степени соответствовала градиенту. В Таганрогском заливе по мере роста придонной солёности от восточной части к западной средняя биомасса возрастала от 110,6 до 1015,9 г/м², что указывает на вы-

раженную перестройку донных сообществ вдоль градиента солёности. В собственно море наиболее высокие значения биомассы также были приурочены к районам с повышенной солёностью около 16‰. В периоды повышения солёности усиливается роль морских и эвригалинных видов, прежде всего двустворчатых моллюсков, а в последние десятилетия – и инвазивных форм вроде *Anadara kagoshimensis*, способных формировать очень высокую биомассу.

Полученные результаты показывают, что современное состояние макрозообентоса Азовского моря в 2025 году характеризуется выраженной пространственной неоднородностью по биомассе, численности и структуре сообществ. В пределах залива по мере перехода от восточной части к центральной и западной возрастает не только средняя биомасса, но и сложность организации сообществ. В собственно море распределение биомассы остаётся более контрастным: максимальные значения отмечены в северном, западном и южном районах, тогда как в центральной и восточной частях биомасса ниже. Это указывает на неодинаковые экологические условия формирования донных биоценозов в различных частях акватории [11].

С экологической точки зрения это позволяет рассматривать осолонение как один из ключевых факторов современной перестройки донных сообществ Азовского моря [12]. Повышение солёности создаёт более благоприятные условия для морских и эвригалинных видов, прежде всего для крупных двустворчатых моллюсков, формирующих основную долю общей биомассы [13]. Именно этим объясняется усиление роли таких видов, как *Anadara kagoshimensis, Cerastoderma glaucum, Mytilus galloprovincialis,* и других форм, характерных для более солёных участков акватории. Следовательно, рост биомассы в условиях современного осолонения отражает не просто количественное увеличение бентоса, а смену доминирующих компонентов донных сообществ. В большинстве районов исследования преобладают илисто-ракушечные грунты, которые создают благоприятные условия для поселения и массового развития моллюсков и других донных организмов [14]. В восточной части Таганрогского залива по данным съёмки 2025 года отмечены наименьшая средняя биомасса и более низкое таксономическое богатство по сравнению с центральной и западной частями залива (табл. 3; рис. 3).

Трансформация структуры донных сообществ в исследуемой территории проявляется в закономерной пространственной смене сообществ: от относительно опреснённых и менее разнообразных комплексов Таганрогского залива к более морским сообществам собственно Азовского моря с увеличением доли эвригалинных и инвазивных форм [15].

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что макрозообентос Азовского моря в 2025 году характеризовался выраженной пространственной неоднородностью по биомассе, численности и структуре сообществ. Наиболее низкие значения биомассы отмечены в восточной части Таганрогского залива, тогда как в северном, западном и южном районах собственно моря биомасса существенно выше, что отражает различия экологических условий в пределах акватории.

Сопоставление гидрологических и гидробиологических данных показало, что ведущим фактором пространственной изменчивости биомассы макрозообентоса в 2025 году являлась солёность. Корреляционный анализ выявил статистически значимую положительную связь между придонной солёностью и биомассой, тогда как температура воды и скорость ветра не продемонстрировали выраженного эффекта воздействия на развитие макрозообентоса. Это позволяет рассматривать осолонение как важнейший гидрологический фактор современной перестройки донных сообществ Азовского моря.

Современное состояние макрозообентоса Азовского моря формируется под комплексным воздействием абиотических и биотических факторов: режима солёности, типа донных грунтов и усиление роли эвригалинных и инвазивных форм. Полученные результаты подтверждают, что макрозообентос может служить надёжным индикатором гидроэкологических изменений в акватории, и представляют основу для дальнейшего мониторинга и прогноза состояния донных экосистем Азовского моря.

Список литературы

1. Бердников С. В., Дашкевич Л. В., Кулыгин В. В. Новое состояние гидрологического режима Азовского моря в XXI веке // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 503. № 1. С. 65–70. URL: https://science-journals.ru/view-article/?a=DANZem2203005Berdnikov&j=danzem&n=1&v=503&y=2022 (дата обращения: 07.04.2026). DOI: 10.31857/S2686739722030057. EDN: REQBQV.

2. Некрасова М. Я. Зообентос Азовского моря после зарегулирования стока Дона // Зоологический журнал. 1972. Т. 51. Вып. 6. С. 789–797.

3. Закутский В. П., Алдакимова А. Я., Толоконникова Л. И., Губина Г. С., Копец В. А., Некрасова М. Я. Изменение планктона и бентоса Азовского моря в условиях антропогенного воздействия // Гидробиологический журнал. 1978. Т. 14. № 1. С. 28–34.

4. 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. URL: https://xn--c1agq7a.xn--p1ai/repository/issues/2023/06/02/ (дата обращения: 07.04.2026). EDN: QPFZZT.

5. Косенко Ю. В., Баскакова Т. Е., Жукова С. В., Барабашин Т. О., Пятинский М. М. 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.

6. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне: сб. науч.-метод. работ / под ред. С. П. Воловика, И. Г. Корпаковой. Краснодар: Изд-во АзНИИРХ, Просвещение-Юг, 2005. 352 с.

7. Жадин В. И. Методы гидробиологического исследования: учебное пособие для государственных университетов. Москва: Высшая школа, 1960. 191 с.

8. Живоглядова Л. А., Ревков Н. К., Фроленко Л. Н., Афанасьев Д. Ф. Экспансия двустворчатого моллюска Anadara kagoshimensis (Tokunaga, 1906) в Азовском море // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14. № 1. С. 83–94. URL: https://invasjour.sev-in.ru/issues/2021_1/Zhivoglyadova_21_1.pdf (дата обращения: 08.05.2026).

9. Ковалёв Е. А., Живоглядова Л. А., Ревков Н. К., Фроленко Л. Н., Афанасьев Д. Ф. Первая находка двустворчатого моллюска Arcuatula senhousia (Benson, 1842) в российской части Азово-Черноморского бассейна // Российский журнал биологических инвазий. 2017. № 3. С. 24–29. URL: https://invasjour.sev-in.ru/issues/2017_3/Kovalev_17_3.pdf (дата обращения: 23.10.2026).

10. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4. № 1. Art. 4. P. 1–9. URL: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf (дата обращения: 12.05.2026).

11. Терентьев А. С. Биоценоз *Anadara kagoshimensis (Tokunaga, 1906)* в Керченском проливе (Азово-Черноморский бассейн) // Экосистемы. 2023. Вып. 36. С. 87–101. DOI: 10.5281/zenodo.10374274 (дата обращения: 02.06.2026).

12. Ревков Н. К., Болтачева Н. А. Донная фауна юго-западной части Азовского моря: трансформация биоценоза макрозообентоса в начале XXI века // Экосистемы. 2021. Вып. 26 (56). С. 51–66. DOI: 10.37279/2414-4738-2021-26-51-66.

13. Ревков Н. К. Особенности колонизации Чёрного моря недавним вселенцем – двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis (Bivalvia: Arcidae)* // Морской биологический журнал. 2016. Т. 1. № 2. С. 3–17. URL: https://marinebiology.ru/mbj/article/view/14 (дата обращения: 02.06.2026).

14. Любимов И. В., Колючкина Г. А., Симакова У. В., Басин А. Б. Донные биоценозы Таманского залива Азовского моря // Океанология. 2023. Т. 63. № 6. С. 936–949. URL: https://sciencejournals.ru/view-article/?a=Okean2306010Lyubimov&j=okean&n=6&v=63&y=2023 (дата обращения: 02.06.2026). DOI: 10.31857/S0030157423060102. EDN: QNBONN.

15. Булышева Н. И., Сёмин В. Л., Шохин И. В., Савикин А. И., Коваленко Е. П., Бирюкова С. В. Чужеродные виды зообентоса в экосистемах Нижнего Дона и Азовского моря на рубеже XX–XXI вв. // Труды ЮНЦ РАН. 2020. Т. VIII. С. 256–273. DOI: 10.23885/1993-6621-2020-8-256-273.

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.

УДК 911.3:338.48(620)
DOI 10.17513/use.38551

CC BY 4.0

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОСТИНИЧНОГО СЕКТОРА ЕГИПТА

Гергес Б. Р. Б.

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

Гостиничный сектор Египта развивается неравномерно. Основная часть номерного фонда сосредоточена на побережье Красного моря, Синае и в столичной агломерации. Внутренние территории испытывают нехватку современных средств размещения. В работе выявлены территориальные различия и обоснованы направления диверсификации гостиничного предложения. Использованы данные CAPMAS, Министерства туризма и древностей Египта, UNWTO. Анализ опирается на районирование страны, включающее шесть макрорегионов: Верхний, Средний, Нижний Египет, Синай, побережье Красного моря и Пустыню. Применялись статистический, пространственный и корреляционный методы. Установлено, что категорийная структура гостиниц тесно связана со специализацией регионов. На курортах преобладают отели 4–5 звезд, тогда как во внутренних районах много объектов без категории. Динамика 2015–2025 гг. показала смену экстенсивного роста структурными изменениями. Новизна работы заключается в комплексном анализе гостиничного сектора на основе авторского районирования и уточнении причин расхождений в данных разных ведомств. Практическая значимость связана с возможностью использования результатов при разработке региональных стратегий и поддержке инвесторов, готовых работать за пределами традиционных курортов. Предложены меры по стимулированию строительства во внутренних регионах, развитию нишевых форматов размещения и вовлечению местных сообществ.

Ключевые слова: гостиничный сектор Египта, территориальные диспропорции, туристско-рекреационное районирование, загрузка гостиниц, внутренние регионы Египта

TERRITORIAL DIFFERENTIATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE HOTEL SECTOR OF EGYPT

Gerges B. R. B.

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

The hotel sector of Egypt is developing unevenly. The bulk of the room stock is concentrated on the Red Sea coast, in Sinai, and in the metropolitan agglomeration. Internal territories experience a shortage of modern accommodation facilities. The paper identifies territorial differences and substantiates directions for diversifying the hotel supply. Data from CAPMAS, the Ministry of Tourism and Antiquities of Egypt, and UNWTO were used. The analysis relies on the country's zoning, which includes six macro-regions: Upper, Middle, Lower Egypt, Sinai, the Red Sea coast, and the Desert. Statistical, spatial, and correlation methods were applied. It has been established that the category structure of hotels is closely related to the specialization of regions. Resorts are dominated by 4–5 star hotels, while internal areas have many uncategorized properties. The dynamics of 2015–2025 showed a shift from extensive growth to structural changes. The novelty of the work lies in a comprehensive analysis of the hotel sector based on the author's zoning and clarification of the reasons for discrepancies in data from different agencies. The practical significance is related to the possibility of using the results in developing regional strategies and supporting investors willing to work outside traditional resorts. Measures are proposed to stimulate construction in internal regions, develop niche accommodation formats, and involve local communities.

Keywords: hotel sector of Egypt, territorial disproportions, tourist-recreational zoning, hotel occupancy, internal regions of Egypt

Введение

Одним из ключевых параметров развития туристской инфраструктуры является обеспеченность средствами размещения. При этом важно обращать внимание именно на диверсификацию гостиниц, наличие разнообразных их видов, способных принять и удовлетворить спрос разнообразных сегментов туристов.

Существенная роль Египта как одного из центров притяжения въездных туристов, в том числе из России, определяет актуальность исследования развития гостиничного сектора, как одного из ключевых в индустрии гостеприимства. Наличие не только достаточного количества средств размещения, но и их сбалансированное распределение по отдельным сегментам

определяет привлекательность страны и ее регионов для различных категорий туристов. При этом важна не только индикация текущего состояния гостиничного сектора Египта, но и разработка потенциальных направлений его дальнейшего развития с позиций положительного влияния на туристскую отрасль.

Цель исследования – выявить территориальные различия в развитии гостиничного сектора Египта и обосновать направления его пространственной диверсификации.

Задачи исследования:

1. Проанализировать текущее состояние гостиничного фонда Египта по данным национальных и международных источников.

2. Оценить распределение гостиниц по категориям и регионам на основе авторского районирования, включающего шесть макрорегионов.

3. Проследить динамику номерного фонда и загрузки гостиниц за 2015–2025 гг.

4. Определить регионы с наибольшим дисбалансом и потенциалом для развития гостиничной инфраструктуры.

5. Разработать рекомендации по стимулированию сбалансированного развития гостиничного сектора.

Научная новизна. Впервые проведен комплексный анализ гостиничного сектора Египта с опорой на авторское туристско-рекреационное районирование. Это позволило увидеть различия не только между прибрежными и внутренними территориями, но и внутри каждого из шести макрорегионов.

Уточнены причины расхождений в данных о гостиничном фонде между CAPMAS и Министерством туризма и древностей Египта. Показано, что эти расхождения связаны с разными подходами к учету: экономическим, регуляторным и инвестиционным.

Выявлена связь между категорийной структурой гостиниц и специализацией регионов. Например, на Красном море и Синае преобладают отели высоких категорий, тогда как в Нижнем и Среднем Египте больше бюджетных и неклассифицированных объектов.

Практическая значимость. Результаты работы могут быть использованы Министерством туризма и древностей Египта при разработке программ поддержки гостиничного сектора и корректировке стратегий территориального развития.

Материалы исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения пространственной организации туризма в странах с неравномерным распределением рекреационных ресурсов.

Материалы и методы исследования

Работа опирается на официальные данные Министерства планирования и экономического развития Египта, Министерства туризма и древностей Арабской Республики Египет, ежегодные сборники Центрального агентства по общественной мобилизации и статистике (CAPMAS), сведения Всемирной туристской организации (UNWTO), а также отчеты международных консалтинговых агентств.

При анализе гостиничного сектора Египта значительное внимание уделялось исследованиям, посвященным устойчивости гостиничных цепочек поставок и управлению кризисными ситуациями [1, 2]. Так, А. Абдельсалам, Н. Рего и Ж. Криспим рассматривают, как египетские отели приспосабливаются к внешним потрясениям, и показывают, что устойчивость гостиницы во многом зависит от ее размера и формы собственности [3, 4]. А. Раслан с коллегами анализируют внедрение экологических практик в отелях Эль-Файюма и то, как это влияет на выбор туристов [5]. С. Эль-Атиека на примере Шарм-эль-Шейха прослеживает, как политические и экономические кризисы отражаются на загрузке и доходах гостиниц [6, 7]. Отдельного внимания заслуживает исследование М. Ахмеда и коллег, посвященное экологическим инновациям в туристических и гостиничных предприятиях Египта [8]. Эти работы помогли учесть фактор нестабильности при разборе динамики номерного фонда.

Отдельно стоит упомянуть работу Б. Р. Б. Гергеса и О. В. Ивлиевой, где предложено авторское туристско-рекреационное районирование Египта [9]. В нем выделены шесть макрорегионов: Верхний Египет, Средний Египет, Нижний Египет, Синайский полуостров, Побережье Красного моря и Пустыня. Именно это деление мы использовали, чтобы проанализировать территориальные особенности гостиничного сектора.

В ходе исследования применялись различные научные методы. Системный подход позволил взглянуть на гостиничный сектор Египта как на единое целое. Статистический анализ помог обработать данные о номерном фонде, категорийности отелей и загрузке. Пространственный и сравнительно-географический методы легли в основу выявления региональных различий. Корреляционный анализ дал возможность количественно оценить связи между инфраструктурными показателями и объемами туристских потоков.

Результаты исследования и их обсуждение

Предваряя анализ гостиничного сектора Египта, следует отразить существующие в стране подходы к сбору информации в данной сфере.

В Египте классификация гостиниц осуществляется Министерством туризма и древностей Египта. Именно эта организация устанавливает стандарты и категории для отелей, основываясь на их инфраструктуре, уровне сервиса, удобствах и других критериях. Гостиницы в Египте делятся на категории, которые обозначаются звездами (от 1 до 5), или не имеют категорию. Чем больше звезд, тем выше уровень сервиса и комфорта.

В настоящее время классификация отелей Египта осуществляется согласно стандартам классификации средств размещения, утвержденным в 2019 г. [10], заменившим собой предыдущие стандарты [11].

Следует также отметить, что в ходе исследования выявлены значительные расхождения в данных между национальными и международными организациями. Ниже представлены сравнительная таблица (табл. 1) и анализ причин.

В табл. 1 сопоставлены три принципиально различных подхода к учету гостиничного фонда Египта, каждый из которых отражает специфические цели и задачи оценки. Если обратиться к данным Центрального агентства по общественной мобилизации и статистике (CAPMAS), они дают максимальные цифры: 1510 объектов размещения и 232 716 номеров [12]. В эту статистику попадают все лицензированные жилые объекты, используемые как места временного проживания, независимо от наличия звезд и ориентации на того или иного туриста. Такой широкий охват позволяет увидеть общую картину предложения на рынке, включая гостиницы для внутренних поездок, транзитных гостей и даже жилье, сдаваемое в долгосрочную аренду. На результаты данного подхода ориентируется автор в статье.

Министерство туризма и древностей Египта (МОТА) использует другой принцип учета. Оно принимает во внимание только классифицированные отели, то есть те, что официально получили звезды и прошли лицензирование. Поэтому показатели оказываются ниже: 1213 отелей и 222 716 номеров [13]. На эти данные опираются при составлении официальных отчетов о развитии туризма и при разработке государственных программ поддержки. Ведь они отражают те объекты, которые соответствуют международным стандартам сервиса и могут принимать организованные турпотоки.

Инвестиционный подход, напротив, ориентирован на перспективу и фиксирует наиболее высокие показатели – 1650 объектов на 245 000 номеров. В его основе лежат данные о строящихся и проектируемых гостиничных комплексах, что позволяет оценить динамику развития отрасли и инвестиционную активность [14]. Различия между тремя подходами свидетельствуют о структурных особенностях египетского гостиничного рынка: значительная доля неклассифицированных объектов, ориентированных на внутренний спрос, и высокая инвестиционная активность, направленная на расширение именно сегмента лицензированных средств размещения, соответствующего потребностям международного туризма.

В табл. 2 отражена сводная статистическая таблица гостиничного фонда Египта за 2015–2025 гг. Она позволяет наглядно проследить, как на протяжении десятилетия менялась инфраструктура размещения в Египте: видно не только динамику роста или спада, но и то, какие внешние факторы (от терактов и пандемии до запуска крупных государственных проектов) в каждый конкретный момент влияли на отрасль.

Таблица 1

Сравнительная характеристика подходов к учету гостиничного фонда Египта в 2024 г.

Методология сбора данных	Кол-во номеров	Общее кол-во отелей	Источник данных
Экономический подход. Учитывает все лицензированные жилые объекты как единицы занятости	232,716	1,510	CAPMAS (Нац. агентство)
Регуляторный подход. Учитывает только классифицированные (звездные) отели с постоянной лицензией	222,716	1,213	Минтуризма Египта (МОТА)
Инвестиционный подход. Включает строящиеся проекты (Pipeline), планируемые к вводу в эксплуатацию	245,000	1,650	Fitch

Примечание: составлена автором на основе источников [12–14].

Таблица 2

Сводная статистическая таблица гостиничного фонда Египта за 2015–2024 гг.

Год	Стационарные отели (ед.)	Плавучие отели (ед.)	Общий номерной фонд (номера)	Темп роста (%)
2015	910	185	172 396	Базис
2016	860	170	105 088	-39,0 %
2017	885	175	115 532	+9,9 %
2018	920	180	121 455	+5,1 %
2019	1010	189	128 414	+5,7 %
2020	1030	185	132 500	+3,2 %
2021	1050	185	210 000	+58,5 %
2022	1085	200	218 500	+4,0 %
2023	1120	220	225 700	+3,3 %
2024	1248	262	232 716	+3,1 %

Примечание: составлена автором на основе источника [12].

Благодаря тому, что в табл. 2 сведены данные по стационарным и плавучим отелям, а также темпы изменения номерного фонда, можно количественно оценить не только масштабы кризисных падений, но и скорость восстановления. Можно сделать вывод, что сектор уже развивается только за счет приращения инфраструктуры. Важнее другое – как эти здания распределяются по категориям и по регионам. А это как раз подводит к мысли, что предложение надо разнообразить.

За последние 11 лет гостиничное хозяйство Египта прошло через несколько совсем непохожих периодов. Начало, 2015–2016 гг., было тяжелым. После теракта туристы почти перестали приезжать. Номерной фонд просел почти на 40 %. Это была самая болезненная точка. Потом, с 2017 г., медленными темпами началось восстановление. К 2019 г. удалось не просто догнать старые показатели, но даже их перекрыть. Сыграло роль и то, что люди снова стали доверять Египту, и то, что инфраструктуру восстанавливали целенаправленно.

Отдельно стоит обратить внимание на 2020–2021 гг. Несмотря на пандемию, номерной фонд вырос более чем на 58 %. Помогли государственная поддержка и новые инвестиционные проекты. Можно сделать вывод, что кризис стал поводом для модернизации. Правда, число обычных отелей росло медленно. Основной прирост дали не новые здания, а расширение вместимости и повышение категорийности, особенно среди пятизвездочных гостиниц.

С 2022 по 2024 г. началась структурная перестройка. Рост замедлился, но стал другим по качеству. Появились новые курортные зоны, крупные объекты в Эль-Аламейне и Галале. Активнее стали развиваться плавучие отели для круизов по Нилу. Это говорит о том, что отрасль перешла к стратегическому планированию. Основное следствие роста числа отелей – это разнообразие предложения и перераспределение потоков туристов на новые территории.

По данным Центрального агентства по общественной мобилизации и статистике, в 2024 г. в Египте было около 1510 стационарных гостиничных предприятий. Их структура по регионам и категориям отражена в табл. 3.

Представленные в табл. 3 данные позволяют детализировать пространственную структуру гостиничного хозяйства Египта. Наибольшее количество средств размещения сосредоточено в Нижнем Египте (768 отелей), что объясняется как концентрацией деловой и культурной активности в Каирской агломерации и Александрии, так и развитием курортной инфраструктуры на Средиземноморском побережье. Второе место по числу отелей занимает побережье Красного моря (315 объектов), специализирующееся на пляжном и дайвинг-туризме, при этом в данном регионе преобладают отели высоких категорий (4–5 звезд). На Синае также сформирована значительная гостиничная база (260 отелей), однако ее структура более сбалансирована по категориям. В Верхнем и Среднем Египте гостиничная сеть развита слабее (130 и 37 отелей соответственно), что отражает их периферийное положение в системе туристских потоков и преимущественную ориентацию на культурно-познавательный туризм, обслуживаемый в основном небольшими гостиницами и плавучими отелями на Ниле.

Таблица 3

Структура гостиничного фонда по регионам и категориям в 2024 г.

Регион	Всего отелей	Всего номеров	5 звезд	4 звезды	1–3 звезды
Нижний Египет	768	50 316	75	88	605
Большой Каир	180	27 600	42	36	100
Александрия	65	6100	14	18	33
Эль-Аламейн / Матрух	30	5800	10	12	8
Исмаилия	10	1200	1	2	7
Остальные 18 регионов	483	9616	8	20	457
Средний Египет	37	4000	0	6	31
Верхний Египет	130	17 600	30	25	75
Луксор	80	11 200	18	15	47
Асуан	50	6400	12	10	28
Синай	260	71 800	95	82	83
Побережье Красного моря	315	89 000	110	98	107
Красное море	285	84 500	102	88	95
Суэц	30	4500	8	10	12
ИТОГО ПО ЕГИПТУ	1510	232 716	310	299	901

Примечание: составлена автором на основе источника [12].

Стационарные гостиничные предприятия располагаются во всех основных туристских точках Египта, исключением является регион Пустыни, где физически невозможно организовать полноценную гостиничную инфраструктуру и обеспечить туристов удовлетворяющими условиями.

Как видно из данных табл. 3, наибольшее количество средств размещения по-прежнему сосредоточено на побережье Красного моря (315 отелей) и в Нижнем Египте (768 отелей, включая все мухафазы региона). Однако важно отметить, что столь высокий показатель Нижнего Египта достигается за счет включения в статистику многочисленных небольших гостиниц в «остальных мухафазах», которые преимущественно относятся к категориям 1–3 звезды или не имеют категории вовсе. Это отражает не только туристскую, но и хозяйственную специализацию данных территорий, обслуживающих внутренние деловые и транзитные потоки.

Важным индикатором развития отдельных элементов туристской инфраструктуры является динамика ее развития. Сбалансированное развитие международного туризма позволяет планировать увеличение туристских прибытий в различные регионы, а не только в традиционные центры туризма [15].

В этой связи особый интерес представляет анализ категорийной структуры гостиничного фонда в разрезе выделенных макрорегионов, поскольку именно распределение отелей по «звездности» отражает не только сложившийся уровень туристского сервиса, но и специализацию территорий на определенных сегментах потребителей. Курортные зоны, как правило, тяготеют к отелям высоких категорий (4–5 звезд), ориентированным на массовый пляжный отдых по системе «все включено», тогда как центры культурно-познавательного туризма характеризуются более широким спектром средств размещения – от бюджетных хостелов до премиальных отелей, что позволяет принимать различные группы туристов.

На рис. 1–5 представлено соотношение отелей различных категорий по каждому из пяти макрорегионов Египта в 2024 г., что позволяет оценить степень диверсификации туристского предложения и выявить регионы с наибольшим потенциалом для дальнейшего развития гостиничной инфраструктуры.

На рис. 1 отражено соотношение отелей различных категорий в Верхнем Египте.

Верхний Египет располагает наибольшим количеством двухзвездочных гостиниц. На втором месте – гостиницы с пятью звездами. Всего на 4 % трехзвездочные отели уступают пятизвездочным. Только 8 % гостиничных средств размещения не имеют присвоенной категории.

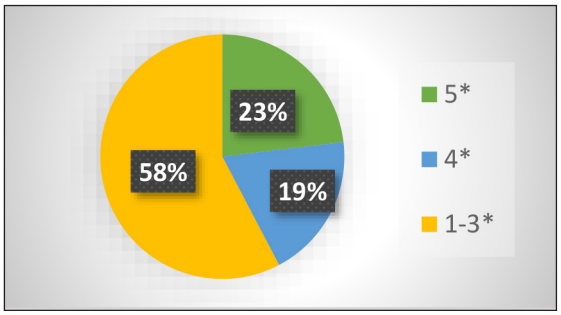


Рис. 1. Соотношение категорий гостиниц Верхнего Египта в 2024 г. Примечание: составлен автором на основе источника [12]

Следует отметить, что регион Верхнего Египта является центром притяжения различных сегментов туристов, что отражается на разнообразии представленных средств размещения.

В результате анализируемый регион отличается наиболее сбалансированным соотношением гостиниц различных категорий из всех туристских регионов страны.

На рис. 2 отражено соотношение отелей различных категорий в регионе Синай.

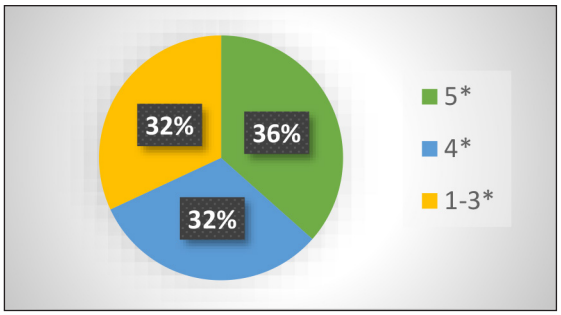


Рис. 2. Соотношение категорий гостиниц региона Синай в 2024 г. Примечание: составлен автором на основе источника [12]

На территории региона Синай наблюдается наиболее сбалансированное соотношение отелей разных категорий среди всех курортных зон страны. Доли трех основных сегментов распределены практически равномерно: отели категории 1–3 звезды занимают 31,9%, четырехзвездочные – 31,5%, а пятизвездочные – 36,5%. Такая структура свидетельствует о высоком уровне диверсификации туристского предложения, позволяющего принимать требовательных гостей, предпочитающих люксовый сервис.

В то же время гостиницы с пятью звездами и гостиницы без категории представлены в регионе в равной наименьшей доле. Отели с одной звездой также относительно мало распространены, хотя их количество и больше, чем у двух перечисленных категорий.

На рис. 3 отражено соотношение отелей различных категорий в Среднем Египте.

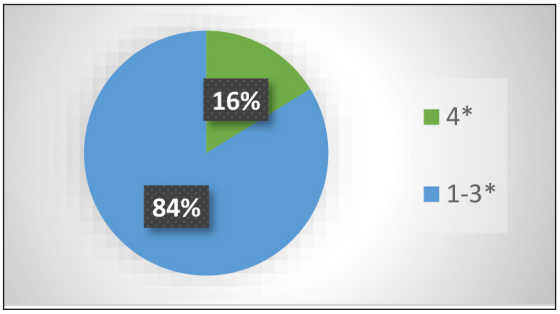


Рис. 3. Соотношение категорий гостиниц региона Средний Египет в 2024 г. Примечание: составлен автором на основе источника [12]

Отличительной чертой региона Средний Египет является полное отсутствие пятизвездочных отелей, что свидетельствует о крайне низком спросе на люксовое размещение на данной территории. Это связано с тем, что регион плохо подходит для самостоятельного туризма. Он далеко от морских курортов и главных культурных центров, поэтому чаще всего через него просто проезжают. Больше половины мест размещения (51,4 %) не имеют категории. Это типично для территорий, где туризм почти не развит. Отели на 2 и 3 звезды занимают по 16,2 %. Значит, есть минимальная база для приема организованных групп, которые едут транзитом или осматривают местные достопримечательности.

На рис. 4 показано, как распределены отели по категориям на Красном море. Этот регион считается главным центром пляжного отдыха в Египте, поэтому гостиничный фонд здесь ориентирован на массовый курортный спрос. Больше всего отелей категории 1–3 звезды (33,3 %). Для такого популярного направления это может быть не совсем априори ожидаемым.

Однако это объясняется как наличием значительного числа бюджетных средств размещения в Хургаде, ориентированных на эконом-сегмент, так и включением в эту категорию небольших гостиниц и апарт-отелей. Четырехзвездочные отели занимают 30,9 % фонда, а пятизвездочные – 35,8 %.

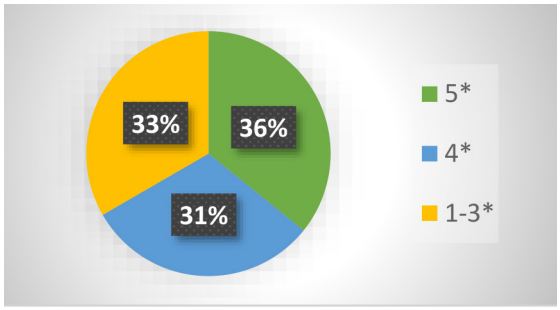


Рис. 4. Соотношение категорий гостиниц региона Красное море в 2024 г. Примечание: составлен автором на основе источника [12]

Интересно, что доля премиального сегмента здесь даже выше, чем в других курортных зонах, что подтверждает тезис о переориентации отрасли на высокобюджетных туристов, готовых к значительным расходам на отдых. Средства размещения без категории или с одной звездой представлены минимально (около 3 %), что характерно для зрелого туристского рынка с устоявшейся классификацией.

На рис. 5 отражено соотношение отелей различных категорий в Нижнем Египте.

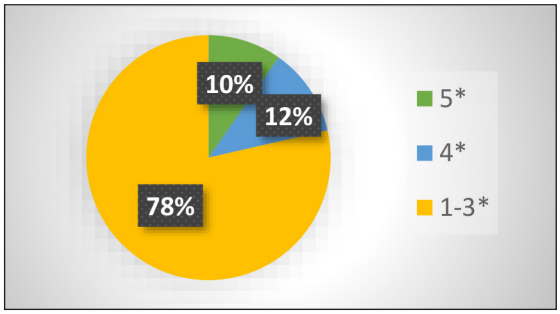


Рис. 5. Соотношение категорий гостиниц региона Нижний Египет в 2024 г. Примечание: составлен автором на основе источника [12]

Как видно из диаграммы, структура гостиничного фонда Нижнего Египта далеко не однородна и имеет свои ярко выраженные особенности. Если смотреть на распределение объектов по «звездности», сразу бросается в глаза, что основную массу составляют совсем не люксовые отели, а скромные гостиницы эконом-класса.

Подавляющее большинство – целых 78 % – это объекты категории 1–3 звезды. Нижний Египет – это не только курортная зона, но и огромная агломерация Большого Каира, промышленные центры и густонаселенные мухафазы Дельты. Там всегда высок спрос на недорогие гостиницы для командировочных, местных жителей и непритязательных туристов, которые приезжают по делам или транзитом.

Для оптимального исследования эффективности использования инфраструктуры средства размещения, необходимо проанализировать показатели загрузки. Динамика загрузки отелей позволит, во-первых, выявить текущие масштабы въездного туризма, а во-вторых, определить резервы для дальнейшего развития.

Для анализа ситуации в международном туризме Египта необходимо проанализировать заполняемость средств размещения. На фактор заполняемости гостиниц влияют как внесезонные, так и сезонные факторы. Последние особо характерны для туристской отрасли, так как она подвержена влиянию изменений климата в более или менее благоприятные для отдельных видов туризма периоды и другим факторам. Однако в целом среднегодовая заполняемость средств размещения по регионам способна дать представление о дифференциации регионов по масштабам использования существующих туристских ресурсов. Среднегодовые значения заполняемости гостиниц по некоторым регионам Египта представлены в табл. 4.

Для того чтобы корректно интерпретировать данные табл. 4, их необходимо соотнести с авторским туристско-рекреационным районированием, предложенным в диссертации. Выделенные в статистике регионы: Красное море, Южный Синай, Большой Каир, а также объединенные Луксор и Асуан – напрямую соответствуют трем ключевым макрорегионам: побережью Красного моря, Синайскому полуострову и Нижнему Египту (в части, относящейся к Каирской агломерации). Верхний Египет, представленный в таблице парой «Луксор и Асуан», показан отдельно, что позволяет увидеть его специфику на фоне более популярных курортных и столичных направлений.

Если смотреть на динамику заполняемости, можно заметить, что для всех регионов характерна общая волнообразная траектория, но с разной амплитудой. Период с 2017 по 2019 г. стал временем устойчивого роста после кризиса 2015–2016 гг. – тогда показатели на Красном море и в Южном Синае поднялись с 35–45 до 65–72 %, а Большой Каир и вовсе достиг 78 %. Луксор и Асуан обычно считаются менее загруженными. Но и они в тот же период достигли 60 %. Это значит, что весь туристский рынок восстанавливался одновременно.

Таблица 4

Среднегодовые значения заполняемости гостиниц Египта за 2015–2024 гг.

Год	Красное море	Южный Синай	Большой Каир	Луксор и Асуан	Средний по Египту
2015	45 %	38 %	48 %	18 %	37,3 %
2016	35 %	28 %	45 %	15 %	30,8 %
2017	52 %	42 %	62 %	35 %	47,8 %
2018	65 %	58 %	72 %	50 %	61,3 %
2019	72 %	65 %	78 %	60 %	68,8 %
2020	25 %	20 %	35 %	12 %	23,0 %
2021	55 %	48 %	60 %	40 %	50,8 %
2022	70 %	62 %	75 %	55 %	65,5 %
2023	78 %	72 %	82 %	65 %	74,3 %
2024	82 %	75 %	85 %	70 %	78,0 %

Примечание: составлена автором на основе источника [12].

В 2020 г. из-за пандемии заполняемость упала везде. В Верхнем Египте она составила всего 12 %, в Каире 35 %. Но уже к 2022 г. показатели не только вернулись к прежним значениям, но и стали выше. Быстрее всего восстановились курортные зоны. Красное море и Южный Синай к 2024 г. вышли на 82 и 75 %. Верхний Египет по абсолютным цифрам отстает, но и он вырос с 12 % в 2020 г. до 70 % в 2024 г. Это говорит о том, что у региона есть потенциал, если помочь ему маркетингом и инфраструктурой.

На основе анализа автор предлагает несколько мер для развития гостиничной индустрии Египта. Первое: нужно стимулировать строительство гостиниц во внутренних районах. Для этого можно давать налоговые льготы, субсидии и упростить согласования для инвесторов, которые готовы работать в Верхнем и Среднем Египте, а также в оазисах Западной пустыни. Второе: разнообразить форматы размещения. Желательно, чтобы были представлены эколоджи, гостевые дома, бутик-отели, апартаменты, кемпинги. Это снизит зависимость от пляжного отдыха и привлечет новых туристов. Третье: вовлекать местные сообщества. Поддерживать семейные мини-отели и гостевые дома в удаленных регионах, обучать персонал, давать микрокредиты на ремонт и оснащение. Четвертое: развивать нишевые виды туризма, которым нужна особая гостиничная база. Это экологический, оздоровительный, приключенческий, научный и гастрономический туризм. Понадобятся спа-отели у минеральных источников, пустынные лагеря, лоджи для наблюдения за птицами.

Следует отметить, что оптимальна реализация всех предложенных мер, иначе сдвиг будет только в некоторых сегментах.

Выводы

Исследование показало следующее.

1. Гостиничный фонд Египта распределен неравномерно. Большая часть номеров и объектов сосредоточена в прибрежных и столичных регионах. Внутренние территории имеют мало гостиниц, и часто они без категории.

2. Категории отелей сильно различаются по регионам. На Красном море и Синае много высококлассных объектов. В Нижнем и Среднем Египте преобладают дешевые и неклассифицированные гостиницы. Из-за этого там трудно принимать требовательных иностранных туристов.

3. За 2015–2025 гг. номерной фонд прошел несколько этапов. Сначала был глубокий спад после кризиса 2015–2016 гг. Потом восстановление к 2019 г. Затем скачок в 2020–2021 гг. И наконец переход к структурным изменениям в 2022–2025 гг. Теперь рост идет не столько за счет новых объектов, сколько за счет увеличения их вместимости и категорийности.

4. Загрузка гостиниц падала и восстанавливалась синхронно во всех регионах. Но устойчивее всего оказались курортные зоны Красного моря и Синая. Верхний Египет хоть и растет, но все еще имеет резерв для увеличения загрузки.

5. Дальше гостиничному сектору нужно не просто расти количественно, а меняться качественно. Надо разнообразить форматы размещения, строить во внутренних регио-

нах, вовлекать местные сообщества и развивать нишевый туризм. Тогда удастся снизить пространственную поляризацию и сделать отрасль устойчивее к кризисам.

Исследование подтверждает, что въездной туризм в Египте – это сложная территориальная система. Ее развитие зависит не только от ресурсов страны, но и от того, как эти ресурсы осваиваются. У Египта есть уникальные природные и культурно-исторические богатства. Но сложившаяся модель их использования привела к устойчивой асимметрии. Основная часть туристских потоков и инфраструктуры сосредоточена в прибрежной полосе.

Выявленные закономерности говорят о том, что дальнейшее наращивание нагрузки на традиционные центры может усилить экологические проблемы, увеличить сезонные колебания и сделать региональные экономики более уязвимыми к внешним кризисам. Поэтому переход к более сбалансированному развитию, с вовлечением внутренних территорий, важен не только с экономической, но и со стратегической точки зрения.

Предложенные направления диверсификации показывают, что такую модель можно реализовать. Их внедрение поможет равномернее распределить туристские потоки, расширить сегменты спроса и создать дополнительные источники дохода для местных сообществ удаленных регионов.

Результаты исследования могут стать методической основой для дальнейшего изучения пространственной организации туризма в странах с контрастным распределением рекреационных ресурсов. Материалы работы могут использовать органы государственного управления туристской сферой при разработке стратегий территориального развития, а также туроператоры, которые хотят расширить географию своих туров.

Список литературы

1. Hasanein A. M., Khairy H. A., Aljoghaiman A., Al-Romeedy B. S. Tackling Supply Chain Disruptions Through Digital Agility: Evidence from the Hotel Industry // Logistics. 2026. Vol. 10. Is. 2. Art. 34. URL: https://www.mdpi.com/2305-6290/10/2/34 (дата обращения: 12.04.2026). DOI: 10.3390/logistics10020034.

2. Elkashak H. A., Mahmoud R. H., Taleb M. A., Elshaer A. M. Examining the Role of Supply Chain Resilience in Enhancing Excellence in the Hotel Industry // Journal of the Faculty of Tourism and Hotels-University of Sadat City. 2025. Vol. 9. Is. 1/3. P. 23–42. URL: https://mfth.journals.ekb.eg/article_427241_08cd278d867c9eaf14735708579585f7.pdf (дата обращения: 12.04.2026).

3. Abdelsalam A., Rego N., Crispim J. The Resilience of the Egypt Hospitality and Tourism Supply Chain // Tourism Planning & Development. 2025. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21568316.2025.2573058 (дата обращения: 12.04.2026). DOI: 10.1080/21568316.2025.2573058.

4. Abdelsalam A., Crispim J. Tourism supply chain resilience: a multi-criteria decision-making framework // Management Decision. 2026. Vol. ahead-of-print. № ahead-of-print. P. 1–28. URL: https://www.emerald.com/md/article-abstract/doi/10.1108/MD-08-2025-2395/1347120 (дата обращения: 12.04.2026). DOI: 10.1108/MD-08-2025-2395.

5. Raslan A., Morsy M., Fayed H., Saad H. Developing Best Practices to Achieve Sustainable Development in Hotels // Sustainable Business and Society in Emerging Economies. 2024. Vol. 6. Is. 3. P. 431–444. URL: https://publishing.globalcsrc.org/ojs/index.php/sbsee/article/view/3131 (дата обращения: 12.04.2026). DOI: 10.26710/sbsee.v6i3.3131.

6. El Atiek S., Goutte S. Impacts, Sustainability, and Resilience on the Egyptian Tourism and Hospitality Industry after the Russian Airplane crash in 2015. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://shs.hal.science/halshs-03917358 (дата обращения: 14.04.2026).

7. El-Atiek S. The Impact of Russian Plane Crash and COVID-19 Pandemic on the Evolution of Hospitality Industry in Egypt since 2013: A case study on applications of Crisis Management // International Academic Journal of Faculty of Tourism and Hotel Management. 2022. Vol. 8. Is. 1. P. 86–120. URL: https://journals.ekb.eg/article_301110.html (дата обращения: 12.04.2026).

8. Ahmed M., Aliane N., Khababa N., Abdou M. Y. K., Agina M. F. Eco-Innovation Drivers and Their Impact on Tourism and the Hospitality Business in Egypt // Administrative Sciences. 2023. Vol. 13. Is. 7. Art. 167. P. 1–21. URL: https://www.mdpi.com/2076-3387/13/7/167 (дата обращения: 14.04.2026). DOI: 10.3390/admsci13070167.

9. Гергес Б. Р. Б., Ивлиева О. В. Туристские регионы и субрегионы Египта // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2022. Т. 16. № 3. С. 63–68. DOI: 10.31161/1995-0675-2022-16-3-63-68.

10. Egypt. Ministerial Decree No. 760 of 2019 on the New Hospitality Criteria (Hotel Classification Standards). Issued in December 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tamimi.com/pdflawupdate/?pageID=13755 (дата обращения: 18.04.2026).

11. El-Sherie T. A. E. Application of the New Norms N.N Modern Tourist Classification System in Alexandria Hotels (Pros and Constraints) // Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality. 2014. Vol. 11. Is. 3. P. 59–74. URL: https://jaauth.journals.ekb.eg/article_301110.html (дата обращения: 18.04.2026).

12. Central Agency for Public Mobilization and Statistics (CAPMAS). Statistical Yearbook 2025. Is. 116. Cairo: CAPMAS, 2025. 135 p.

13. Ministry of Tourism and Antiquities. Egypt's Hotel Capacity Surges in the First Quarter of 2024 // Ministry of Tourism and Antiquities Newsletter. 2024. April. Is. 51. P. 1. URL: https://mota.gov.eg/media/vimgaq5d/mota-newsletter_april_eng.pdf (дата обращения: 12.03.2026).

14. BMI Research: Egypt Tourism Report. 2024 Q4, Issue 4. London: Fitch Solutions Group, 2024. 55 p. [Электронный ресурс]. URL: https://searchworks.stanford.edu/articles/bsx__179079744 (дата обращения: 12.03.2026).

15. World Tourism Organization. National and Regional Tourism Planning: Methodologies and Case Studies. Madrid: WTO. 2004. 249 p. [Электронный ресурс]. URL: https://www.e-unwto.org/doi/book/10.18111/9789284407291 (дата обращения: 12.04.2026).

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.

УДК 911.52
DOI 10.17513/use.38552

CC BY 4.0

ПРОГНОЗИРУЕМОЕ ВЛИЯНИЕ СОЗДАНИЯ ПРУДОВ НА ЛАНДШАФТНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ

Калаев С. В. ORCID ID 0009-0003-9856-9480,
Адодина Е. В. ORCID ID 0000-0002-5245-3496

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, e-mail: kalaevsemen@gmail.com

Воронежская область – крупный аграрный регион России, где практически вся территория антропогенно преобразована. Большинство прудов Центрального Черноземья создаётся путём перегораживания балок и оврагов плотинами. Цель работы – спрогнозировать влияние создания прудов на ландшафтное разнообразие овражно-балочных систем. Обследованы каскад прудов в сельском поселении Новая Жизнь Аннинского района Воронежской области и балка Голая близ села Дивногорья Лискинского района. Построены ландшафтные профили, заложены геоботанические площадки (в каждом урочище – площадка 10 × 10 м с пятью счетными площадками 1 × 1 м), описаны геологическое строение, рельеф, увлажнение, почвы, растительность, урочища и фации. Прогноз построен методом физико-географических аналогий: в качестве аналога использован обследованный каскад прудов, в качестве исследуемого ландшафта – балка Голая. Установлено, что при создании прудов урочища структурных террас и прибалочных склонов сохраняются почти неизменными, тогда как днище балки замещается котловиной пруда. Изменения происходят на уровне фаций: урочища пруда монофациальны, а естественные урочища балки содержат по две фации, что свидетельствует о снижении ландшафтного разнообразия. Затопление вынуждает растения днища балки перемещаться выше по склону, где приживаются не все виды. Растения склонов теряют экологические ниши. Антропогенный прессинг усиливает синантропизацию. Большинство прудов созданы в 1965–1985 гг., сейчас деградируют, что приводит к созданию новых прудов и дальнейшему снижению ландшафтного разнообразия. Создание прудов может снижать ландшафтное и флористическое разнообразие овражно-балочных систем, уничтожать местообитания растений. Необходимо учитывать возможный вред на уровне фаций и наладить регулярный мониторинг прудов как ландшафтных комплексов.

Ключевые слова: ландшафтное разнообразие, урочище, фация, пруд, овражно-балочная система, Воронежская область

FORECASTED IMPACT OF POND CREATION ON THE LANDSCAPE DIVERSITY OF RAVINE-AND-GULLY SYSTEMS

Kalaev S. V. ORCID ID 0009-0003-9856-9480,
Adodina E. V. ORCID ID 0000-0002-5245-3496

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University», Voronezh, Russian Federation, e-mail: kalaevsemen@gmail.com

The Voronezh Region is a major agricultural area in Russia where the landscape has been almost entirely transformed by human activity. Most ponds in the Central Chernozem Region are created by damming ravines and gullies. This study aims to predict the impact of pond creation on the landscape diversity of ravine-gully systems. Researchers examined a cascade of ponds in the Novaya Zhizn rural settlement (Anninsky District, Voronezh Region) and the "Golaya" ravine near the village of Divnogorye (Liskinsky District). Landscape profiles were constructed, geobotanical sample plots (10 × 10 m plots with five 1 × 1 m counting plots within each tract) were established, and the geological structure, topography, moisture conditions, soils, vegetation, landscape tracts, and facies were described. The forecast was made using the method of physico-geographical analogues, with the examined pond cascade as the analogue landscape and the Golaya ravine as the study landscape. The study found that while the landscape tracts associated with structural terraces and ravine slopes remain largely unchanged during pond creation, the ravine bottom is replaced by the pond basin. Changes occur at the facies level: pond tracts are monofacial, whereas natural ravine tracts contain two facies, indicating a reduction in landscape diversity. Flooding forces ravine-bottom plants to migrate upslope, where not all species successfully establish themselves, while slope plants lose their ecological niches. Anthropogenic pressure intensifies synanthropization. Most ponds, created between 1965 and 1985, are currently degrading; this leads to the construction of new ponds and a further decline in landscape diversity. Pond creation can reduce the landscape and floristic diversity of ravine-gully systems and destroy plant habitats. It is essential to consider potential damage at the facies level and establish regular monitoring of ponds as landscape complexes.

Keywords: landscape diversity, tract, facies, pond, gully-and-ravine system, Voronezh Region

Введение

Воронежская область – один из крупнейших аграрных регионов России. По данным Единого государственного реестра недвижимости, общая площадь земель в административных границах Воронежской области составляет 5221,6 тыс. гектаров, из них 80% (4175,6 тыс. га) приходится на категорию земель сельскохозяйственного назначения [1]. Таким образом, практически вся территория области подверглась антропогенному преобразованию, пахотные земли, засеянные монокультурами, вытеснили естественные лесостепные и степные ландшафты. При этом ландшафтное разнообразие признаётся важнейшей характеристикой территорий, неотъемлемым компонентом разнообразия природной среды, основой сохранения биологического разнообразия и условием устойчивого развития территории. Включая различные типы экосистем (наземные, водные, почвенные), оно обеспечивает экологический баланс, защиту от эрозии и адаптацию к климатическим изменениям [2]. Сохранение биологического разнообразия в агроландшафтах рассматривается как составная часть стратегии устойчивого развития регионов с аграрным типом хозяйства. Эта задача, помимо применения надлежащей сельскохозяйственной практики (Good agricultural practices) и восстановления нарушенных экосистем, включает в себя мониторинг биоразнообразия в агроэкосистемах с приоритетным вниманием к наиболее уязвимым компонентам, в числе которых – редкие и исчезающие виды высших растений и животных, а также их биотопы [3].

В данной работе авторы придерживаются определения овражно-балочной системы, данного Ф. Н. Мильковым в 1970 году; под ней он понимал простой парагенетический комплекс, то есть систему пространственно-смежных урочищ, связанных общностью происхождения [4, с. 104]. Под прудами В. Б. Михно понимал аквальные антропогенные урочища, их внутреннюю структуру определяют наиболее типичные аквальные фации [5, с. 45].

Воронежская область насчитывает 1343 реки и множество прудов и озер, однако общий баланс увлажнения близок к недостаточному. Регион находится в зоне риска засух, особенно на юго-востоке, требуя в отдельные периоды искусственного орошения [6]. Основным источником воды для полива являются средние и малые реки, однако они в настоящее время подвержены существенной деградации [7], что приводит к необходимости создания искусственных водоемов, главным образом малых прудов. Большинство прудов (около 98% всего прудового фонда) на территории Центрального Черноземья являются запрудными [8] – создаются путем перегораживания балок и оврагов плотинами. В. М. Мишон в своей работе указывал, что «количество очень малых прудов непостоянно, они маложизненны, часто выходят из строя и к тому же некоторые из них так малы, что к концу лета пересыхают почти до дна. Учет их не налажен, и точно определить их число невозможно. Поэтому в статистических отчетностях данные о них отсутствуют» [8].

В работах современных авторов, посвященных исследованиям прудов, затрагиваются проблемы экологического и геоэкологического состояния водоёмов [9; 10]. Проводится анализ последствий использования прудов как объектов рекреации и антропогенного воздействия на них [11; 12]. Изучаются современное состояние, морфометрические показатели и пространственное распределение прудов на территории отдельных областей [13; 14]. Во всех перечисленных работах пруды рассматриваются прежде всего как самостоятельные гидрологические и рекреационные объекты; влияние запруживания балок на ландшафтную структуру сопряженных территорий и на разнообразие урочищ и фаций в них практически не оценивается.

Вопросы исследования прудов как элементов ландшафта поднимались в работах И. П. Сухарева, Г. С. Пашнева [15; 16]. Продолжателями данного направления стали В. М. Мишон и В. Б. Михно: В. М. Мишон разработал функционально-генетическую классификацию прудов Центрального Черноземья, а В. Б. Михно оценил их ландшафтно-экологические особенности [5; 8]. Несмотря на это, пруды как природно-аквальные комплексы, их влияние на окружающие ландшафты и биоразнообразие изучены недостаточно [17].

Цель исследования – спрогнозировать возможное влияние создания прудов на ландшафтное разнообразие овражно-балочных систем.

Материалы и методы исследования

Авторами был обследован каскад прудов на территории сельского поселения Новая Жизнь Аннинского района Воронежской области и балка Голая у села Дивногорье Лискинского района Воронежской области. Были построены ландшафтные профили

прудов и балки, а также заложены геоботанические площадки для определения доминантных видов растений. Исследования проводились в августе 2025 года. Прогноз влияния создания прудов на ландшафтное разнообразие овражно-балочных систем проводился по методу физико-географических аналогий. Суть метода заключается в переносе закономерностей с ландшафт-аналога на исследуемый ландшафт с определёнными поправками. В качестве ландшафта-аналога был взят каскад прудов на территории сельского поселения Новая Жизнь, а в качестве исследуемого ландшафта – балка Голая, на которую были перенесены потенциальные изменения.

При построении ландшафтных профилей длину и ширину водоёмов измеряли с помощью лазерного дальномера (BoschGLM 120C, Германия), уклон берегов оценивали эклиметром ЭВ1 (ПО «Точприбор», Украина), координаты и высоты территории определяли при помощи спутникового навигатора (GARMIN GPSmap 65, Швейцария) в системе координат WGS-84; координаты фиксировались в формате «градусы, минуты, секунды». По полученным данным строили линию профиля. На комплексном ландшафтном профиле отражали геологическое строение территории, виды почв, растительные ассоциации. Над линией профиля отмечали типы местности, урочища, фации.

Ландшафтное описание прудов и балки проводили по плану:

1. Географическое положение (координатная привязка; адресная привязка (положение по отношению к населенным пунктам, транспортным магистралям, железнодорожным станциям и т. д.); физико-географическая привязка (положение по отношению к природным объектам, районам, подрайонам)).

2. Геологическое строение (характеристика горных пород, образующих литогенную основу ландшафта: возраст, генезис, литологический состав, мощность, глубина залегания).

3. Характеристика рельефа (генетическое название (оползневой склон, суффозионная западина, ложбина стока и т. д.); морфологические особенности (форма склонов, вид оврага, тип балки); морфометрия (абсолютные и относительные высоты, длина, ширина, глубина, площадь, крутизна)).

4. Режим увлажнения.

5. Почвенный покров (характеристика горизонтов (мощность, цвет, структура); полное название почвы).

6. Доминирующая растительная ассоциация.

7. Фациальная структура (качественные признаки фитоценоза (перечень доминирующих видов, аспект сообщества), отдельно отмечаются виды из Красной книги; количественные признаки фитоценоза (суммарное проективное покрытие ярусов (сумма частных проективных покрытий всех ярусов сообщества; вследствие перекрывания наземных частей растений разных ярусов она может превышать 100%, тогда как общее проективное покрытие сообщества всегда не превышает 100%), ярус (с указанием относящихся к нему видов)).

В ходе полевых исследований в пределах каждого урочища в травянистом сообществе закладывалась геоботаническая площадка 10 на 10 м, в пределах этой площадки брались 5 площадок 1 на 1 м по углам и посередине [18, с. 20–22]. Всего было заложено 12 геоботанических площадок: по одной в каждом из семи урочищ ландшафтного профиля Степановского пруда и в каждом из пяти урочищ профиля балки Голая; их суммарная площадь составила 1200 м², общее число счетных площадок 1 × 1 м – 60.

Отметим ограничения проведенного исследования. Прогноз построен по результатам детального обследования одного каскада прудов и одной естественной балки, поэтому количественные характеристики получены на ограниченной выборке объектов. Статистическая обработка геоботанических данных в работе не проводилась, выводы носят преимущественно описательный (качественный) характер. Обобщения в масштабе Аннинского района и Воронежской области следует рассматривать как ориентировочные; их проверка требует расширения выборки обследованных прудов и балок, а также применения количественных методов оценки ландшафтного и флористического разнообразия.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ ландшафтных профилей прудов на территории сельского поселения Новая Жизнь позволил установить, что из четырех прудов (Второй, Третий, Степановский и Четвертый) в наибольшей степени сохранил характерную для балки форму Степановский пруд. Поэтому дальнейшие исследования изменений ландшафтного разнообразия проводили на его примере.

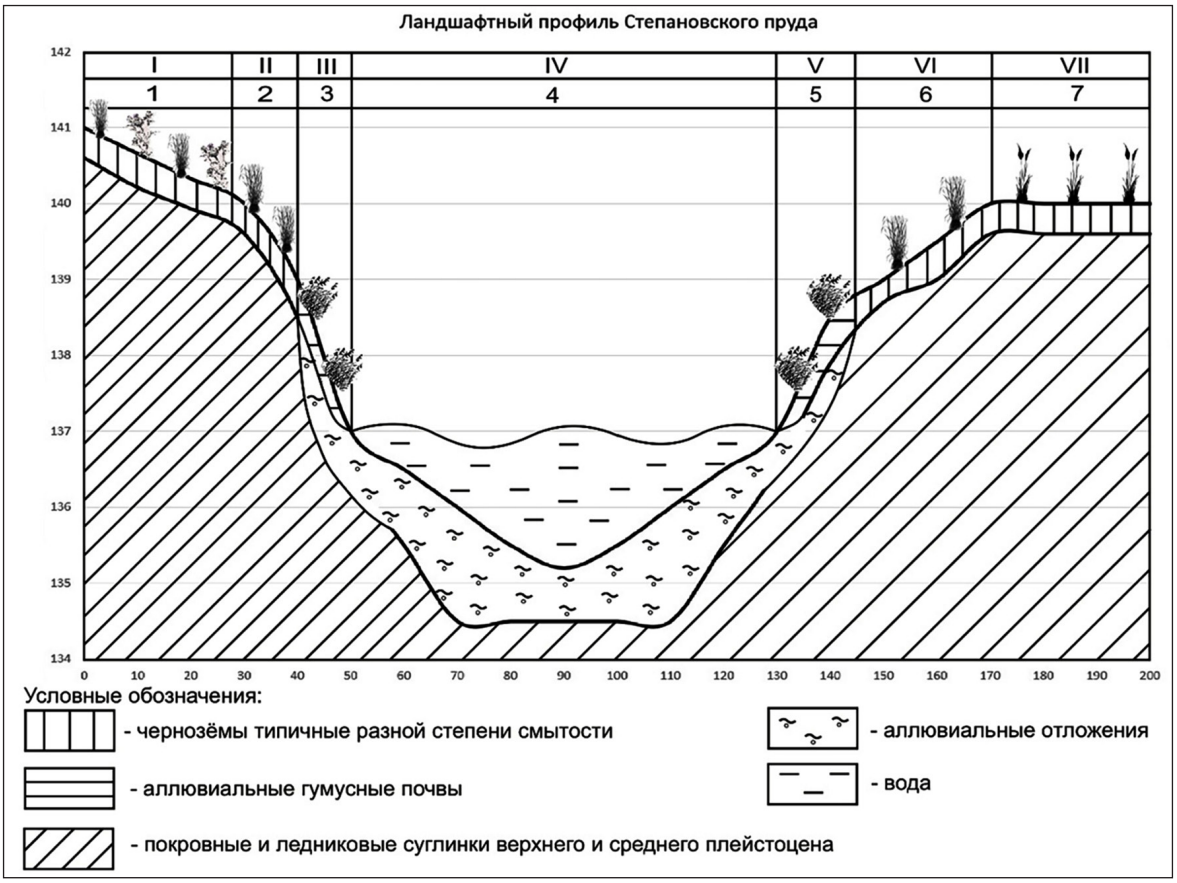


Рис. 1. Ландшафтный профиль Степановского пруда: I–VII – урочища, 1–7 – фации; состав и характеристика урочищ и фаций приведены в тексте
Примечание: составлено авторами

Степановский пруд расположен в южной лесостепи Окско-Донской низменности, в Битюго-Хопёрском физико-географическом районе, в западной части села Новая Жизнь.

Координаты начала профиля: 51° 24' 14" с.ш., 40° 44' 13" в.д. Координаты окончания профиля: 51° 24' 15" с.ш., 40° 44' 25" в.д. (рис. 1).

В пределах профиля выделены следующие урочища.

I. Урочище структурной террасы крутизной до 3° с кострецовым лугом на черноземах типичных.

Структурная терраса сложена покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена. Имеет прямую форму, крутизна достигает 3°, длина – 30 м, превышение – 1 м. Переход в балочный склон – на высоте 140 м, бровка чётко выражена. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные среднегумусные. Гумусовый горизонт имеет мощность до 20 см, цвет черный, структура зернистая. В растительном покрове доминирует чертополохово-полынно-кострецовая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

1) фация структурной террасы крутизной до 3° с чертополохово-полынно-кострецовой ассоциацией на черноземах типичных слабосмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), латук компасный (*Lactuca serriola*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 121%. Выделяется 2 яруса. В 1-м ярусе выделяются тысячелистник обыкновенный (*Achilléa millefólium*), чертополох поникающий (*Carduus nutans*). Во 2-м ярусе – полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), вьюнок полевой, цикорий обыкновенный, латук компасный, кострец береговой (*Bromopsis riparia*). Аспект сообщества – буро-зеленый.

II. Урочище левого прибалочного склона южной экспозиции крутизной до 5° с кострецовым лугом на черноземах типичных слабосмытых.

Прибалочный склон сложен покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена. Имеет прямую форму, крутизна достигает 5°, длина – 10 м, превышение – 1 м. Переход в балочный склон – на высоте 139 м, плавный, бровка слабо выражена. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные слабосмытые среднегумусные. Гумусовый горизонт имеет мощность до 15 см, цвет коричнево-черный, структура зернистая. В растительном покрове доминирует полынно-кострецовая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

2) фация левого прибалочного склона южной экспозиции крутизной до 5° с полынно-кострецовой ассоциацией на черноземах типичных слабосмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), тысячелистник обыкновенный, латук компасный, вьюнок полевой, цикорий обыкновенный. Суммарное проективное покрытие ярусов – 109%. В 1-м ярусе преобладают пижма обыкновенная, тысячелистник обыкновенный. Во 2-м ярусе – полынь обыкновенная, кострец береговой, латук компасный, вьюнок полевой, цикорий обыкновенный. Аспект сообщества – буро-зеленый.

III. Урочище левого балочного склона южной экспозиции крутизной до 20° с тростниковым сообществом на аллювиальных гумусовых почвах.

Балочный склон сложен покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена, перекрытыми современными аллювиальными отложениями мощностью до 2 м. Имеет вогнутую форму, крутизна достигает 20°, длина – 10 м, превышение – 2 м. Урез воды – на высоте 137 м. Режим увлажнения – мокрый. В почвенном покрове преобладают аллювиальные гумусовые почвы. Гумусовый горизонт имеет мощность до 10 см, цвет серо-черный, структура комковато-зернистая. В растительном покрове доминирует кострецово-тростниковая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

3) фация левого балочного склона южной экспозиции крутизной до 20° с кострецово-тростниковой ассоциацией на аллювиальных гумусовых почвах.

Наряду с доминирующими видами встречаются ива белая (*Salix alba*), дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium*), пижма обыкновенная, подмаренник настоящий (*Galium verum*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 102%. Выделяется 3 яруса. В 1-м ярусе выделяется ива белая. Во 2-м – тростник обыкновенный. В 3-м ярусе – кострец береговой, дурнишник обыкновенный, пижма обыкновенная, подмаренник настоящий. Аспект сообщества – буро-зеленый.

IV. Урочище слабозаросшего среднеглубокого пруда с аквальной растительностью.

Котловина пруда сложена покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена, перекрытыми современными аллювиальными отложениями мощностью до 2 м. Глубина пруда – до 2 м, ширина пруда – 80 м. Аквальная растительность представлена тростниковой ассоциацией.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

4) фация слабозаросшего среднеглубокого пруда с тростниковой ассоциацией.

Наряду с доминирующими видами встречается рогоз широколистный (*Typha latifolia*). Выделяется 1 ярус высотой над водой до 1 м: тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), рогоз широколистный, камыш лесной (*Scirpus sylvaticus*). Аспект сообщества – зеленый.

V. Урочище правого балочного склона северной экспозиции крутизной до 45° с тростниковым сообществом на аллювиальных гумусных почвах.

Балочный склон сложен покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена, в основании перекрытых современными аллювиальными отложениями мощностью до 2 м. Имеет вогнутую форму, крутизна достигает 45°, длина – 15 м, превышение – 1,7 м. Переход в балочный склон – на высоте 138,7 м, резкий, бровка хорошо выражена. Режим увлажнения – мокрый. В почвенном покрове преобладают аллювиальные гумусные почвы. Гумусовый горизонт имеет мощность до 12 см, цвет серо-черный, структура комковатая. В верхней части склона отсутствует растительный покров. В растительном покрове доминирует разнотравно-тростниковая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

5) фация правого балочного склона северной экспозиции крутизной до 45° с разнотравно-тростниковой ассоциацией на аллювиальных гумусных почвах.

Наряду с доминирующими видами встречаются ива белая, рогоз широколиственный. Суммарное проективное покрытие ярусов – 73%. Выделяется 2 яруса. В 1-м ярусе выделяется ива белая. Во 2-м – тростник обыкновенный, рогоз широколистный. Аспект сообщества – буро-зеленый.

VI. Урочище правого прибалочного склона северной экспозиции крутизной до 4° с кострецовым лугом на черноземах типичных слабосмытых.

Прибалочный склон сложен покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена. Имеет прямую форму, крутизна достигает 4°, длина – 30 м, превышение – 1,3 м. Переход в структурную террасу – на высоте 140 м, плавный, бровка слабо выражена. Склон осложнен грунтовой дорогой и ложбинами стока. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные слабосмытые среднегумусные. Гумусовый горизонт имеет мощность до 17 см, цвет коричнево-черный, структура зернисто-комковатая. В растительном покрове доминирует разнотравно-кострецовая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

6) фация правого прибалочного склона северной экспозиции крутизной до 4° с разнотравно-кострецовой ассоциацией на черноземах типичных слабосмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются бодяк розовый (*Cirsium arvense*), шалфей луговой (*Salvia pratensis*), резак обыкновенный (*Falcaria vulgaris*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, горошек мышиный (*Vicia cracca*), люцерна серповидная (*Medicago falcata*), лебеда татарская (*Atriplex tatarica*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 85%. Выделяется 2 яруса. В 1-м ярусе выделяются бодяк розовый, шалфей луговой, резак обыкновенный. Во 2-м ярусе – кострец береговой, шалфей луговой, клевер луговой, полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, горошек мышиный, люцерна серповидная, лебеда татарская. Аспект сообщества – буро-зеленый.

VII. Урочище структурной террасы крутизной до 3° с вейниковым лугом на черноземах типичных.

Структурная терраса сложена покровными и ледниковыми суглинками верхнего и среднего плейстоцена. Имеет прямую форму, крутизна достигает 3°, длина – 30 м, превышение – 0,2 м. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные среднегумусные. Гумусовый горизонт имеет мощность до 20 см, цвет черный, структура зернистая. В растительном покрове доминирует разнотравно-вейниковая ассоциация.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

7) фация структурной террасы крутизной до 3° с разнотравно-вейниковой ассоциацией на черноземах типичных.

Наряду с доминирующими видами встречаются вяз малый (*Ulmus minor*), шалфей луговой, резак обыкновенный, клевер луговой, полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, горошек мышиный, люцерна серповидная. Суммарное проективное покрытие ярусов – 89%. Выделяется 3 яруса. В 1-м ярусе выделяется вяз малый. Во 2-м ярусе – шалфей луговой, резак обыкновенный. В 3-м ярусе – вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), клевер луговой, полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, горошек мышиный, люцерна серповидная. Аспект сообщества – зелёно-бурый.

Балка Голая расположена в южной лесостепи Среднерусской возвышенности, в Калитвинском физико-географическом районе, в 2,5 км к юго-востоку от станции «143 км». В нижней части балки был заложен ландшафтный профиль. Координаты начала профиля: 50° 57' 34" с.ш., 39° 19' 24" в.д. Координаты окончания профиля: 50° 57' 56" с.ш., 39° 19' 25" в.д. (рис. 2).

В пределах профиля выделены следующие урочища.

I. Урочище прибалочного склона северной экспозиции крутизной 6° с типчаковыми степями на черноземах типичных среднесмытых.

Склон сложен моренными отложениями донского оледенения, которые перекрыты покровными делювиальными суглинками четвертичного возраста мощностью до 4 м. Прибалочный склон имеет выпуклую форму; крутизна – 6°, длина – 130 м, абсолютная высота – 145 м. Переход в балочный склон плавный. Режим увлажнения в верхней части склона – сухой, в нижней – свежий. В почвенном покрове преобладают чернозёмы типичные, среднесмытые. Гумусовый горизонт имеет мощность до 20 см, цвет серо-чёрный, механический состав слабосуглинистый, структура комковато-зернистая. В растительном сообществе доминируют типчаковые степи.

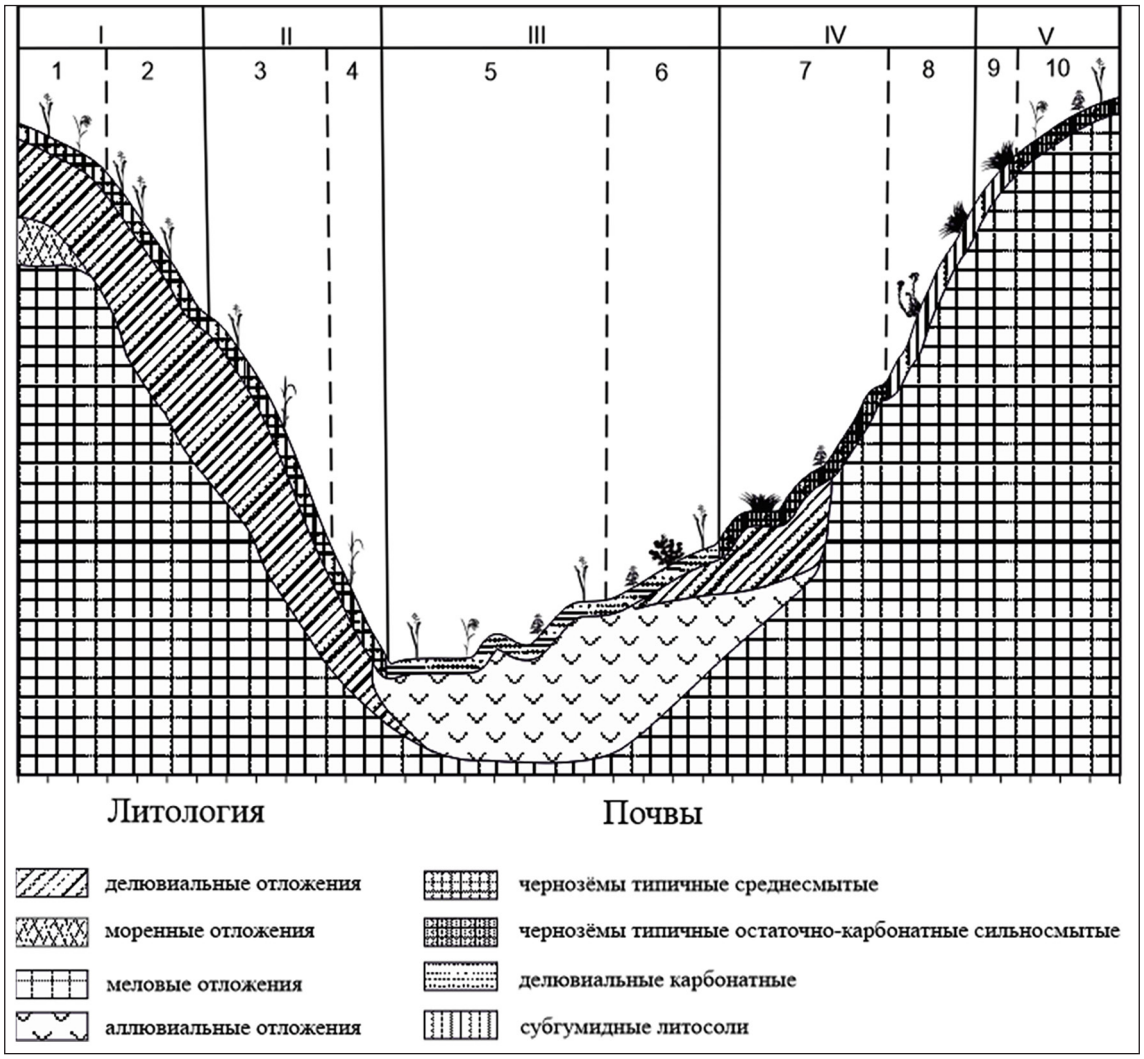


Рис. 2. Ландшафтный профиль балки Голая: I–V – урочища, 1–10 – фации; состав и характеристика урочищ и фаций приведены в тексте
Примечание: составлено авторами

В пределах урочища выделяют следующие фации:

1) фация верхней части левого прибалочного склона с ковыльно-типчаковой ассоциацией на черноземах типичных среднесмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются земляника зеленая (*Fragaria viridis*), молочай полевой (*Euphorbia agraria*), шалфей поникающий (*Salvia nutans*), качим метельчатый (*Gypsophila paniculata*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 183%. В пределах фации выделяют 3 яруса. В первом ярусе преобладает ковыль перистый (*Stipa pennata*). Во втором ярусе выделяются овсяница бороздчатая (*Festuca rupicola*), молочай полевой, шалфей поникающий, качим метельчатый. В третьем ярусе – земляника зеленая. Из растений Красной книги Воронежской области отмечен ковыль перистый. Аспект сообщества – серо-желто-зеленый;

2) фация нижней части левого прибалочного склона с ковыльно-типчаковой ассоциацией на черноземах типичных среднесмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются молочай полевой, шалфей поникающий, земляника зеленая, подмаренник цепкий (*Galium aparine*), люцерна серповидная. Суммарное проективное покрытие ярусов – 143%. В пределах фации выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладают ковыль перистый, подмаренник цепкий. Во втором ярусе – овсяница бороздчатая, молочай полевой, шалфей поникающий. В третьем ярусе – земляника зеленая. Из растений Красной книги Воронежской области отмечен ковыль перистый. Аспект сообщества – желтовато-зеленый.

II. Урочище балочного склона северной экспозиции крутизной до 19° с пырейными степями на черноземах типичных среднесмытых.

Склон сложен мело-мергельными породами туронского яруса, которые перекрыты покровными делювиальными суглинками четвертичного возраста мощностью до 4 м. Балочный склон имеет выпуклую форму; максимальная крутизна – 19°, длина – 92 м, абсолютная высота – 132 м, переход в днище – плавный. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные, среднесмытые, среднегумусные. Цвет серо-черный, механический состав слабосуглинистый, структура комковатая. В растительном сообществе доминируют пырейные степи.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

3) фация верхней части левого балочного склона с типчаково-пырейным сообществом на черноземах типичных среднесмытых.

Наряду с доминирующими видами встречается ковыль перистый, молочай полевой, шалфей поникающий, земляника зеленая, люцерна серповидная. Суммарное проективное покрытие ярусов – 104,1%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладает ковыль перистый. Во втором ярусе выделяются пырей ползучий (*Elymus repens*), овсяница бороздчатая, молочай полевой. В третьем ярусе – земляника зеленая, люцерна серповидная. Из растений Красной книги Воронежской области отмечен ковыль перистый. Аспект сообщества – серовато-зеленый;

4) фация нижней части левого балочного склона с молочайно-пырейным сообществом на черноземах типичных среднесмытых.

В нижней части левого балочного склона встречаются виды: полынь обыкновенная, герань луговая (*Geranium pratense*), скабиоза ароматная (*Sixalix atropurpurea*), валериана лекарственная (*Valeriana officinalis*), горчица полевая (*Sinapis arvensis*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 91,2%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладают молочай полевой, полынь обыкновенная. Во втором ярусе – пырей ползучий, скабиоза ароматная. В третьем ярусе – горчица полевая, герань луговая, валериана лекарственная. Аспект сообщества – желто-зеленый.

III. Урочище днища балки с ковыльно-молочайно-типчаковым сообществом на делювиально-карбонатных намытых породах.

Днище сложено делювиально-карбонатными отложениями. Имеет ровную поверхность с небольшим перепадом высот, крутизна – около 2°, длина – 240 м, абсолютная высота – 115 м. Переход в левый склон балки – четкий, в правый – плавный. Днище осложнено сурчинами, ямами, скотопрогонными тропами, дорогой, руслом временного водотока. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают намытые карбонатные делювиальные почвы. Цвет серо-черный, структура пылевато-зернистая с отдельными комками. В растительном сообществе доминируют пырейные луга.

В пределах урочища выделяются следующие фации:

5) фация днища балки с ковыльно-молочайно-типчаковым сообществом на делювиальных карбонатных почвах.

В левой части днища балки встречаются виды: люцерна серповидная, полынь обыкновенная, скабиоза ароматная, астрагал нутовый (*Astragalus cicer*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 138%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладают ковыль перистый, полынь обыкновенная. Во втором ярусе – овсяница бороздчатая, молочай полевой, скабиоза ароматная. В третьем ярусе – астрагал нутовый, люцерна серповидная. Из растений Красной книги Воронежской области отмечен ковыль перистый. Аспект сообщества – бело-желто-зеленый;

6) фация днища балки с молочайно-типчаковым сообществом на делювиально-карбонатных почвах.

В правой части днища балки наряду с доминирующими видами встречаются шалфей поникающий, полынь обыкновенная, астрагал нутовый, адонис весенний (*Adonis vernalis*), воловик лекарственный (*Anchusa officinalis*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 130%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе выделяется полынь обыкновенная. Во втором ярусе преобладают овсяница бороздчатая, молочай полевой. В третьем ярусе преобладают шалфей поникающий, астрагал нутовый, адонис весенний, воловик лекарственный. Аспект – желто-зеленый.

IV. Урочище балочного склона южной экспозиции крутизной до 8° с оносмово-низко-осоковым сообществом на остаточных карбонатных почвах и субгумидных литосолях.

Склон сложен меловыми отложениями мезозойского времени, которые выходят на дневную поверхность. Балочный склон имеет вогнутую, ступенчатую форму; крутизна – 8°, длина – 181 м, высота – 136 м. Режим увлажнения в нижней части – све-

жий, в средней части – сухой, в верхней – очень сухой. В почвенном покрове преобладают остаточные карбонатные почвы, цвет бело-серый, структура зернистая. В растительном покрове доминируют следующие растительные сообщества: в верхней части оносмово-низко-осоковое, в нижней части низко-осоковое.

В пределах урочища выделяют следующие фации:

7) фация нижней части правого балочного склона с молочайно-низко-осоковым сообществом на остаточных карбонатных почвах.

В нижней части правого балочного склона встречаются виды: ковыль перистый, адонис весенний, шалфей поникающий, ластовень лекарственный (*Vincetoxicum hirundinaria*), истод сибирский (*Polygala sibirica*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 104,1%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе выделяют ковыль перистый. Во втором ярусе преобладают молочай полевой, шалфей поникающий, ластовень лекарственный, истод сибирский. В третьем ярусе – осока низкая (*Carex humilis*), адонис весенний. Растения из Красной книги Воронежской области – осока низкая и ковыль перистый. Аспект – желтовато-зеленый;

8) фация верхней части правого балочного склона с оносмово-низко-осоковым сообществом на субгумидных литосолях.

В верхней части правого балочного склона встречаются виды: ковыль перистый, шалфей поникающий, ластовень лекарственный, истод сибирский, лапчатка донская (*Potentilla pimpinelloides*), птицемлечник зонтичный (*Ornithogalum umbellatum*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 92,75%. Выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладают ковыль перистый, птицемлечник зонтичный. Во втором ярусе выделяют ластовень лекарственный, шалфей поникающий, истод сибирский, лапчатку донскую. В третьем ярусе – осока низкая, оносма простейшая (*Onosma simplicissima*). Растения из Красной книги Воронежской области – осока низкая и ковыль перистый. Аспект – бело-зеленый.

V. Урочище правого прибалочного склона южной экспозиции крутизной до 5° с сочетанием низко-осоково-проломникового сообщества в нижней части и молочайно-типчаково-ковыльного в верхней части на остаточных карбонатных почвах.

Склон сложен меловыми отложениями мезозойского времени, которые выходят на дневную поверхность. Прибалочный склон имеет выпуклую форму; крутизна – около 5°, абсолютная высота – 147 м, длина – 115 м. Режим увлажнения – свежий. В почвенном покрове преобладают черноземы остаточно-карбонатные сильносмытые, цвет бело-серый, структура зернистая. В растительном покрове доминируют следующие растительные сообщества: в нижней части низко-осоково-проломниковое, в верхней части молочайно-типчаково-ковыльное.

В пределах урочища выделяют следующие фации:

9) фация нижней части правого прибалочного склона с низко-осоково-проломниковым сообществом на остаточных карбонатных почвах.

В нижней части правого прибалочного склона наряду с доминирующими видами встречаются ластовень лекарственный, оносма простейшая, колокольчик сибирский (*Campanula sibirica*). Суммарное проективное покрытие ярусов – 67,8%. В первом ярусе преобладают ластовень лекарственный, колокольчик сибирский. Во втором ярусе – осока низкая, проломник Козо-Полянского (*Androsace Koso-poljanskii*), оносма простейшая. Из растений Красной книги Воронежской области отмечаются проломник Козо-Полянского, осока низкая;

10) фация верхней части правого прибалочного склона с молочайно-типчаково-ковыльным сообществом на черноземах остаточно-карбонатных сильносмытых.

Наряду с доминирующими видами встречаются: качим метельчатый, шалфей поникающий, эспарцет виколистный (*Onobrychis viciifolia*), адонис весенний. Суммарное проективное покрытие ярусов – 101,6%. В пределах фации выделяется 3 яруса. В первом ярусе преобладают ковыль перистый, качим метельчатый. Во втором ярусе – овсяница бороздчатая, молочай полевой. В третьем ярусе выделяют шалфей поникающий, эспарцет виколистный, адонис весенний. Из растений Красной книги Воронежской области отмечается ковыль перистый.

При сравнении ландшафтного разнообразия заметно, что урочища, занимающие структурные террасы, а также балочные и прибалочные склоны, сохраняются при создании прудов в почти неизменном виде, глобально меняется только днище балки, место которого занимает котловина пруда. Однако происходят серьёзные изменения в ландшафте на уровне фаций. Все урочища обследованного пруда являются монофациальными, в то время как урочища

балки насчитывают по 2 фации, что свидетельствует о снижении ландшафтного разнообразия на уровне фаций.

Затопление балки приводит к тому, что растения, занимавшие её днище, вынуждены перемещаться выше по гипсометрическому уровню на бывшие склоны, ставшие берегами пруда. При этом условия склонов зачастую не соответствуют таковым на днище балки, из-за чего далеко не все виды способны освоить новое место обитания. Растения, произраставшие на склонах балки, полностью исчезают, так как исчезает экологическая ниша, занимаемая ими. Относительно сохранными остаются фации, занимающие прибалочные склоны и структурные террасы, т. к. влияние запруживания меньше распространяется на данные урочища.

С учётом того, что большинство прудов устраивается вблизи населённых пунктов или пашен, урочища прибалочных склонов и структурных террас подвергаются сильному антропогенному прессингу. Это приводит к сокращению флористического разнообразия урочищ, сохраняются в основном устойчивые синантропные виды. Слабо приспособленные к близости человека виды, неспособные адаптироваться к условиям произрастания выше или ниже по склону вновь созданного пруда, исчезают.

Большинство прудов на территории Воронежской области создавались в период с 1965 по 1985 г. [10] и в настоящее время переживают конечную стадию своего существования [14]. Большая часть прудов находится в запущенном состоянии, регулярный уход за ними отсутствует, необходимое обслуживание не проводится. Это приводит к загрязнению воды, избыточному образованию водорослей, деградации и сокращению площади водного зеркала [19], что, в свою очередь, порождает необходимость устройства новых прудов, для чего продолжают использовать существующие балки [20].

Выводы

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Сооружение прудов может существенно сократить фациальное разнообразие овражно-балочных систем и привести к исчезновению местообитаний отдельных видов растений, которые растут, в частности, по днищам и склонам балок.

2. Уменьшение биоразнообразия и связанное с ним снижение устойчивости растительных сообществ при усилении антропогенной нагрузки ставят под угрозу стабильное существование и развитие уникальных и типичных ландшафтов Воронежской области.

3. Проводимые другими учёными исследования не рассматривают пруды как ландшафтные комплексы, а также не анализируют их взаимодействие с другими ландшафтами.

4. Нами впервые предпринята попытка прогноза воздействия прудов на ландшафтное разнообразие овражно-балочных систем.

5. Несмотря на высокую значимость прудов для хозяйственной и рекреационной деятельности как близлежащих населённых пунктов, так и всего района в целом, регулярное наблюдение за ними не налажено в достаточной степени, из-за чего они быстро деградируют.

6. Схожесть исследованных прудов как ландшафтных комплексов, приблизительно одинаковое время создания и их типичность для исследуемого района позволяют предположить, что значительная часть прудов на территории Аннинского района может находиться в фазе деградации; эта оценка требует подтверждения на более репрезентативной выборке объектов, однако она указывает на сохраняющуюся необходимость создания новых прудов и связанное с ним дальнейшее снижение ландшафтного разнообразия овражно-балочных систем.

Список литературы

1. Отчет № 1.8–2020 о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Мониторинг совершенствования механизмов государственного землепользования»: утв. решением коллегии Контрольно-счетной палаты Воронежской области от 23.06.2020 № 12(318) // Информационный бюллетень Контрольно-счетной палаты Воронежской области. 2021. № 2(44). С. 316–327. URL: https://ksp-vrn.ru/upload/iblock/d33/w7b14ln503bi2y6fw7vnulybd3upkpom/23_Otchet-1.8_2020_316_327.pdf (дата обращения: 13.09.2026).

2. Соколов А. С. Ландшафтное разнообразие: теоретические основы, подходы и методы изучения // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 208-213. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82268964 (дата обращения: 13.09.2026). EDN: VQDVPX.

3. Королева Е. Г., Петрова И. Ф. Подходы к сохранению биоразнообразия в управляемом степном агроландшафте // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20. № 1. С. 80–97. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25688785 (дата обращения: 13.09.2026). DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-8.

4. Мильков Ф. Н. Ландшафтная сфера Земли. Москва: Мысль, 1970. 207 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007376168/ (дата обращения: 15.09.2026).

5. Михно В. Б., Добров А. И. Ландшафтно-экологические особенности водохранилищ и прудов Воронежской области. Воронеж: ВГПУ, 2000. 185 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23079944 (дата обращения: 13.09.2026). ISBN: 5-88519-220-0.

6. Главное управление МЧС России по Воронежской области. Характеристика субъекта. Общая характеристика Воронежской области URL: https://36.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/o-glavnom-upravlenii/harakteristika-

subekta#:~:text=%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%20%E2%80%94%20%D1%83%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE,%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B8%20%D0%B4%D0%B8%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%B9%20%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B5%2010%20%D0%BA%D0%BC (дата обращения: 13.09.2026).

7. Жигулина Е. В., Михно В. Б. Прогнозирование изменений ландшафтов бассейнов малых рек Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 172-178. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20133534 (дата обращения: 13.09.2026). EDN: QYPDIX.

8. Мишон В. М. Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: География. Геоэкология. 2003. № 2. С. 23-32. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=18238853 (дата обращения: 13.09.2026). EDN: PJDDNL.

9. Рябцева Е. А., Цупикова Н. А. Пространственное распределение гидрохимических показателей в верхнем пруду города Калининграда // Известия КГТУ. 2019. № 54. С. 61-74. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39185355 (дата обращения: 26.09.2026). EDN: LXKFGB.

10. Дмитриева В. А., Давыдова Н. С. Малые искусственные водоемы Воронежской области (гидрология, гидрохимия, геоэкология, реестр прудов). Воронеж: ВГУ. 2016. 216 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28817748 (дата обращения: 13.09.2026). ISBN: 978-5-9273-2379-1.

11. Исаев А. А., Рылов Д. А. Андроновские пруды как важный общественный объект рекреационного использования // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 47-2. С. 50-52. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38176094 (дата обращения: 26.09.2026). DOI: 10.18411/lj-02-2019-35.

12. Моисеенко В. В., Цупикова Н. А. Исследование рекреационной нагрузки на пруд Янтарный за купальные сезоны 2017 и 2018 годов // Вестник молодежной науки. 2018. № 5(17). С. 22. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36769230 (дата обращения: 26.09.2026). EDN: MJWBKP.

13. Бортникова Н. В., Горшкова А. Т., Рыков Р. А. Современное распределение прудов в бассейне реки Мензеля // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 5-5(92). С. 193-198. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67874801 (дата обращения: 26.09.2026). DOI: 10.24412/2500-1000-2024-5-5-193-198.

14. Калаев С. В., Жигулина Е. В. Современное состояние прудов Аннинского района Воронежской области и перспективы их развития // Журналистика и география: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 20–21 марта 2026 года. Воронеж: ООО Рекламно-издательская фирма «Кварта», 2026. С. 203-205. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=89328736 (дата обращения: 26.09.2026). EDN: ZNDITN.

15. Сухарев И. П., Пашнев Г. С., Сухарева Е. М. Пруды – важный источник орошения. Воронеж: Центр.-Черноозем. кн. изд-во, 1976. 120 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007006837/ (дата обращения: 13.09.2026).

16. Сухарев И. П., Пашнев Г. С. Пруды Центрально-Черноземной полосы. Воронеж: Центр.-Черноозем. кн. изд-во, 1968. 150 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008455890/ (дата обращения: 13.09.2026).

17. Калаев С. В., Жигулина Е. В. Комплексное ландшафтное описание и профилирование прудов Аннинского района Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2026. № 1. С. 22-29. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=92118067 (дата обращения: 26.09.2026). DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2026/1/22-29.

18. Бевз В. Н., Горбунов А. С., Быковская О. П. Производственная ландшафтно-исследовательская практика: организационное и методическое обеспечение. Воронеж: Истоки, 2016. 151 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27476628 (дата обращения: 13.09.2026). ISBN: 978-5-4473-0128-6.

19. Жигулина Е. В., Калаев С. В. Физико-географические особенности формирования прудов Аннинского района Воронежской области // Журналистика и география: Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 22–23 марта 2024 года. Т. 2. Воронеж, 2024. С. 22-26. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=67324635 (дата обращения: 13.09.2026). EDN: TSBJNP.

20. Калаев С. В., Жигулина Е. В. Влияние создания прудов на структуру ландшафтов // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Материалы девятой международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Севастополь – Воронеж, 10–13 сентября 2025 года. Воронеж: ООО Типография «Кварта», 2025. С. 341-345. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82960592 (дата обращения: 13.09.2026). EDN: SHKODB.

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.

УДК 502:349.6
DOI 10.17513/use.38553

CC BY 4.0

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОТУРИСТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В СТЕПНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Селезнева Е. В. ORCID ID 0000-0002-7727-0856,
Легачева Н. М. ORCID ID 0000-0002-8647-1836,
Ротанова И. Н. ORCID ID 0000-0001-5205-5095

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

Статья посвящена научному обоснованию организации новой особо охраняемой природной территории в Алтайском крае с использованием актуальных правовых инструментов – закона о введении новой категории региональных особо охраняемых природных территорий в Алтайском крае «экотуристическая территория». Предлагаемая особо охраняемая природная территория оптимально сочетает решение задачи охраны уникальных водных объектов и развития регулируемого лечебно-оздоровительного туризма, опираясь на высокий бальнеологический потенциал степных озер Кулунды. Предложены и обоснованы границы и функциональное зонирование проектируемой экотуристической территории «Кулундинская», включающей комплекс уникальных степных озер и существующих особо охраняемых природных территорий категорий заказники, памятники природы и дендрологические парки. Дана краткая характеристика бальнеологических ресурсов ключевых объектов – озер, входящих в экотуристическую территорию «Кулундинская». Разработаны предложения направлений развития экотуристической территории, включающие мониторинг и координирование охраны ландшафтного и биологического разнообразия степных геокомплексов; развитие регулируемого туризма с учетом рекреационной нагрузки и допустимой рекреационной емкости. Реализация данного проекта позволит стабилизировать ситуацию с сохранением био- и ландшафтного разнообразия региона, упорядочить рекреационную деятельность, а также обеспечить выполнение стратегических задач по системному и устойчивому росту туристского потока.

Ключевые слова: Алтайский край, озера, степные экосистемы, бальнеологические ресурсы, особо охраняемые природные территории, охраняемые природные комплексы, экотуристические территории

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL PREREQUISITES FOR ORGANIZING AN ECOTOURISM TERRITORY IN THE STEPPE PART OF THE ALTAI KRAI

Selezneva E. V. ORCID ID 0000-0002-7727-0856,
Legacheva N. M. ORCID ID 0000-0002-8647-1836,
Rotanova I. N. ORCID ID 0000-0001-5205-5095

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Altay State University", Barnaul, Russian Federation, e-mail: legacheva@mail.asu.ru

This article focuses on the scientific justification for establishing a new specially protected natural area in Altai Krai, utilizing current legal instruments – specifically, the law introducing a new category of regional specially protected natural areas in the region known as an "ecotourism territory". The proposed specially protected natural area optimally combines the task of protecting unique water bodies with the development of regulated therapeutic and health-improving tourism, relying on the high balneological potential of the steppe lakes of Kulunda. The boundaries and functional zoning of the proposed ecotourism territory "Kulundinskaya" have been proposed and substantiated; it includes a complex of unique steppe lakes and existing protected areas of various categories, such as nature reserves, natural monuments, and dendrological parks. A brief description is provided of the balneological resources of key facilities – lakes that are part of the "Kulundinskaya" ecotourism territory. Proposals have been developed for the development of the ecotourism territory, including monitoring and coordinating the protection of the landscape and biological diversity of steppe geocomplexes; developing regulated tourism, taking into account the recreational load and permissible recreational capacity. Implementing this project will help stabilize the situation regarding the preservation of the region's bio- and landscape diversity, streamline recreational activities, and ensure the achievement of strategic objectives related to the systematic and sustainable growth of the tourist flow to the region.

Keywords: Altai Krai, lakes, steppe ecosystems, specially protected natural areas, balneological resources, protected natural complexes, ecotourism areas

Введение

В настоящее время в рамках реализации национального проекта «Туризм и гостеприимство» наблюдается устойчивый рост спроса на внутренние туристические продукты, ориентированные на природные ландшафты. В Алтайском крае активно развиваются научно-популярный, экологи-

ческий, курортный и гастрономический виды туризма, в том числе на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Перед регионом стоит задача: обеспечить сохранение биологического разнообразия и создать современную инфраструктуру природоохранных территорий для развития экотуризма и оздоровительной рекреационной деятельности.

Целью исследования является научное обоснование возможности организации новой ООПТ в степной части Алтайского края категории «экотуристическая территория».

Материалы и методы исследования

Система экологического законодательства России, опирающаяся на ФЗ «Об охране окружающей среды» и ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (№ 33-ФЗ)[1], постоянно совершенствуется. В 2022-2024 годах по инициативе Минэкономразвития России велась реализация Федеральной туристической межрегиональной схемы территориально-пространственного планирования макротерриторий в рамках государственной программы «Развитие туризма». В России было определено 12 макрорегионов, в состав которых вошли 52 региона из 89 субъектов: Большое Золотое кольцо, Из Москвы в Санкт-Петербург, Большая Волга, Большой Кавказ, Русский Север и Арктика, Русская Балтика, Западный Юг России, Восточный Юг России, Большой Урал, Большой Алтай, Байкал, Дальний Восток. Для макрорегионов разработаны мастер-планы туристического развития, реализация которого должна привести за 5 лет к системному росту и управляемому развитию сферы туризма с учетом региональной специфики.

Важным шагом стало принятие в 2023 году ФЗ № 77-ФЗ, который ввел в закон «Об ООПТ» статью 5.2 о туризме, установив систему критериев для рекреационной деятельности на охраняемых землях[2]. В конце августа 2026 года был опубликован проект «Стратегии развития системы ООПТ РФ до 2036 года и на перспективу до 2050 года», определяющий будущую модель управления, сохранения биоразнообразия и развития экотуризма[3]. На региональном уровне в Алтайском крае действует Закон «Об ООПТ в Алтайском крае» (№ 60-ЗС)[4]. Региональным законом от 09.06.2023 № 40-ЗС[5] в него были внесены дополнения, которыми установлены две новые категории ООПТ регионального значения: «охраняемые природные комплексы» (ОПК) и «экотуристические территории» (ЭТТ). Методики проектирования ЭТТ как категории ООПТ пока не разработано. Предлагаемое геоэкологическое обоснование является одним из первых опытов формирования ЭТТ в Алтайском крае.

В рамках исследования были проведены рекогносцировочные полевые обследования территории, использованы имеющиеся тематические картографические материалы и космическая съемка, а также социально-экономические статистические данные. При обосновании границ проектируемой экотуристической территории (ЭТТ) «Кулундинская» применялся подход сочетания границ муниципальных образований (административных районов либо сельских советов) с границами ландшафтных таксонов категории местностей. Это обусловлено практической необходимостью обеспечения эффективного управления территорией в рамках существующего административно-территориального деления. Обоснование функциональных зон носит экспертно-рекомендательный характер и базируется на результатах полевых рекогносцировочных исследований, эколого-ландшафтного анализа и фактическом использовании территории.

Результаты исследования и их обсуждение

Введение в региональное законодательство Алтайского края новой категории ООПТ сформировало правовой механизм охраны территорий, характеризующихся высоким уровнем геологического, биологического и ландшафтного разнообразия.

[1] Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях». URL: http://base.garant.ru/10107990/ (дата обращения: 12.09.2026).

[2] Федеральный закон от 18.03.2023 № 77-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1614330/ (дата обращения: 12.09.2026).

[3] Проект Стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий Российской Федерации на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/strategii_i_doktriny/proekt_strategii_razvitiya_sistemy_osobo_okhranyaemykh_prirodnykh_territoriy_rossiyskoy_federatsii_n/ (дата обращения: 12.09.2026).

[4] Закон Алтайского края от 09.06.2023 № 40-ЗС «О внесении изменений в закон Алтайского края «Об особо охраняемых природных территориях в Алтайском крае»». URL: https://www.garant.ru/hotlaw/altai/1632608/ (дата обращения: 12.09.2026).

[5] Закон Алтайского края от 18.12.1996 № 60-ЗС «Об особо охраняемых природных территориях в Алтайском крае». URL: http://docs.cntd.ru/document/940102991 (дата обращения: 12.09.2026).

Новый статус позволил юридически закрепить принцип целостности данных компонентов при ведении природоохранной деятельности. Примером является первая такая ООПТ – «Долина Малой Лосихи» (2024)[6], которая создана с целью сохранения мест обитания редких видов растений и животных на компактной территории [1; 2].

Однако применение категории ОПК не всегда оптимально для степных территорий, обладающих лечебно-оздоровительным, бальнеологическим потенциалом. Существующая сеть степных ООПТ (заказники, памятники природы) недостаточно эффективна в условиях растущего антропогенного пресса. Например, в заказнике «Благовещенский» наблюдается перевыпас скота и деградация степных ландшафтов. Критической проблемой остается бесконтрольная добыча цист артемии на озерах, а также нерегулируемое перемещение техники по береговой линии, включая места гнездования краснокнижных птиц, что оказывает пагубное воздействие на экосистемы и способствует браконьерству [3]. Эти факторы негативно влияют на сохранность экосистем, поэтому вопрос реорганизации охраны степных озер актуален уже много лет [4-6].

Введение категории «экотуристическая территория» (ЭТТ) способствует решению природоохранных проблем при развитии туризма. В отличие от ОПК, ориентированных только на охрану ландшафтов и биоразнообразия, ЭТТ создается в целях не только изучения, сохранения и восстановления окружающей среды, но и развития эколого ориентированного традиционного и рекреационного природопользования.

Степная часть Алтайского края обладает уникальными лечебно-оздоровительными ресурсами (минерализованная вода, лечебные грязи, рапа), что делает важной задачей не консервацию территории, а развитие здесь регулируемого лечебно-оздоровительного и экологического туризма. Более того, создание ЭТТ полностью отвечает федеральным стратегическим задачам. Мастер-план туристического развития макротерритории «Большой Алтай» (Алтайский край, Республика Алтай, Кемеровская область) определяет три ключевых направления для края, среди которых выделены «степные озера Алтая» [7]. В качестве стратегического вектора территориальной организации туризма в Алтайском крае был утвержден кластерный подход, закрепленный Долгосрочной целевой программой «Развитие туризма в Алтайском крае в 2012–2016 гг.». Данный программный документ регламентировал формирование 11 туристско-рекреационных кластеров, пространственная дислокация которых охватывала 14 муниципальных образований и городских округов региона. В степной части края планировался кластер «Яровое». Таким образом, организация ЭТТ в Кулундинской степи Алтайского края является не только экологической необходимостью, но и выполнением федеральных установок по системному росту туризма в регионе. Для обоснования границ и функционального зонирования предлагаемой ЭТТ был проведен комплексный анализ ландшафтной структуры региона (рис. 1).

Территория исследования расположена в степной зональной области Западно-Сибирской физико-географической равнинной страны. Она охватывает Кулундинскую и Южноприалейскую провинции. Преобладающие ландшафты представлены сухими и засушливыми степями на каштановых и светло-каштановых почвах в сочетании с многочисленными бессточными озёрами различной минерализации.

На основании вышеизложенного предлагается организовать ЭТТ регионального значения «Кулундинская». В административном отношении ЭТТ «Кулундинская» занимает территории Бурлинского, Славгородского, Немецкого национального, Табунского, Кулундинского, Благовещенского и Суетского муниципальных образований – административных районов. Важной особенностью пространственной организации является то, что на северо-западе граница предлагаемой ЭТТ сопрягается с территорией государственного природного заказника «Южный» (Новосибирская область), что способствует формированию единого трансграничного экологического каркаса Западной Сибири. В состав ЭТТ предлагается включить существующие ООПТ: заказники «Пеликаний», «Хабарский», «Суетский», «Благовещенский»; памятники природы «Сообщества галофитов побережья озера Бурлинского», «Степной Ключ», «Калиновский колок», «Шимолинский бор»; дендрологический парк «Кулундинский». Граница предлагаемой ЭТТ планируется в соответствии как с границами ландшафтов, так и административных районов и охватывает наиболее ценные природные комплексы и рекреационные ресурсы региона. На рисунке 2 граница ЭТТ обозначена пунктирной линией.

[6] Постановление Администрации Алтайского края от 23.04.2024 № 121 «О создании государственного природного заказника регионального значения «Долина Малой Лосихи»». URL: https://www.altairegion22.ru/ (дата обращения: 12.09.2026).

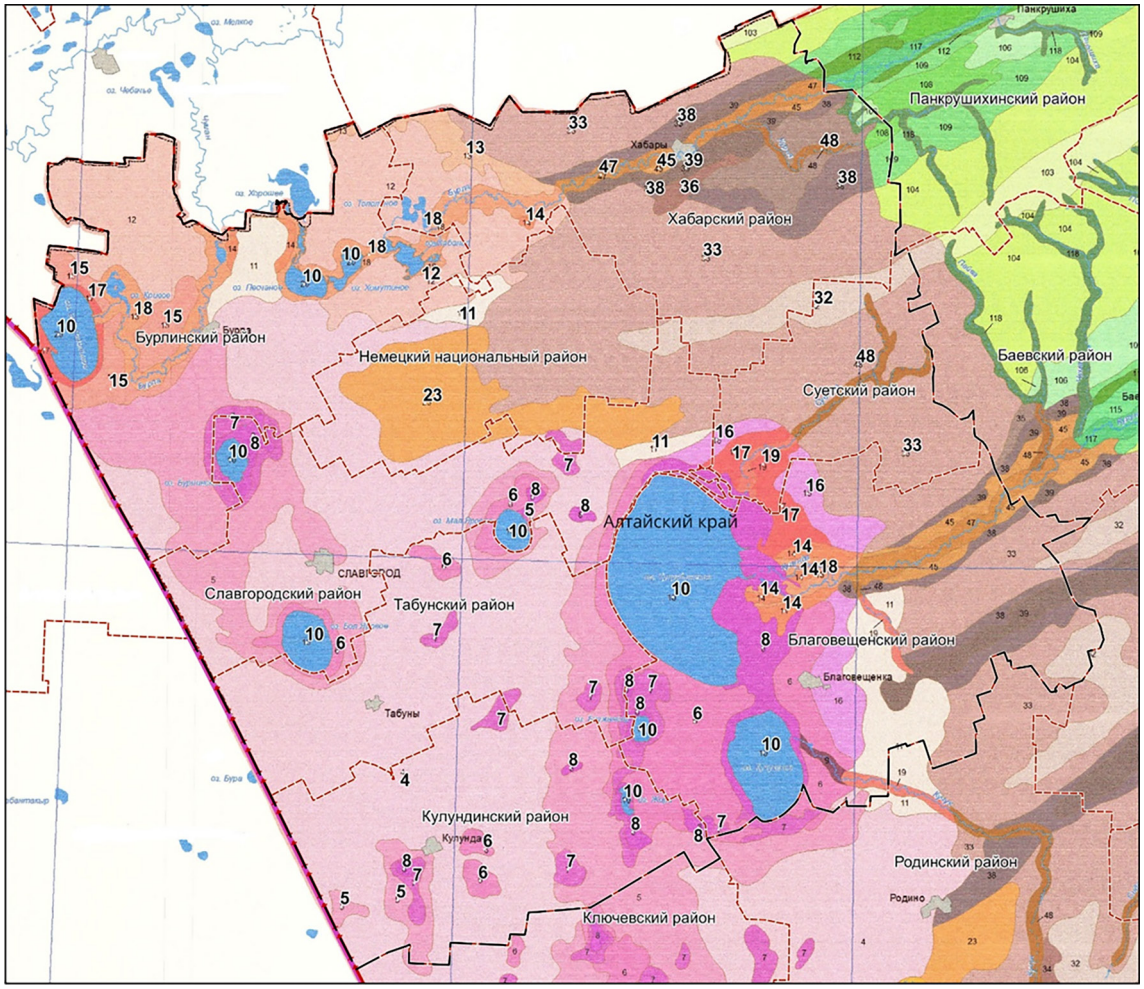


Рис. 1. Местоположение и ландшафты экотуристической территории «Кулундинская» в Алтайском крае
Примечание: составлено авторами на основе [8], нумерация таксонов ландшафтов дана в соответствии с легендой Ландшафтной карты Алтайского края (ИВЭП СО РАН) [8]

Характеристика ключевых природных объектов

В состав ЭТТ включены уникальные степные озера, каждое из которых обладает специфическими характеристиками и рекреационным потенциалом.

Озеро Кулундинское – крупнейшее в крае и на юге Западной Сибири (около 70 тыс. га), внесено в «Перспективный список Рамсарских угодий». Обладает глобальным значением для орнитофауны (свыше 200 видов птиц, включая краснокнижных). Уникальные биотопы (солончаки, тростники, колки) сочетаются с высоким бальнеологическим потенциалом (грязи, рапа), реализация которого пока слабо организована [9-11].

Озеро Большое Яровое – признанный бальнеологический курорт. Рапа и иловые грязи по химическому составу и лечебным свойствам не уступают ресурсам Сакского (Крым) и Тамбуканского (Кавказ) курортов.

Озеро Бурлинское – крупнейшее месторождение поваренной соли в Западной Сибири. Активно используется для рекреации, а его побережье охраняется как памятник природы «Сообщества галофитов».

Озеро Кучукское – горько-солёное озеро, целебные грязи и рапа которого приближены по ценности к северо-кавказским курортам [12; 13].

Результаты проведенного анализа природно-туристских ресурсов показывают, что предлагаемая к организации ЭТТ «Кулундинская» обладает потенциалом развития лечебно-оздоровительного, пляжного, эколого-познавательного туризма.

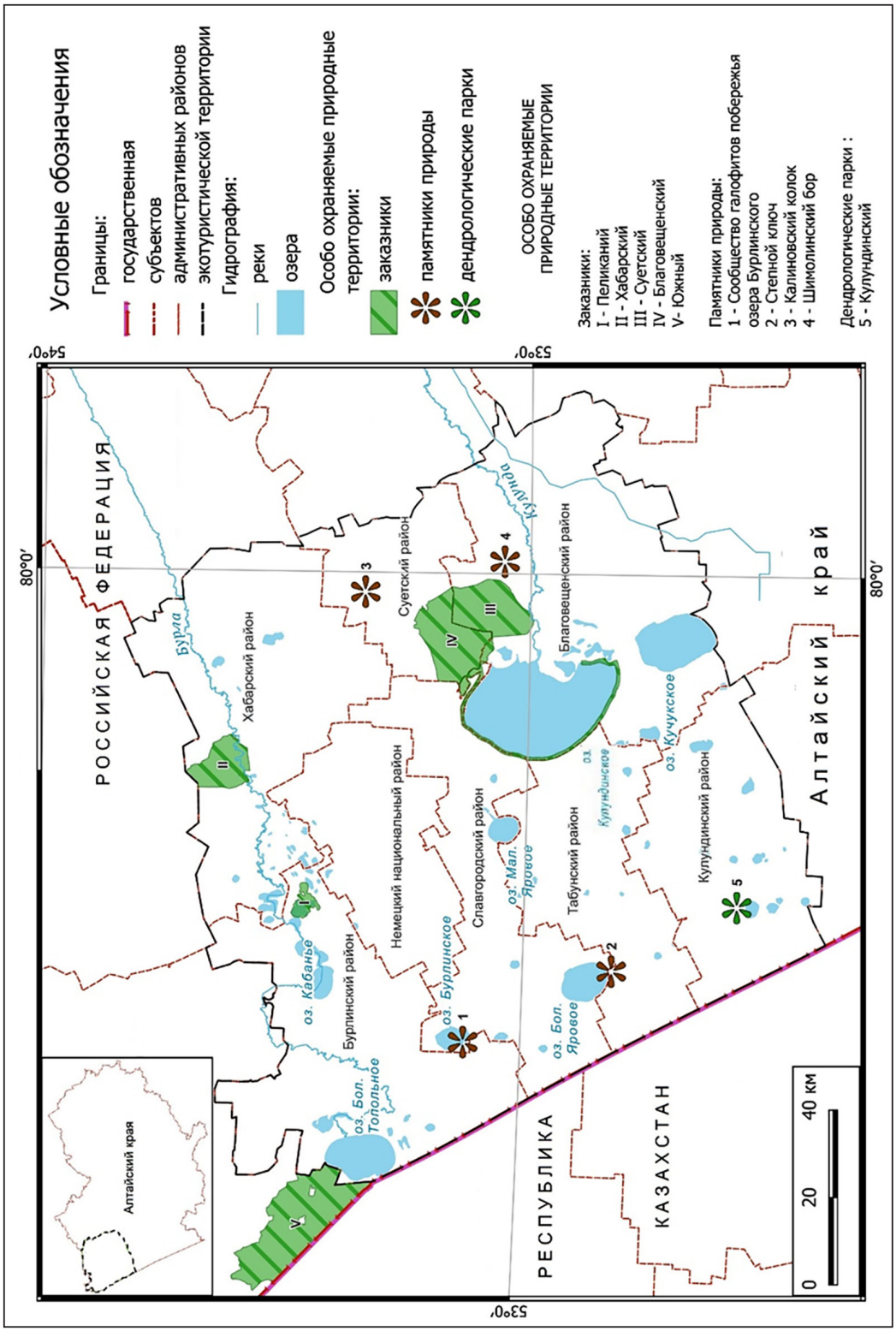


Рис. 2. Карта-схема экотуристической территории «Кулундинская»
Примечание: составлено авторами по результатам выполненного исследования

Закон № 40-ЗС «О внесении изменений в закон Алтайского края «Об особо охраняемых природных территориях в Алтайском крае»» регулирует функциональное зонирование экотуристических территорий. На ЭТТ «Кулундинская» предлагается выделить следующие функциональные зоны:

– *природоохранная* – берега оз. Кулундинского и ценные степные участки заказников, места обитания краснокнижных видов, памятники природы («Сообщества галофитов», «Степной Ключ», «Шимолинский бор», «Калиновский колок»);

– *рекреационная* – акватории и благоустроенные берега озер Кулундинское (за исключением зон гнездования птиц), Большое Яровое, Малое Яровое, Бурлинское, Кучукское для развития лечебно-оздоровительного и пляжного туризма;

– *историко-культурная* – территории, включающие объекты культурного наследия, в том числе места, связанные с масштабным освоением целинных земель в Кулундинской степи в середине XX века;

– *зона традиционного хозяйственного использования* – земли сельхозназначения с допустимым традиционным природопользованием местного населения (с жестким запретом на распашку целинных степей и применение агрохимикатов в водоохранных зонах).

Направления деятельности на ЭТТ «Кулундинская» складываются из природоохранной и туристско-рекреационной составляющих. Приоритетным направлением туризма является лечебно-оздоровительный.

В числе перспективных экологических и туристских инициатив выделяются:

– развитие новых видов познавательного туризма, в том числе бердвотчинга (наблюдения за птицами);

– восстановление на базе природоохранной зоны популяций исчезнувших в крае видов степных животных (дзерен, дрофа, кречетка, стрепет, перевязка) [14];

– рациональное использование бальнеологических ресурсов с соблюдением допустимых рекреационных нагрузок;

– выделение кластерных участков в рекреационной зоне для организации массового, однако регулируемого туризма [3; 4; 15].

По результатам проведённого исследования сформулированы рекомендации по развитию ЭТТ, предусматривающие: координацию мер по сохранению ландшафтного и биологического разнообразия уникальных степных экосистем; внедрение системы регулируемого туризма с учётом научно обоснованных норм рекреационной ёмкости ландшафтов.

Заключение

Проведенный анализ нормативно-правовой базы свидетельствует о том, что появление в региональном законодательстве Алтайского края новой категории ООПТ – «экотуристическая территория» (ЭТТ) – создает необходимые правовые и организационные предпосылки для комплексного развития степных регионов. Эта категория успешно заполнит пробел между режимами строгой охраны и традиционными заказниками, не имеющими четких механизмов регулирования туризма.

Создание ЭТТ регионального значения «Кулундинская» является своевременным и научно обоснованным шагом, который позволит стабилизировать ситуацию с сохранением и восстановлением био- и ландшафтного разнообразия степной части Алтайского края. Уникальное сочетание бальнеологических ресурсов и орнитологического потенциала подводит к отказу от жесткой консервации в пользу модели устойчивого экотуризма. Новая категория ООПТ даст региональным властям инструмент для упорядочения рекреационной деятельности и устранения потенциальных конфликтов между добывающими предприятиями, местным населением и задачами охраны природы.

Внедрение предложенного функционального зонирования создаст условия для оптимального баланса интересов. Строгая охрана мест гнездования краснокнижных птиц и ценных степных биоценозов будет гармонично сочетаться с развитием лечебно-оздоровительного туризма на степных озерах Кулунды.

Расчет количественных оценок допустимой рекреационной нагрузки и рекреационной емкости, требующий применения специализированных методик для уже функционирующих территорий, и станет предметом последующих исследований на стыке геоэкологии и рекреационной географии. Реализация проекта создаст предпосылки для социально-экономического развития приграничных районов и формирования современной туристской инфраструктуры в рамках мастер-плана «Большой Алтай» и национального проекта «Туризм и гостеприимство».

Список литературы

1. Селезнева Е. В., Ротанова И. Н. О новациях в природоохранном законодательстве Алтайского края и предложении для реализации // Человек и природа: взаимодействие

на особо охраняемых природных территориях. Материалы докладов V Всероссийской научно-практической конференции. Новокузнецк, 2023. С. 158-162. EDN: EEORWK.

2. Селезнева Е. В., Куликова Е. Н., Ротанова И. Н. Анализ нормативно-правовых документов в области рекреационной деятельности на особо охраняемых природных территориях в Российской Федерации и Республике Казахстан // Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.г.н., профессора В.С. Ревякина. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2025. С. 379–385. EDN: PBICCA.

3. Важов В. М., Важов С. В., Бахтин Р. Ф. Об экологическом туризме в заказниках Алтайского края // Успехи современного естествознания. 2014. № 12. С. 491. EDN: TENWAL.

4. Грибков А. В., Кузменкин Д. В., Нехорошева Л. В., Щур А. В. Пути совершенствования системы особо охраняемых природных территорий Алтайского края // Труды Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 96–110. DOI: 10.53005/20767390_2015_7_96. EDN: TTLYWJ.

5. Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 года: постановление № 418: принято от 12.08.2013 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/460155163 (дата обращения: 12.09.2026).

6. Ротанова И. Н., Муранова Т. В. От схемы к системе ООПТ Алтайского края // Экология. Культура. Образование. Материалы XIV городской научно-практической конференции. Барнаул, 2024. С. 149-156. EDN: TUJXHZ.

7. Туристический мастер-план «Большого Алтая». [Электронный ресурс]. URL: https://genplanmos.ru/project/bolshoy-altay-plan-sistemnogo-razvitiya/ (дата обращения: 12.09.2026).

8. Ландшафтная карта Алтайского края: Карта. Масштаб 1:500 000. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2016. 2 с. EDN: URXBVW.

9. Дирин Д. А., Мардасова Е. В., Рыгалов Е. В. Ресурсы оздоровительной рекреации в Кулундинской степи // География и природопользование Сибири. 2017. Вып. 24. С. 11–33. EDN: YQXMFX.

10. Веснина Л. В. Экосистема озера Кулундинское в период опреснения // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. № 1(50). С. 68-77. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-50-1-68-77. EDN: PMIROW.

11. Ротанова И. Н., Торопчина Н. С. Эколого-географический анализ водосборного бассейна Кулундинского озера // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Материалы V международной научной конференции, приуроченной к 100-летию со дня рождения академика О. Ф. Васильева. Барнаул, 2025. С. 379–380. EDN: TYJUNL.

12. Милевский О. А. История геолого-географического изучения бассейна Кучукского озера в 1920–1940-х гг. // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2017. № 6(51). С. 34–41. EDN: XOUIVV.

13. Харламова Н. Ф., Ротанова И. Н., Селезнева Е. В. Инвентаризация и систематизация объектов туристского интереса Алтайского края // Современные проблемы и перспективы развития туризма и гостеприимства в России и за рубежом. Сборник статей участников Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Арзамас, 2024. С. 152-156. EDN: CMKKEW.

14. Черемисин А. А., Важов С. В., Важов В. М. Территориальная оценка заказников Алтайского края в целях организации орнитологических туров // Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 176–181. DOI: 10.17513/use.37382. EDN: UXIKZJ.

15. Маслова О. М., Дудник М. А., Прудникова Н. Г. Развитие глэмпинга в Алтайском регионе // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 107-114. DOI: 10.17513/use.38179. EDN: VLVBIT.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Финансирование: Работы выполнены при поддержке гранта РНФ № 26-27-20090 «Формирование природоохранно-туристских территорий в пределах международных трансграничных регионов на примере Алтая».

Financing: This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF), project No. 26-27-20090 «Formation of nature conservation and tourism territories within international transboundary regions: a case study of the Altai».

УДК 911:332.33:332.7
DOI 10.17513/use.38554

CC BY 4.0

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗВРАЩЕНИЯ БЕСХОЗЯЙНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ В ОБОРОТ

[1]Суродеев М. С., [1]Москалева С. А., [1]Фролов А. Н., [2]Долгачева Т. А., [1]Учайкин Н. И., [2]Аникин В. В.

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», Саранск, Российская Федерация, e-mail: m.surodeev2014@yandex.ru; [2]Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования Московский университет «Синергия», Москва, Российская Федерация

Применение заброшенных и неиспользуемых сельскохозяйственных земель является одной из ключевых проблем современного землепользования, решение которой имеет важное значение для повышения эффективности использования земельных ресурсов и устойчивого развития территорий. Цель исследования – анализ проблем и перспектив возвращения бесхозяйных сельскохозяйственных земель Республики Мордовия в хозяйственный оборот. В работе задействованы общенаучные, статистические и геоинформационные методы исследования, а также междисциплинарный подход. Информационную основу исследования составили материалы лаборатории геоматики и мониторинга метагеосистем, сведения Мордовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «РосАгрохимслужба», данные региональных геопорталов, а также картографические и статистические материалы. В ходе исследования выявлены основные причины неиспользования сельскохозяйственных земель, проанализировано их современное состояние, обобщены подходы к инвентаризации и обследованию таких территорий. Предложены наиболее перспективные направления вовлечения бесхозяйных земель в хозяйственный оборот, включая возвращение их в сельскохозяйственное производство, лесовосстановление, организацию пастбищ, развитие рекреационных территорий и индивидуального жилищного строительства. Обоснована значимость применения геоинформационных систем и геопорталов для инвентаризации земель, анализа пространственных данных и принятия управленческих решений. Установлено, что эффективное вовлечение бесхозяйных сельскохозяйственных земель в хозяйственный оборот возможно при комплексном подходе, предусматривающем совершенствование учета земельных ресурсов, использование современных геоинформационных технологий и учет региональных особенностей Республики Мордовия.

Ключевые слова: земельные отношения, неиспользуемые земли, инвентаризация земель, сельскохозяйственные угодья, геоинформационные системы, Республика Мордовия, управление земельными ресурсами

PROBLEMS AND PROSPECTS OF RETURNING ABANDONED AGRICULTURAL LANDS OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA INTO CIRCULATION

[1]Surodeev M. S., [1]Moskaleva S. A., [1]Frolov A. N., [2]Dolgacheva T. A., [1]Uchaykin N. I., [2]Anikin V. V.

[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ogarev National Research Mordovian State University", Saransk, Russian Federation e-mail: m.surodeev2014@yandex.ru; [2]Non-state Private Educational Institution of Higher Education "Synergy" University, Moscow, Russian Federation;

The use of abandoned and unused agricultural land is one of the key challenges of modern land management, and addressing this issue is essential for improving the efficiency of land resource use and ensuring the sustainable development of territories. The aim of the study is to analyze the problems and prospects for returning ownerless agricultural land in the Republic of Mordovia to economic use. The study employed general scientific, statistical, and geoinformation research methods, as well as an interdisciplinary approach. The research was based on materials provided by the Laboratory of Geomatics and Metageosystem Monitoring, data from the Mordovia Branch of the Federal State Budgetary Institution "RosAgrokhimservice", regional geoportals, and cartographic and statistical materials. The study identified the main causes of agricultural land abandonment, analyzed its current condition, and summarized approaches to the inventory and assessment of such territories. The most promising directions for bringing ownerless land back into economic use were proposed, including its return to agricultural production, reforestation, pasture development, recreational land use, and individual housing construction. The importance of applying geographic information systems and geoportals for land inventory, spatial data analysis, and informed decision-making was substantiated. It was established that the effective return of ownerless agricultural land to economic use is possible only through an integrated approach based on improving land resource management, applying modern geoinformation technologies, and taking into account the regional characteristics of the Republic of Mordovia.

Keywords: land relations, unused lands, land inventory, agricultural lands, geographic information systems, Republic of Mordovia, land resource management

Введение

В условиях трансформации земельных отношений в России, особенно после 1990-х годов, проблема неиспользуемых земель приобрела особую актуальность. С момента принятия Земельного кодекса в 2001 году в России произошли значительные изменения в правовом регулировании, однако многие положения закона оставались недостаточно развитыми, что создавало юридическую неопределенность для собственников и пользователей землей.

Например, отсутствие четких механизмов передачи прав на землю, а также недостаточная защита прав собственников в случае неконтролируемого забрасывания земли способствовали тому, что многие владельцы просто не использовали свои участки, предпочитая игнорировать их.

Отсутствие эффективного управления земельными ресурсами также является одной из серьезных проблем. Государственные и местные органы нередко не имеют достаточных полномочий и ресурсов для контроля за использованием земель.

Ситуация усугубляется недостатком ведения кадастрового учета и мониторинга состояния земель, что делает трудным выявление заброшенных территорий и определение их статуса. В результате земля может оставаться заброшенной на протяжении долгого времени, не получая никакой функции или назначения.

Цель исследования – анализ проблем и перспектив возвращения бесхозяйных сельскохозяйственных земель Республики Мордовия в оборот.

Материалы и методы исследования

В ходе выполнения исследования были применены следующие методы: анализ литературных источников, описания, сравнительный анализ, статистический, картографический, геоинформационный. Исходными данными для комплексного анализа агроландшафтов послужили статистические отчетные материалы и результаты полевого и дистанционного обследования неиспользуемой пашни Мордовского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба», аналитические материалы и картографические интерактивные тематические слои, содержащие сведения различных категорий о природных, социальных и производственных системах региона, систематизированные в геопортале «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» (https://meta.rgo.life/) лаборатории геоматики и мониторинга метагеосистем института геоинформационных технологий и географии Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, сведения региональных геопорталов.

Результаты исследования и их обсуждение

В научных исследованиях употребляется термин «неиспользуемые земли», который охватывает широкий спектр земельных участков, находящихся в состоянии, когда на них не ведется активное сельскохозяйственное производство или иная деятельность, связанная с использованием этих земель.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 18.09.2020 № 1482 «О признаках неиспользования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения по целевому назначению или использования с нарушением законодательства Российской Федерации» утверждены признаки неиспользования земельных участков по целевому назначению, а именно:

– зарастание 50% площади земельного участка и более сорными растениями, ДКР;

– наличие дерна, характеризующегося переплетением корней, побегов, корневищ многолетних сорных растений, глубина которого достигает 15 см и более (за исключением дерна на земельных участках, предназначенных и используемых для выпаса сельскохозяйственных животных), и (или) распространение деградации земель [1].

При этом данные признаки считаются признаками неиспользования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения по целевому назначению, если одновременно с ними отсутствует ведение сельскохозяйственной деятельности на оставшейся площади земельного участка либо ведение такой деятельности менее чем на 25% площади земельного участка.

Дополнительно В. Н. Семочкин выделяет категории, указанные на рисунке 1.

По мнению П. В. Афанасьева, основными причинами отказа от использования сельскохозяйственных земель стали экономические и организационно-правовые изменения в постсоветский период (рис. 2).

Среди экологических причин, способствующих неиспользованию земель, выделяются процессы почвенной эрозии, как водной, так и ветровой, которые разрушают структуру почвы и делают её непригодной для ведения хозяйственной деятельности.



Рис. 1. Категории неиспользуемых земель, согласно В. Н. Семочкину [2, с. 81]

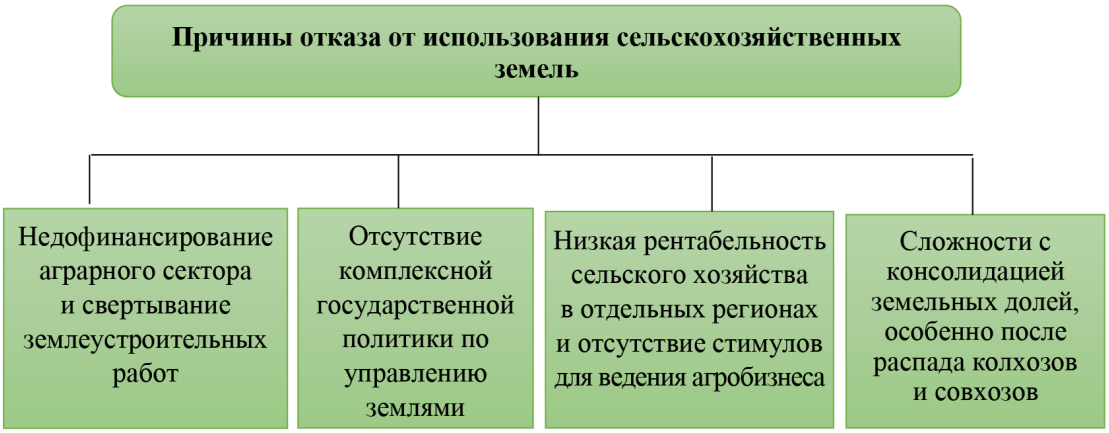


Рис. 2. Причины отказа от использования сельскохозяйственных земель [3, с. 43]

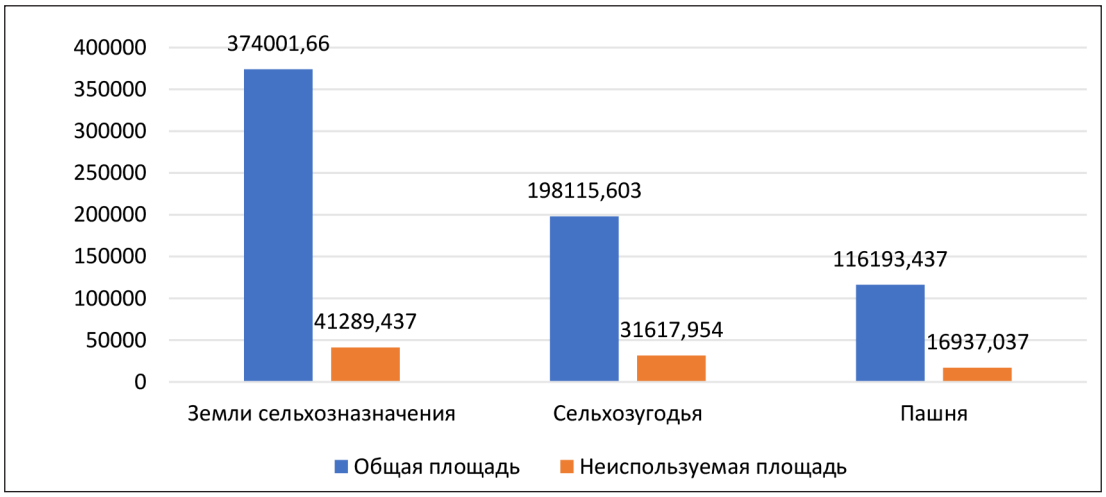


Рис. 3. Общие и неиспользуемые площади земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации (тыс. га), по состоянию на 01.01.2024 [5, с. 40]

Существенную угрозу представляет заболачивание и подтопление участков, особенно в регионах с избыточным увлажнением. Кроме того, ухудшение агроэкологических характеристик связано с засолением и осолонцеванием почв, что резко снижает их продуктивность [4, с. 364]. В ряде случаев земли зарастают мелколесьем и кустарником, что

усложняет их последующее освоение и требует значительных усилий для возвращения в хозяйственный оборот. Сопоставление общих и неиспользуемых площадей земель сельскохозяйственного назначения, угодий и пашни по данным субъектов Российской Федерации, с указанием доли неиспользуемых земель представлено на рисунке 3.

Н. А. Студенкова и Н. И. Добротворская отмечают также проблемы учета и инвентаризации: либо большинство данных о неиспользуемых землях устарело, либо отсутствует системная методика обновления сведений. Более того, не все участки поставлены на кадастровый учет, а текущая инвентаризация ведется эпизодически [6, с. 200]. По мнению авторов из Государственного университета по землеустройству, правовая неопределенность, связанная с неоформленными правами собственности и отсутствием механизмов изъятия неиспользуемых земель, препятствует их вовлечению в хозяйственный оборот. Щукин С. В. подчеркивает важность проведения культуртехнических работ и уточнения границ земельных участков с целью возможности привлечения инвестиций и последующего вовлечения в сельхозпроизводство [7, с. 93].

Рациональное использование земельных ресурсов невозможно без достоверной информации о качественных и количественных характеристиках земель. Особенно остро эта проблема стоит в отношении неиспользуемых сельскохозяйственных угодий, доля которых в структуре земельного фонда России остается значительной. В этом контексте особую актуальность приобретает процедура инвентаризации и обследования земель, выбывших из хозяйственного оборота.

Инвентаризация является основной формой государственного учета земель, нацелена на определение их фактического состояния, выявление площадей, не используемых по назначению, и обоснование решений о возможности вовлечения таких земель в оборот [8, с. 145]. Обследование начинается с анализа кадастровых данных, картографических материалов, спутниковых снимков и информации дистанционного зондирования Земли. Полевые обследования предполагают визуальное изучение состояния почвы, растительности, структуры землепользования, а также оценку доступности и инфраструктуры территорий. Собранные геоботанические, почвенные и агрохимические данные позволяют определить уровень деградации почв, степень зарастания территорий древесно-кустарниковой растительностью, наличие признаков заболачивания или эрозии. Эти данные становятся основой для выявления ограничивающих факторов и классификации земель по степени пригодности к дальнейшему использованию.

Так, Мордовским филиалом ФГБУ «РосАгрохимслужба» во исполнение поручений министра сельского хозяйства Российской Федерации проводится активная работа по «Программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и мелиоративного комплекса РФ», совместно с МГУ им. Н. П. Огарёва, включающая полевые и дистанционные обследования участков неиспользуемой пашни региона (рис. 4).

Студенкова Н. А. и Добротворская Н. И. указывают на серьезные институциональные барьеры, такие как отсутствие единой информационной системы, в которой бы интегрировались сведения о земле, неразвитость нормативной базы, нехватка финансирования на проведение землеустроительных работ. Например, в отличие от советского периода, когда земельный учет включал основную (10-15 летнюю) и текущую (ежегодную) форму наблюдений, сегодня такие системные подходы практически не реализуются в полном объеме. Кроме того, значительная часть земель до сих пор не поставлена на кадастровый учет, а существующие данные не отражают реальные границы и состояние участков. Это мешает их легальному вовлечению в хозяйственный оборот и препятствует налогообложению, инвестиционной привлекательности и планированию.

Грамотное вовлечение неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в сельскохозяйственный оборот является важной стратегической задачей для всех участников сельскохозяйственного производства, а также необходимым решением для повышения эффективности использования земельного потенциала страны. По состоянию на 01.01.2024, по данным субъектов Российской Федерации, площадь вовлеченных сельскохозяйственных угодий составила 1 419,729 тыс. га, или 4,46% по отношению к общей площади неиспользуемых угодий по состоянию на начало 2023 г. [5, с. 49].

В Республике Мордовия в 2023 году зафиксирован разовый рост площади неиспользуемых земель до 257,9 тыс. га (на 18,9 тыс. га больше, чем в 2022 году). При этом доля неиспользуемых земель в общей площади сельскохозяйственного назначения региона составила 15,6% (таблица).

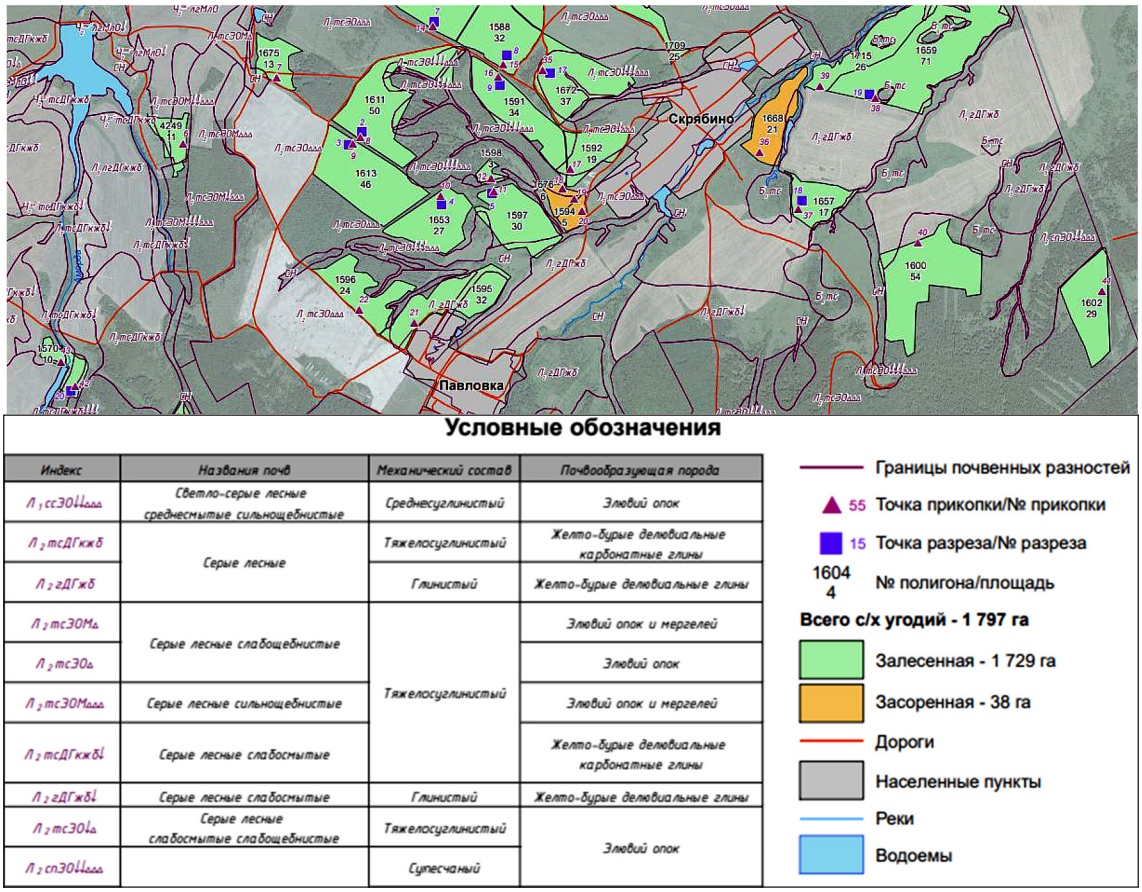


Рис. 4. Фрагмент схемы почвенного обследования неиспользуемой пашни Лямбирского муниципального района (отделение Атемар), 2024 год, и условных обозначений к схеме [9]

Площади неиспользуемых земель в Республике Мордовия

Год	Общая площадь земель									Площадь с/х угодий, используемых в с/х производстве, тыс. га
	земель с/х назначения, тыс. га	неиспользуемых земель с/х назначения		с/х угодий, тыс. га	неиспользуемых с/х угодий		пашни, тыс. га	неиспользуемой пашни		
		тыс. га	%		тыс. га	%		тыс. га	%	
2023	1653,8	257,9	15,6	1514,9	241,8	15,96	1004,8	99,8	9,94	1273
2022	1660,9	239	14,39	1521	228,4	15,02	1006,4	96,4	9,58	1292
2021	1662,1	239,9	14,44	1522	233,9	15,37	1006,7	101,9	10,13	1288

Примечание: составлено на основе [5, с. 284; 10, с. 245; 11, с. 264].

Обширная категория неиспользуемых земель – это залежные пашни, пастбища и сенокосы, общая площадь которых превышает 99 тыс. га. Однако более глубокий анализ ситуации с привлечением данных Мордовиястата обо всей посевной площади сельскохозяйственных культур, составивших в 2023 году 791,5 и 787,6 тыс. га и с учетом площади чистых паров в размере 59,2 и 62,5 тыс. га, можно сделать вывод, что площадь вовлеченной в сельхозпроизводство пашни составила 850,7 и 850,1 тыс. га [12, с. 214].

Следует, правда, отметить, что вступившими в силу с 1 января 2025 года поправками в законодательные акты, регулирующие гражданско-правовой оборот сельхозземель, право собственности на невостребованные доли во внесудебном порядке переходит к муниципальным образованиям. Эта своевременная мера, за счет отказа от громоздких затяжных судебных процедур, позволит покончить с правовым обезличиванием значительной части сельскохозяйственных земель, а значит и активно включить их

в гражданский оборот и, соответственно, в производственное использование [13-14].

С учетом природно-климатических условий и социально-экономических факторов региона возможны следующие варианты использования заброшенных земель:

– одним из наиболее очевидных подходов является возвращение заброшенных земель в аграрный сектор. Для этого необходимо провести ряд подготовительных мероприятий, таких как оценка состояния почвы, определение необходимых агротехнических мероприятий и организация финансирования [15, с. 7]. С 2023 года в стране действует Госпрограмма эффективного вовлечения в оборот земель сельхозназначения и развития мелиоративного комплекса, всего до 2030 года намечено освоить 13 млн га земель. Безусловно, такая важнейшая программа должна иметь надлежащее землеустроительное сопровождение. Наряду с уже упоминавшейся выше инвентаризацией земель, следовало осуществить разработку районных схем землеустройства в сокращенном формате, сконцентрировав внимание на отборе земельных массивов для последующего проведения мелиоративных (культур технических) работ, с выделением объектов первоочередного освоения земель;

– лесовосстановление и создание лесополос. В условиях ухудшения экологической обстановки и изменения климата этот метод может значительно улучшить природную среду. Высадка деревьев и кустарников помогает восстанавливать экосистемы, сокращать эрозию почв и улучшать биоразнообразие. При этом, если планируется создание лесных насаждений с целью дальнейшей коммерческой эксплуатации (например, заготовка древесины), это может стать и экономически выгодным направлением;

– преобразование заброшенных земель под нужды рекреации и туризма. С учетом растущего интереса к экологическому туризму и активным видам отдыха, такие земли могут быть использованы для создания туристических баз, вело- и пешеходных маршрутов, благоустроенных зон отдыха. Это не только оживляет экономику региона, но и способствует привлечению туристов, что может стать источником дополнительного дохода для местных жителей.

– организация пастбищ для скота. В условиях, когда в регионе достаточно обширные площади заброшенных земель, их можно использовать для пастбищного животноводства. Это позволит не только предотвратить зарастание участков, но и улучшить качество пастбищ за счет управления травостоями. Правильный подход к управлению грузом и ротации пастбищ может послужить устойчивому производству мясной и молочной продукции;

– ИЖС и коттеджное строительство. Современные проекты коттеджных поселков могут учитывать экологические аспекты, сохраняя природные ландшафты и используя местные материалы. При таком подходе возможно создание функциональных домов, которые не только минимизируют негативное воздействие на природу, но и способствуют развитию локальной экономики через привлечение новых жителей и туристов [16-18].

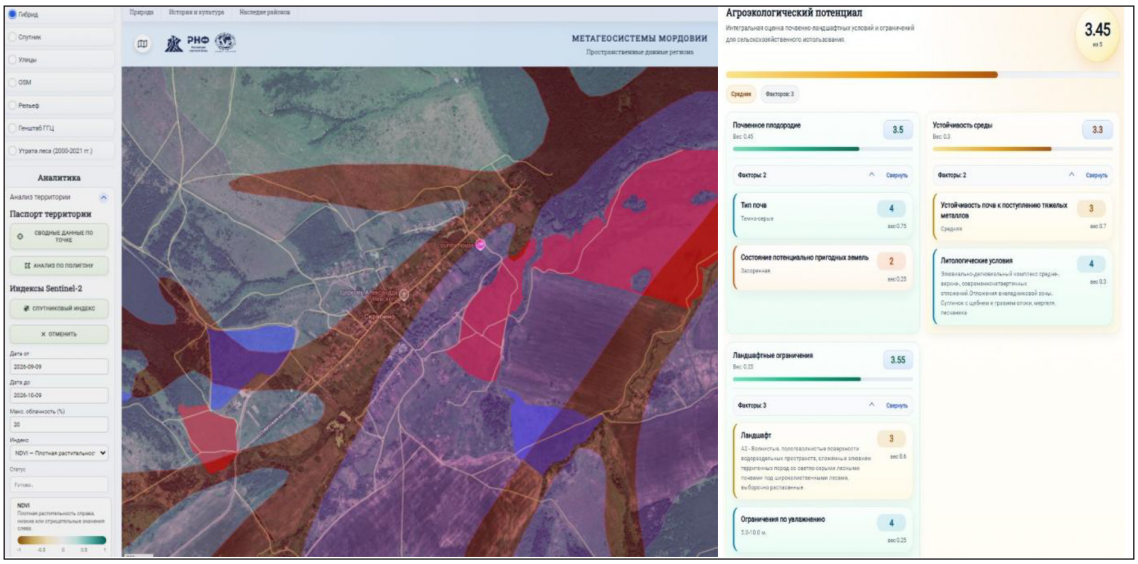


Рис. 5. Модуль «Аналитика» геопортала «Метагеосистемы Мордовии» в оценке агроэкологического потенциала использования земель [19]

Современные геоинформационные технологии (ГИС) играют ключевую роль в управлении земельными ресурсами, предоставляя мощные инструменты для анализа, моделирования и принятия обоснованных решений (рис. 5).

Инструменты ГИС, в частности геопорталы – веб-платформы, предоставляющие доступ к актуальным открытым картографическим данным и сервисам, позволяют интегрировать, визуализировать и сопоставлять разнородные пространственные данные, что способствует комплексному представлению о состоянии земель и более детальной проработке рекомендаций по оптимизации их использования.

Заключение

Проблема вовлечения в оборот неиспользуемых земель требует комплексного подхода, детальной инвентаризации, глубокого и всестороннего анализа причин выбытия и разработки стратегий их эффективного и рационального использования, включая альтернативные виды. На примере Республики Мордовия продемонстрировано, что применение современных средств и технологий, учет региональных особенностей агроландшафтов позволяют эффективно решать задачи по выявлению и вовлечению неиспользуемых земель в хозяйственный оборот, способствуя устойчивому развитию территории.

Список литературы

1. Российская Федерация. Правительство. Постановление от 18.09.2020 № 1482 «О признаках неиспользования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения по целевому назначению или использования с нарушением законодательства Российской Федерации» (ред. от 07.03.2026 № 251) // Официальный интернет-портал правовой информации. 2020. 22 сентября. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009220010 (дата обращения: 24.08.2026).

2. Семочкин В. Н., Шаров П. И., Шадманов М. Р., Зименкова К. А. Проблема неиспользуемых земель в Российской Федерации и пути ее решения // Московский экономический журнал. 2020. № 3. С. 75-84. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problema-neispolzuemyh-zemel-v-rossiyskoy-federatsii-i-puti-ee-resheniya (дата обращения: 02.08.2026). DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10154.

3. Афанасьев П. В., Семочкин В. Н., Шаров П. И. Деградация продуктивных угодий и причины неиспользования земель сельскохозяйственного назначения // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений: сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции (г. Краснодар, 24 апреля 2020 г.). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2020. С. 35-46. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=38177164 (дата обращения: 02.08.2026). EDN: GDTSRF.

4. Колчев С. И., Коренева И. А. Причины неиспользования земель сельскохозяйственного назначения и необходимость вовлечения их в экономический оборот // Прогрессивная экономика. 2026. № 6. С. 359–382. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-neispolzovaniya-zemel-selskohozyaystvennogo-naznacheniya-i-neobhodimost-vovlecheniya-ih-v-ekonomicheskiy-oborot (дата обращения: 02.08.2026). DOI: 10.54861/27131211_2026_6_359.

5. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в 2023 году / ФГБУ «Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». Москва, 2024. URL: https://rshzm.ru/report (дата обращения: 24.08.2026).

6. Студенкова Н. А., Добротворская Н. И. Современные проблемы инвентаризации и кадастрового учета земель сельскохозяйственного назначения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2021. Т. 3. № 2. С. 198–204. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-problemy-inventarizatsii-i-kadastrovogo-ucheta-zemel-selskohozyaystvennogo-naznacheniya (дата обращения: 02.08.2026). DOI: 10.33764/2618-981X-2021-3-2-198-204.

7. Щукин С. В., Голубева А. И., Дорохова В. И., Дугин А. Н. Рекомендации по вовлечению в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1(41). С. 87–98. URL: https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/18-1/87-98.pdf (дата обращения: 02.08.2026).

8. Арзамасцева Н. В., Прохорова Н. В. Неиспользуемые сельскохозяйственные земли в Российской Федерации: масштаб и перспективы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 6. С. 143–149. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/neispolzuemye-selskohozyaystvennye-zemli-v-rossiyskoy-federatsii-masshtab-i-perspektivy (дата обращения: 02.08.2026).

9. Отчет о проделанной работе. Проведение почвенного, агрохимического, органохимического и эколого-токсикологического обследования неиспользуемой пашни / сост. В. П. Аношкина. Саранск: ФГБУ «РосАгрохимслужба», 2024. 300 с.

10. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в 2022 году / ФГБУ «Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». Москва, 2023. URL: https://rshzm.ru/report (дата обращения: 24.08.2026).

11. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в 2021 году / ФГБУ «Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». Москва, 2022. URL: https://rshzm.ru/report (дата обращения: 20.08.2026).

12. Сельское хозяйство Республики Мордовия: стат. сб. / Мордовиястат. Саранск, 2024. URL: https://13.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ежегодник_2024.pdf (дата обращения: 24.08.2026).

13. Ишамятова И. Х., Антропов Д. В. Анализ факторов выбытия земель из оборота при организации землепользования на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67. № 1(397). С. 14–19. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vybytiya-zemel-iz-oborota-pri-organizatsii-zemlepolzovaniya-na-neispolzuemyh-zemlyah-selskohozyaystvennogo (дата обращения: 02.08.2026). DOI: 10.55186/25876740_2024_67_1_14.

14. Минаев П. А. Анализ неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения России // Наука без границ. 2021. № 9(61). С. 26–32. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-neispolzuemyh-zemel-selskohozyaystvennogo-naznacheniya-rossii (дата обращения: 02.08.2026).

15. Харченко О. В., Шаряпова Э. А. Критерии изъятия земель сельскохозяйственного назначения как необходимая

мера по сохранности земельного ресурса // Аграрное и земельное право. 2025. № 1. С. 6–9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-izyatiya-zemel-selskohozyaystvennogo-naznacheniya-kak-neobhodimaya-mera-po-sohrannosti-zemelnogo-resursa (дата обращения: 02.08.2026).

16. Тихонова Е. Н., Малинина Т. А., Селиванова А. С., Бархударян Д. А. Рекреационная рекультивация территории как основа создания паркового пространства // Лесотехнический журнал. 2018. № 4(32). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rekreatsionnaya-rekultivatsiya-territoriikak-osnova-sozdaniya-parkovogo-prostranstva (дата обращения: 24.10.2026).

17. Парфенова И. А., Репецкая А. И., Кладченко Е. С. Концепция рекультивации Кадыковского карьера с организацией туристко-рекреационного объекта (Севастополь, Балаклава) // Экосистемы. 2016. № 6(36). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-rekultivatsii-kadykovskogo-kariera-s-organizatsiey-turistko-rekreatsionnogo-obekta-sevastopol-balaklava (дата обращения: 24.10.2026).

18. Трофимова В. И. Вовлечение неиспользуемых земель в хозяйственный оборот аграрной сферы региона: институциональное регулирование и экономическая целесообразность // Вестник университета. 2024. № 8. С. 95–108. URL: https://vestnik.guu.ru/jour/article/view/5484 (дата обращения: 02.08.2026). DOI: 10.26425/1816-4277-2024-8-95-108.

19. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» // Институт геоинформационных технологий и географии МГУ им. Н. П. Огарева. [Электронный ресурс]. URL: https://meta.rgo.life/ (дата обращения: 10.09.2026).

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.

СТАТЬИ

УДК 553.2
DOI 10.17513/use.38555

CC BY 4.0

ОКОЛОРУДНЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ ЗОЛОТО-МЕДНОГО ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННОГО КВАРЦ-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

**Никонов В. Н., Мустафин С. К. ORCID ID 0009-0003-3395-5292,
Хасанова Г. Ф. ORCID ID 0000-0002-4241-4004**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Российская Федерация,
e-mail: galimakhasanova@gmail.com*

Публикация нацелена на смену парадигмы в оценке металлогенического потенциала крупных зон метасоматических преобразований, развитых в эффузивных и субвулканических комплексах Башкирского Зауралья, вмещающих колчеданное и золото-полиметаллическое оруденение. Параметры этих зон в несколько раз превышают габариты локализованных тел колчеданных (массивных сульфидных) руд, которые до настоящего времени рассматриваются как безальтернативные промышленно значимые объекты. В классической геологической практике околорудные метасоматиты серицит-хлорит-кварцевого и иного состава рассматриваются лишь как боковые породы рудных тел на действующих, законсервированных и выработанных месторождениях. Между тем систематическое изучение рудной минерализации в метасоматитах выявляет устойчивое развитие вкрапленных, прожилково-вкрапленных сульфидных агрегатов, суммарная доля которых, как правило, не превышает десяти процентов от массы породы. Уровни содержаний меди, золота и прочих стратегических металлов в подобных образованиях вполне коррелируют с показателями объектов меднопорфировой формации, являющихся главными поставщиками меди и занимающих второе место по извлечению золота на мировом рынке. Цель работы – оценить перспективы золото-медного малосульфидного оруденения прожилково-вкрапленного типа, по вещественному составу сходного с меднопорфировыми месторождениями, в метасоматических зонах, вмещающих колчеданные месторождения девонских островных дуг Башкирского Зауралья. Следует особо подчеркнуть двойственную природу данного геологического феномена. С одной стороны, породы с вкрапленными сульфидами, не достигающие кондиций богатых руд, при разработке перемещаются в отвалы вскрыши. Процессы выветривания и окисления, протекающие в этих отвалах, инициируют формирование мощных потоков ультракислых вод, которые служат катализатором для активного выноса катионов тяжелых цветных металлов, в особенности меди, в сопредельные ландшафты. С другой стороны, в регионе имеются прецеденты, когда подобные техногенные скопления оценивались как кондиционное техногенно-минеральное сырье. В развитие этого подхода представляется логичным экстраполировать методику оценки на борта карьерных выработок, где сохранились внушительные объемы метасоматитов с нереализованным рудным потенциалом.

Ключевые слова: рудовмещающие метасоматиты, медь, золото, прожилково-вкрапленная кварц-сульфидная минерализация

NEAR-ORE METASOMATITES OF PYRITE DEPOSITS OF BASHKIR TRANS-URALS AS A PROMISING OBJECT OF GOLD-COPPER VEIN-DISSEMINATED QUARTZ-SULFIDE MINERALIZATION

**Nikonov V. N., Mustafin S. K. ORCID ID 0009-0003-3395-5292,
Khasanova G. F. ORCID ID 0000-0002-4241-4004**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology», Ufa, Russian Federation,
e-mail: galimakhasanova@gmail.com*

The publication aims to change the paradigm in assessing the metallogenic potential of large zones of metasomatic transformations developed in the effusive and subvolcanic complexes of the Bashkir Trans-Urals, containing pyrite and gold-polymetallic mineralization. The parameters of these zones are several times larger than the dimensions of localized bodies of pyrite (massive sulfide) ores, which are still considered as uncontested industrially significant objects. In the class geological practice, near-ore metasomatites of sericite-chlorite-quartz and other composition are considered only as lateral rocks of ore bodies in active, preserved and excavated deposits. Meanwhile, the systematic study of ore mineralization in metasomatites reveals the steady development of interspersed, veined-interspersed sulfide aggregates, the total share of which, as a rule, does not exceed ten percent of the mass of the rock. The levels of copper, gold and other strategic metals in such formations are quite correlated with the indicators of the objects of the copper-porphyry formation, which are the main suppliers of copper and occupy the second place in gold extraction on the world market. The purpose of the work is to assess the prospects for gold-copper low-sulfide mineralization of a vein-interspersed type, similar in material composition to copper-porphyry deposits, in metasomatic zones containing pyrite deposits of the Devonian island arcs of the Bashkir Trans-Urals. The dual nature of this geological phenomenon should be emphasized. On the one hand, rocks with disseminated sulfides that do not reach the conditions of rich ores are re-placed in overburden dumps during development. The weathering and oxidation processes taking place in these dumps initiate the formation of powerful flows of ultra-acidic waters, which serve as a catalyst for the active you-nose of cations of heavy non-ferrous metals, especially copper, to adjacent landscapes. On the other hand, there are precedents in the region when such technogenic accumulations were assessed as conditioned technogenic-mineral raw materials. In the development of this approach, it seems logical to extrapolate the assessment methodology to the sides of mine workings, where impressive volumes of metasomatites with unrealized ore potential have been preserved.

Keywords: ore-bearing metasomatites, sulfides, copper, gold, veinlet-inpregnated mineralization of porphyry type

Введение

Меднопорфировые месторождения (т.е. месторождения прожилково-вкрапленных малосульфидных руд в интрузивных, субвулканических и эффузивных породах) являются главным источником меди в мире. Содержание меди в порфировых месторождениях колеблется от 0,16% до 0,9%, в среднем составляя 0,3-0,5%.

Среди различных генетических типов медного оруденения особое положение занимают порфировые (медно-порфировые) месторождения, обеспечивающие лидирующие позиции по разведанным запасам и объемам ежегодной добычи в ведущих горнодобывающих странах мира. К числу таких стран относятся государства Северной и Южной Америки (Чили, Перу, Аргентина, Колумбия, США, Канада), Папуа – Новая Гвинея, Монголия, Индонезия, Узбекистан и Филиппины. Месторождения типа porphyry copper, играющие главенствующую роль в мировых запасах и добыче меди, имеют крупные и гигантские масштабы, отличаются комплексным многометаллическим составом руд, их высокой технологичностью, пригодны для высокопроизводительной разработки [1, с. 135-137; 2; 3]. Особенности вещественного состава (прожилково-вкрапленная минерализация сульфидов ценных металлов с небольшой массовой долей пирита) определяют эффективную обогатимость и относительную экологическую чистоту по сравнению со многими другими типами оруденения.

Характерными чертами данных объектов выступают, во-первых, их значительные, нередко гигантские, размеры рудных тел, во-вторых – поликомпонентный состав минерализации, обеспечивающий попутное извлечение широкого спектра цветных и благородных металлов, и, в-третьих – высокая пригодность руд к промышленной переработке с применением крупнотоннажных технологий добычи [2]. Важнейшим преимуществом порфировых руд является их вещественная специфика: сульфидная минерализация, содержащая основные ценные компоненты, представлена вкрапленными, прожилково-вкрапленными (мало- и убого сульфидными) текстурами при сравнительно невысокой доле пирита. Данная особенность минерального состава предопределяет не только высокие показатели обогащения (селективная способность к флотации ценных минералов), но и значительно более благоприятные экологические характеристики разработки в сопоставлении с прочими типами сульфидных месторождений.

Практически все гигантские и супергигантские меднопорфировые месторождения Тихоокеанского кольца (Грасберг и Голпу в Индонезии, Фрида Ривер и Ок Теди в Папуа – Новой Гвинее, Ою-Толгой в Монголии, Кальмакыр в Узбекистане, многочисленные месторождения Анд и многие другие) характеризуются существенными содержаниями золота. Меднопорфировые месторождения занимают второе (после конгломератов Витватерсранда) место по совокупным запасам и добыче золота на планете. Содержание золота в месторождениях этого типа обычно низкое (0,1-0,4 г/т, изредка до 0,9 г/т), что компенсируется крупными и гигантскими масштабами оруденения [1, с. 135-137; 2]. Мировым рекордсменом по золотодобыче является рудник на медно-порфировом месторождении Грасберг в Индонезии – 108,5 т золота в 2001 г. [2].

Меднопорфировые месторождения на протяжении последних десятилетий остаются ведущим типом рудных объектов в мире по запасам и добыче меди, молибдена, а также сопутствующих золота, серебра и рения [1, с. 140-141; 2]. Именно с этим генетическим типом связаны крупнейшие объекты мирового класса – месторождения-гиганты с ресурсами более 10 млн тонн меди и супергиганты с запасами меди свыше 25 млн тонн. Крупнейшие мировые открытия золото-медных месторождений последних 20 лет большей частью отражают успехи стратегического направления геологоразведочных работ именно на порфировый тип.

В частности, наглядным подтверждением этого тезиса служит месторождение Фило-дель-Соль на границе Аргентины и Чили. Согласно опубликованным данным, подтверждённые и оценённые ресурсы этого объекта содержат около 13 млн тонн меди, 32 млн унций золота и 659 млн унций серебра, а предварительно оценённые ресурсы достигают 25 млн тонн меди, 49 млн унций золота и 808 млн унций серебра. По оценке компаний Lundin Mining и BHP, это делает проект одним из крупнейших открытий в мировой медной отрасли за последние три десятилетия [4; 5].

Особого внимания заслуживает опыт России, где наряду с давно известными уральскими месторождениями (Томинское, Михеевское) на Востоке страны выявлены и осваиваются весьма крупные месторождения Малмыж и Песчанка, связанные с вулкано-плутоническими поясами, являющимися частью Тихоокеанского «огненного

кольца». Есть основание высоко оценивать перспективы этого региона в отношении меднопорфирового оруденения [6].

Крупнейшие открытия последних двух десятилетий в России и в мире демонстрируют, что порфировый тип оруденения остаётся наиболее перспективным направлением для наращивания минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов.

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с неизбежным истощением запасов богатых руд, что обусловливает стратегический переход к освоению крупнообъемных месторождений со средним содержанием меди ниже 0,5%. В этих условиях меднопорфировые объекты приобретают особую ценность как надёжные источники металлов, способные обеспечить долгосрочную сырьевую безопасность ведущих экономик мира. Именно порфировые месторождения, локализованные в субвулканических интрузиях на конвергентных границах плит, являются основными мировыми источниками меди.

Фундаментальные исследования последних лет существенно продвинули понимание условий формирования крупных меднопорфировых систем. Как показано в обзорной работе, опубликованной в журнале Ore Geology Reviews, рудообразующий потенциал известково-щелочных магм островных дуг и активных континентальных окраин минимум в 4–10 раз выше по сравнению с толеитовыми сериями, что определяется исходным содержанием H_2O в магматических расплавах [7]. Высокое содержание воды во флюидах играет ключевую роль в процессах конвекции в расплавах, что напрямую связано с рудообразующим потенциалом дуговых магматических систем. Эти научные результаты создают теоретическую основу для совершенствования прогнозных моделей и повышения эффективности геологоразведочных работ.

Дальнейшее развитие теоретических представлений о рудообразующих процессах и совершенствование поисковых методик открывают новые возможности для выявления месторождений мирового класса как в традиционных горнодобывающих провинциях (Анды, Тихоокеанское кольцо в целом), так и на новых перспективных территориях.

В литературе последних лет также отмечаются факты сопряжения прожилково-вкрапленного сульфидного оруденения (по составу сходного с порфировым типом) с рудными телами колчеданного типа [8], аргументирующие давние идеи школы ИГЕМ о базовых рудных формациях, согласно которым колчеданное оруденение должно рассматриваться как звено металлогенического процесса, формирующего крупнообъемные месторождения, в том числе порфирового типа. Это созвучно представлениям авторов, изложенным ниже.

Цель работы – оценить перспективы золото-медного малосульфидного оруденения прожилково-вкрапленного типа, по вещественному составу сходного с меднопорфировыми месторождениями, в метасоматических зонах, вмещающих колчеданные месторождения девонских островных дуг Башкирского Зауралья.

Материалы и методы исследования

В основе работы лежит комплексный анализ геологических, технологических и экономических данных по колчеданным месторождениям Башкирского Зауралья, а также обобщение мирового опыта разработки месторождений порфирового типа. В качестве объектов исследования выбраны Учалинское, Сибайское, Юбилейное, Подольское, Вишневское месторождения, а также рудопроявление Звездное и др. Рассмотрены известные рудные тела и вмещающие их метасоматически изменённые породы (серицит-кварцевые, серицит-хлорит-кварцевые и др.), а также отвалы вскрышных пород.

Основой фактического материала являются геологическая документация месторождений, анализы проб из керна скважин, горных выработок и отвалов. Опробование метасоматитов, как правило, проводилось точечными сколками массой 100–150 г с шагом 4–5 м по керну, что позволило получить первичные геохимические данные по содержанию Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Mo, As, Ba и других элементов. Для оценки золотоносности использовались данные эксплуатации месторождений и известные корреляционные зависимости между содержанием цветных и драгоценных металлов.

Также учтены результаты тематических исследований и специального опробования на медь и золото в бортах карьеров отработанных месторождений и отвалах вскрыши, опыт недавних геологоразведочных работ на отвале вскрыши колчеданно-полиметаллического месторождения Бакр-Тау в Баймакском районе, анализ фондовых и архивных материалов геологоразведочных и горно-эксплуатационных организаций.

Результаты исследования и их обсуждение

В Башкортостане известен ряд проявлений меди в интрузиях монцодиоритового ряда, отнесенных к порфировому типу. Наиболее интересным из них является Салаватское рудное поле (лицензия принадлежит Русской медной компании). Его прогнозные ресурсы оцениваются в 282 821 тыс. т руды, 1067,6 тыс. т меди при вполне приемлемом по современным представлениям среднем содержании 0,4%. Сложность его освоения определяется удаленностью от горнодобывающей и дорожной инфраструктуры.

В пределах вулканогенных толщ изучаемого района, помимо руд собственно колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений, находящихся в эксплуатации или уже исчерпавших свой ресурс, повсеместно диагностируются зоны метасоматической переработки вмещающих пород с образованием серицит-хлорит-кварцевого парагенезиса, а также продуктов иного минерального состава [8; 9]. Эти образования, перекрывающие и подстилающие колчеданные рудные залежи, обладают весьма значительными габаритами: протяженность метасоматических зон по простиранию нередко измеряется километрами, мощность достигает сотен метров, а на глубину, по данным геологоразведочных работ, они прослеживаются до 1 км и более. Такие пространственные показатели отвечают критериям, предъявляемым к объектам меднопорфирового типа.

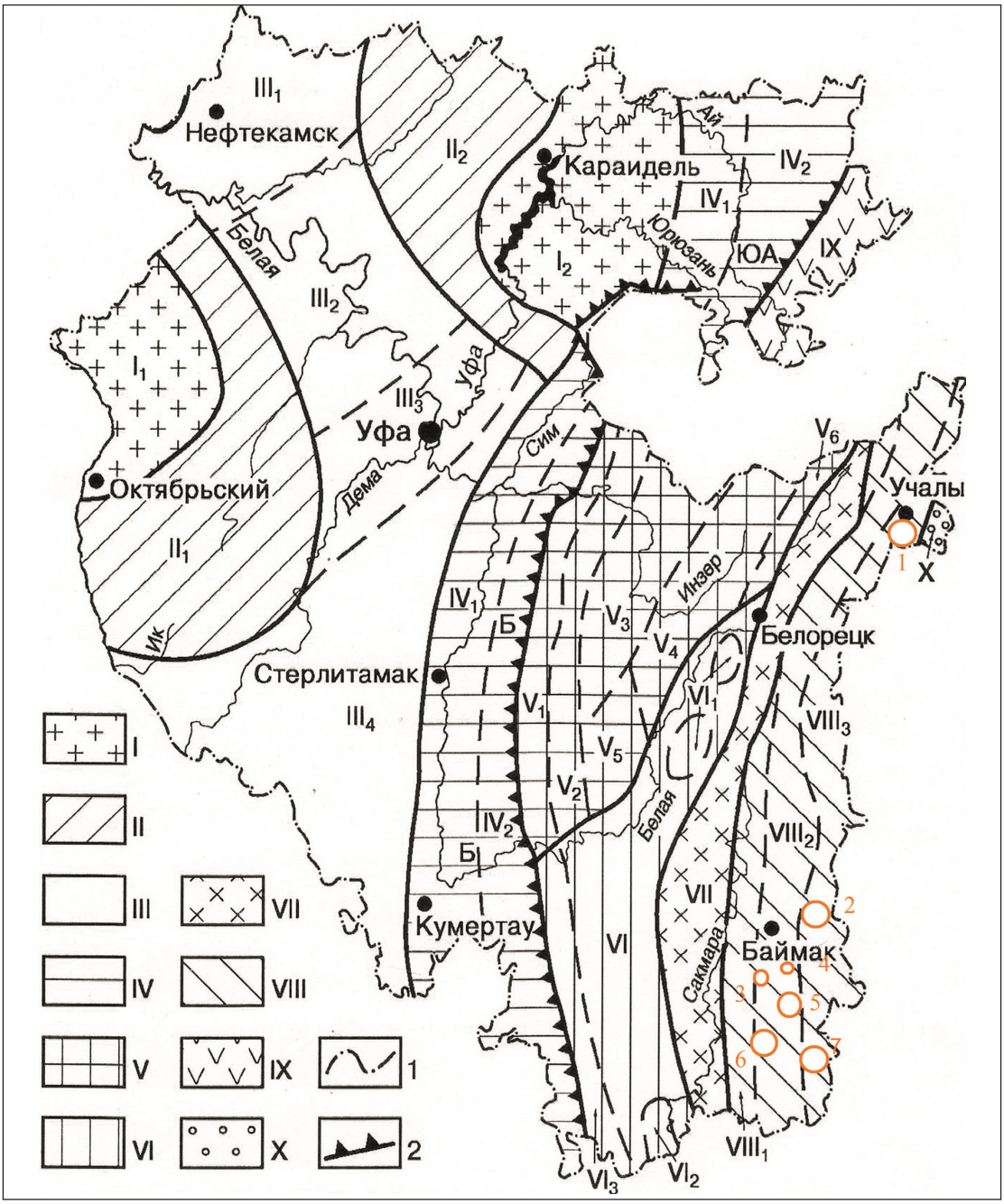
Минерализация в характеризуемых метасоматитах по составу тождественна таковой в колчеданных рудах, содержит те же сульфидные минералы – пирит, халькопирит, сфалерит, в меньшей мере борнит, ковеллин, блеклые руды, галенит и другие; а также золото-серебряную составляющую (тонкодисперсные включения золота в кристаллической решетке сульфидов, теллуриды золота и серебра, иногда частицы низкопробного самородного золота и электрума размером до 0,5 мм). Их содержание обычно более низкое по сравнению с традиционными колчеданными рудами. Типичная форма минеральных агрегатов сульфидов – вкрапленные зерна размером от сотых долей до первых миллиметров, прожилки, линзочки, часто в ассоциации с белым зернистым и серым халцедоновидным кварцем, реже – с кальцитом. В количественном отношении преобладает пирит, но нередко количество других сульфидов, прежде всего халькопирита, не уступает пиритовой составляющей. Сфалерит в таких метасоматитах часто трудно отличим от черного хлорита, оправдывая свое традиционное название «цинковая обманка». Нередко в оруденелых метасоматитах фиксируются повышенные содержания бария в виде барита. В зоне окисления сульфидизированные метасоматиты выделяются обильными агрегатами гидроокислов железа (хотя сплошные массы бурых железняков не характерны), а также яркими зелеными гнездами, прожилками, пленками и зернами малахита, синими – азурита, черными – тенорита; блекло-серыми, голубоватыми выцветами смитсонита и церуссита в ассоциации с минералами глин и кварцевой сыпучкой.

По данным многочисленных исследований, серицит-хлорит-кварцевые и иные метасоматиты, перекрывающие и подстилающие залежи традиционных для региона колчеданных, колчеданно-полиметаллических руд в эффузивных и субвулканических породах, в том числе разрабатываемые и уже отработанные, содержат те же металлы, что и типичные колчеданные руды, хотя и в меньшей концентрации [9]. Речь идет о содержаниях меди, золота, серебра, цинка, в некоторых случаях молибдена, кадмия и других ценных металлов, сопоставимых с таковыми в разрабатываемых зарубежных месторождениях меднопорфирового типа. Значительные объемы таких пород (десятки и сотни миллионов тонн) накоплены в отвалах вскрыши месторождений.

Приведем факты наличия в метасоматитах колчеданных месторождений минерализации, по вещественному составу сходной с таковой в меднопорфировых месторождениях (рисунок, таблица).

Обращает внимание сопоставимость концентраций меди в вышеприведенных метасоматитах с содержаниями этого металла в типичных меднопорфировых рудах Томинского, Михеевского, Малмыжского месторождений.

Известен феномен «ртутного дыхания» отвалов в Башкирском Зауралье – аномально высокого содержания паров ртути в воздухе, заполняющем пустоты в отвалах [11; 12, с. 143-145; 13]. В отвалах эти породы подвергаются окислению с дренажом сульфат-ионов, ртути и других тяжелых цветных металлов подотвальными водами, создавая зоны экологического бедствия [11; 13; 14; 15, с. 130-135]. Существует множество технологических решений по утилизации этих вод, представляющих собой наиболее простой и дешёвый способ извлечения металлов из отходов.



Обзорная карта Республики Башкортостан на структурно-тектонической основе [10]:

I-III – восточная окраина Русской платформы: I – крупные поднятия, своды (I1 – Южно-Татарский, I2 – Башкирский); II – краевые зоны, склоны сводов (II1 – Южно-Татарского, II2 – Башкирского); Ш – погруженные зоны, впадины (III1 – Верхнекамская, III2 – Бирская седловина, III3 – Благовещенская, Ш4 – Юго-восточный склон платформы), IV – Предуральский краевой прогиб (IV1 – внешняя зона, IV2 – внутренняя зона): ЮА – Юрюзано-Айская депрессия, Б – Бельская депрессия; V-X – складчатая область Южного Урала: V-Центрально-Уральское поднятие (V1 – краевая зона линейной складчатости; V2 – V6 – Башкирский мегантиклинорий: V2 – Алатауский антиклинорий, V3 – Инзерский синклинорий, V4 – Ямантауский антиклинорий, V5 – Юрматинский антиклинорий, V6 –Белорецко-Зилаирский синклинорий), VI – Зилаирский синклинорий (VI1 – Кракинская мульда, VI2 – Сакмарское поднятие, VI3 – Сакмарская зона складчатости), VII – зона хребта Урал-тау); VIII – Магнитогорский вулканогенный прогиб (VIII1 – Присакмарско-Вознесенский синклинорий, VIII2 – Ирендыкский антиклинорий, VIII3 – Кизильский прогиб – Центрально-Магнитогорская стуктурно-фациальная зона), IX – Уфимский амфитеатр, X – Восточно-Уральское поднятие Красными кружками обозначены месторождения сульфидных руд (1 – Учалинское, 2 – Сибайское, 3 – Уваряжское, 4 – Звездное, 5 – Вишневское, 6 – Юбилейное, 7 – Подольское)

Колчеданные месторождения Башкирского Зауралья и их метасоматические зоны

Месторождение	Запасы/добыча руды	Характеристика метасоматитов и зон	Содержание металлов в метасоматитах	Особенности и перспективы
Учалинское	Добыто ~120 млн т медно-цинковых колчеданных руд.	Мощные (до 100 м) зоны окварцованных и сульфидизированных риодацитов в лежачем боку рудного тела. Протяженность >2 км	Cu ~0,3-0,5%, Zn ~0,5%, золото 0,35-0,7 г/т	До 100 млн т минерализованных метасоматитов складировано в отвале вскрыши, имеется опыт переработки бедных руд из отвала
Сибайское	Добыто >115 млн т колчеданных руд. В отвалах складировано до160 млн т бедных (вкрапленных) руд	Протяженные зоны серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов по кислым эффузивам и субвулканитам, перекрывающим колчеданные залежи	Оценка руд в отвале. Оптимистичная: Cu −0,7%, Zn −0,4%, золото 0,5 г/т; осторожная: Cu −0,2%, золото 0,2 г/т	Противоречивость оценок отвалов требует разведки. При подтверждении оптимистичных цифр отвалы представляют собой готовое крупное месторождение
Юбилейное	Разведанные запасы медно-колчеданных руд: 116 млн т	Серицит-кварцевые, хлорит-кварцевые метасоматиты мощностью до 100 м. Протяженность до первых километров	В околорудных метасоматитах фоновые значения Cu, Zn ~0,2–0,5%, содержание золота до 3-5 г/т	Есть опыты по обогащению метасоматитов с извлечением золота (65%) кучным цианированием, после дробления до минус 10 мм
Подольское	Запасы медно-колчеданных руд: 80,8 млн т руды	Метасоматические зоны: 1) надрудная (10–40 м) клиноцоизит-цеолитовая; 2) подрудная каолинит-серицит-кварцевая (50 −70 м); 3) подрудная хлорит-кварцевая (мощность > 800 м, глубина до 1,5 км	Надрудная зона: Cu − 0,2-0,4%, Zn − 0,1-0,4%. Подрудные зоны: Cu, Zn − 0,2-0,4%, Mo до 0,09%	Ореолы металлов (Cu, Zn, Ag, Pb, Ba, Mo) многократно превышают объем разведанных рудных тел. Рекомендована оценка зон по кондициям месторождений порфирового типа
Вишневское	Запасы медно-колчеданных руд 21 млн т	Оруденение приурочено к мощной зоне объемного брекчирования и метасоматоза субинтрузии порфировых риодацитов	В рудных телах Cu ~1%, Au ~1 г/т. Метасоматиты почти не опробованы, в отдельных керновых пробах значимые содержания Cu, Au	Рекомендуется переоценка по кондициям месторождений порфирового типа
Звездное рудопроявление	Запасы кат. C_2 (забалансовые) 914,98 тыс. т руды, глубина залегания 200-400 м	Хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты в экзоконтакте экструзии дацитов	В рудах Cu 2,17% (среднее), в околорудных метасоматитах Cu, Zn ~0,3–0,5%	На золото метасоматиты, выходящие на поверхность, не опробованы
Уваряж и другие мелкие рудные объекты (Баймакский район)	Рудные линзы на глубинах 100-400 м с высокими содержаниями Cu, Zn, Au, Ag	Метасоматические зоны протяженностью до первых километров, мощностью до 200 м по кислым эффузивам и субвулканитам в зонах дробления	В метасоматитах фоновые значения: Cu, Zn ~0,3-0,4%. На золото почти не опробованы	Необходимо систематическое опробование метасоматических зон

Примечание: таблица составлена авторами на основе источников [11; 12, с. 143-176].

Выводы

Крупнообъемные метасоматические образования, локализующие отработанные колчеданные залежи в Башкирском Зауралье, обладают содержаниями Cu, Au, Ag, Zn (а также Mo) на уровне, сопоставимом с разрабатываемыми медно-порфировыми объектами. Накопленные в отвалах вскрыши сотни миллионов тонн сульфидизированных пород представляют собой техногенную нагрузку, требующую утилизации.

Наибольший практический интерес для вовлечения в оборот представляют отвалы Сибайского и Учалинского месторождений, а также аналогичные техногенные массивы в Свердловской, Челябинской и Оренбургской областях.

Переоценка околорудных метасоматитов (Юбилейное, Подольское и др.) по кондициям порфировых руд позволит прирастить сырьевую базу и оптимизировать проектные решения по горно-обогатительному переделу. Это обеспечит снижение удельных затрат за счет эффекта масштаба.

Для оконтуривания кондиционных зон в отвалах и бортах карьеров целесообразно применение экспресс-методов (в частности, рентгено-радиометрической сепарации). Учитывая корреляцию благородных и цветных металлов, можно прогнозировать повышенную золотоносность медно-цинковых контуров. Опыт переработки бедных малосульфидных руд Учалинского месторождения подтверждает эффективность и экологическую безопасность данного подхода к первичному обогащению техногенного сырья.

Длительное нахождение минерализованных метасоматитов в отвалах вскрыши месторождений с интенсивным окислением сульфидов превратило их в источник сернокислотного опустынивания прилегающих территорий. Для оценки отвалов в качестве техногенных месторождений необходим поиск эффективных гидрометаллургических технологий. Вовлечение минерализованных отвалов вскрыши колчеданных месторождений в разработку не только решит задачи воспроизводства минерально-сырьевой базы в старых горнодобывающих районах, но и существенно оздоровит экологическую обстановку.

Список литературы

1. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения / Под ред. А. И. Кривцова. Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов». М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с. ISBN: 5-85657-098-7.

2. Некрасов Е. М. Крупные эндогенные месторождения золота поддерживают высокий уровень добычи золота в мире // Геология рудных месторождений. 2005. Т 47. № 3. С. 203-210. EDN: KPNZVP.

3. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: Database and grade and tonnage models, 2008 (Version 1.0) // U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1155. 2008. 45 p. DOI: 10.3133/ofr20081155.

4. Chen H., Wu C. Metallogenesis and major challenges of porphyry copper systems above subduction zones // Science China Earth Sciences. 2020. Vol. 63. № 7. P. 899–918. DOI: 10.1007/s11430-019-9595-8.

5. Hedenquist J. W., Watanabe Y., Arribas A. Hypogene alunite from the El Salvador district, Chile, indicates potential for a blind porphyry copper center // Economic Geology. 2020. Vol. 115. № 2. P. 231–239. DOI: 10.5382/econgeo.4712.

6. Петров О. В., Киселёв Е. А., Шпикерман В. И., Змиевский Ю. П. Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулкано-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3. Региональная геология и металлогения. 2020. № 80. С. 50–74. EDN: PFTCRN

7. Zhang Y., et al. The importance of H_2O in arc magmas for the formation of porphyry Cu deposits // Ore Geology Reviews. 2020. Vol. 126. Article 103744. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103744.

8. Де Ла Нуэс Колон Д., Игнатов П. А. Вероятные золоторудные зоны колчеданного месторождения Сан-Фернандо (Куба) // Разведка и охрана недр. 2020. № 10. С. 8–13. EDN: EZKEEI.

9. Kudrin M. V., Fridovsky V. Y., Polufuntikova L. I., Kryuchkova L. Y. Disseminated Gold–Sulfide Mineralization in Metasomatites of the Khangalas Deposit, Yana–Kolyma Metallogenic Belt (Northeast Russia): Analysis of the Texture, Geochemistry, and S Isotopic Composition of Pyrite and Arsenopyrite // Minerals. 2021. Vol. 11. № 4. P. 403. DOI: 10.3390/min11040403.

10. Объяснительная записка к тектонической карте Волго-Уральской нефтегазоносной провинции масштаба 1:1 000 000: приложение к отчёту «Разработка тектонической карты Волго-Уральской нефтегазоносной провинции масштаба 1:1 000 000» / ФГУП «ИГиРГИ»; исполн.: Е. Б. Грунис, В. А. Трофимов, Ю. А. Романов и др.; рук. Е. Б. Грунис. Москва, 2008. Инв. № 1192.

11. Никонов В. Н. Перспективы Санкым-Балтатауского рудного поля // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Уфа. 2016. С. 145-148. EDN: WCBJJL.

12. Никонов В. Н., Хасанова Г. Ф. Поиски месторождений полезных ископаемых: учебное пособие. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. 172 с. ISBN: 978-5-7477-6028-8.

13. Никонов В. Н., Кутлиахметов А. Н. Природные и антропогенные геохимические аномалии тяжелых металлов как объект анализа природно-техногенных систем // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017 № 4(1). С. 68-70. EDN: ZVGFXJ.

14. Никонов В. Н. Перспективы золото-медного оруденения прожилково-вкрапленного типа в гидротермально измененных эффузивах и субвулканитах Башкирского Зауралья // Уральский экологический вестник. Уфа, 2018. С. 37-42. EDN: YOQUSO.

15. Никонов В. Н. Белан Л. Н., Хайруллина Л. А. Геология, геохимия и геоэкология Башкирского Зауралья: монография. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2022. 158 с. ISBN: 978-5-7477-5652-6.

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.

УДК 91:574.91:595.142.39
DOI 10.17513/use.38556

CC BY 4.0

ПОТЕНЦИАЛ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНОГО ВИДА *APORRECTODEA CALIGINOSA* НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Романчук Р. Р. ORCID ID 0009-0004-8581-5993,
Голованова Е. В. ORCID ID 0000-0003-0871-9274

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный педагогический университет», Омск, Российская Федерация, e-mail: r.romanchuk@omgpu.ru

Дождевой червь *Aporrectodea caliginosa* широко распространен в Западной Сибири, уже зафиксирован на территории Рудного Алтая (Казахстан), но до сих пор не найден в Республике Алтай. Цель работы – спрогнозировать пригодность местообитаний на территории Алтайского края и Республики Алтай для пашенного червя с использованием алгоритма максимальной энтропии (MaxEnt). Материалом послужили координаты находок вида из системы GBIF и собственные находки коллектива лаборатории. В качестве предикторов использовали факторы среды из ресурсов WorldClim, SoilGrids и EarthEnv LandCover. Моделирование проводили на растрах с разрешением 30 с. Подготовку и обработку данных выполняли в среде R-studio. Отобраны факторы: культивируемая и управляемая растительность (LC7), средняя температура самого теплого квартала (BIO10) и общий азот почвы (N). Пермутационный тест на основе модели показал расхождение вклада переменных и их важности. Средняя пригодность в Алтайском крае значимо превышает таковую в Республике Алтай. Модель только на факторе Human Footprint Index схожа с картой крупных дорог. Российский Алтай потенциально пригоден для заселения пашенным червем.

Ключевые слова: *Lumbricidae*, MaxEnt, пригодность местообитаний, инвазии, ГИС-моделирование, дождевые черви

Благодарности: *Авторы благодарят сотрудников лаборатории за помощь в сборе материала.*

POTENTIAL DISTRIBUTION OF THE INVASIVE SPECIES *APORRECTODEA CALIGINOSA* IN THE ALTAI KRAI AND THE ALTAI REPUBLIC

Romanchuk R. R. ORCID ID 0009-0004-8581-5993,
Golovanova E. V. ORCID ID 0000-0003-0871-9274

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Pedagogical University", Omsk, Russian Federation, e-mail: r.romanchuk@omgpu.ru

The earthworm *Aporrectodea caliginosa* is widespread in Western Siberia and has already been introduced into the Rudny Altai (Kazakhstan), but has not yet been found in the Altai Republic. The aim of this work is to predict the habitat suitability of the field earthworm in the Altai Krai and the Altai Republic using the maximum entropy algorithm (MaxEnt). The material comprised occurrence coordinates of the species from the GBIF system and the authors' own records. Environmental factors from WorldClim, SoilGrids and EarthEnv LandCover were used as predictors. Modelling was performed on 30-arc-second rasters. Data preparation and processing were carried out in the R-studio environment. The following factors were selected: cultivated and managed vegetation (LC7), mean temperature of the warmest quarter (BIO10) and total soil nitrogen (N). The permutation test based on the model revealed a discrepancy between variable contribution and importance. The mean suitability in the Altai Krai significantly exceeds that in the Altai Republic. A model based solely on the Human Footprint Index mirrors the map of major roads. The Russian Altai is potentially suitable for colonisation by the field earthworm.

Keywords: *Lumbricidae*, MaxEnt, habitat suitability, invasion, GIS modelling, earthworms

Acknowledgements: *The authors thank the staff of the laboratory for their assistance in collecting the material.*

Введение

Дождевые черви – ключевой компонент почвенных экосистем, участвующий в разложении органического вещества, формировании почвенной структуры и круговороте биогенных элементов [1, с. 161–174; 2]. В последние десятилетия все большее внимание уделяется изучению расширения ареалов почвенных беспозвоночных, в том числе в связи с климатическими изменениями и антропогенной трансформацией ландшафтов [3; 4].

Aporrectodea caliginosa (Savigny, 1826) – один из наиболее массовых и экологически пластичных видов дождевых червей Палеарктики, широко распространенный в Западной Сибири [5, с. 63, 92], где представлен двумя генетическими линиями [6]. Коллективом лаборатории систематики и экологии беспозвоночных (ОмГПУ, Россия) проведены эксперименты по воздействию вида на свойства почвы. Так, К. А. Бабий с соавт. обнаружили изменение ионного состава почв: перенос калия из слоя 0–5 см в слои 5–15 см, снижение содержания кальция в слое 5–10 см и увеличение натрия в слое 15–20 см [7]. Авторы обнаружили, что вид увеличивает долю крупных фракций в почве, формируя структуру за счет чужих копролитов [8]. Д. П. Унру с соавт. указывают на снижение содержания органического вещества [9], В. Руди в своей работе отмечает, что вид не вносит особенных пиков в ИК-спектр гумусовых кислот почв, однако снижает их стабильность в верхних слоях (0–5 см) в моноварианте и повышает с углублением по горизонтам [10; 11]. В методической работе авторы обнаружили, что вид снижает pH в нижних горизонтах и повышает в горизонте A1 [12]. В то же время вид хорошо выживает в лабораторных экспериментах [13] и способен вытеснять аборигенные виды [14], при этом имеет широкий диапазон распространения на территории России [15].

Для исследуемого региона на основе климатических факторов прогнозируется возрастание пригодности местообитаний для вида в будущем [4]. Пашенный червь уже зафиксирован на территории Рудного Алтая (Казахстан) [16], однако ранее не был обнаружен в центре биоразнообразия рода *Eisenia* Malm, 1877 – в Алтайских горах России (Республика Алтай) [6; 17]. Остается открытым вопрос: связано ли отсутствие находок с недостаточной изученностью территории или с принципиальной непригодностью местообитаний?

В современных исследованиях для описания потенциала распространения видов в естественной среде используют прогнозирование пригодности местообитаний, которое реализуется через семейство моделей распространения видов (SDM) [18]. Такой подход можно использовать для описания вероятного ареала распространения вида на основе биоклиматических факторов [19]. Однако для почвенных организмов важен не только климат, но и свойства почв (физические и химические), фитоценотические особенности местообитаний и нередко активность человека [20–22].

Подход заключается в построении модели, основанной на известных значениях факторов среды в местах точно известного обитания и отсутствия таксона, и экстраполяции ее на участки, где точных данных об обитании нет [23]. Таким образом исследователь получает набор координат, каждой из которых соответствует значение вероятности обнаружения (от 0 до 1), их проецируют на карту местности и получают потенциальный ареал распространения вида. Наиболее подходящим для решения задачи оказался алгоритм максимальной энтропии (MaxEnt) – он устойчив к малым выборкам [24; 25] и требует только координаты присутствия [26].

Цель исследования – спрогнозировать пригодность местообитаний на территории Алтайского края и Республики Алтай для дождевого червя *A. caliginosa* на основе данных о находках вида и факторах окружающей природной среды с использованием алгоритма максимальной энтропии (MaxEnt).

Задачи исследования:

1) выявить факторы среды, лучше всего отражающие пригодность местообитаний для дождевого червя *A. caliginosa*;

2) оценить возможность распространения вида на территории Российского Алтая;

3) обозначить вклад антропохории в продвижении вида на исследуемой территории.

Основная гипотеза заключается в том, что инвазивный для Западной Сибири вид в современных условиях способен широко распространиться на территории Алтайского края, хорошо освоенного человеком, и начать захватывать Республику Алтай в местах активной деятельности антропогена.

Материалы и методы исследования

Координаты точек находок вида на территории Западной Сибири получили из системы GBIF [27] и объединили их с координатами собственных находок научного

коллектива лаборатории. Все точки прошли фильтрацию: удалены дубликаты и записи, расположенные в радиусе 1 км друг от друга – получили 58 оригинальных точек для построения модели. В качестве предикторов использовали факторы среды, отобранные в ходе экспертной оценки и корреляционного анализа из ресурсов WorldClim 2.1, SoilGrids и EarthEnv LandCover. В случаях, когда одинаковые по важности факторы коррелировали, оставляли тот, распределение которого в точках находок вида было более непрерывным и ближе к нормальному.

Для построения модели использовали растры с разрешением 30 с. Все этапы подготовки данных, моделирования и статистической обработки выполняли в среде R (версия 4.5.1). Координаты находок вида получили из GBIF с помощью пакета rgbif и объединили с собственными данными лаборатории, считанными через readxl. Пространственную фильтрацию точек (удаление записей в радиусе 1 км) проводили с использованием пакета spThin. Манипуляции с табличными данными выполняли через dplyr. Растровые предикторы (WorldClim, SoilGrids, EarthEnv) загружали и обрабатывали с помощью пакетов raster, terra и geodata. Векторные данные (границы регионов, дороги OSM) обрабатывали через sf и rnaturalearth. Построение моделей MaxEnt, кросс-валидацию (5 репликаций) и оценку качества (AUC) выполняли с помощью пакета dismo.

Качество модели оценивали по среднему значению AUC в пяти репликациях. AUC является порогово-независимой мерой производительности модели. Модель MaxEnt считается приемлемой при AUC > 0,7, а значение AUC ≥ 0,90 интерпретируется как отличная производительность модели [28]. Вклад и важность переменных оценивали с помощью пермутационного теста. Пермутационный тест позволяет выявить расхождение между вкладом переменной в построение модели и ее значимостью для предсказательной способности. Процентный вклад отражает, как часто переменная используется для разделения данных в процессе обучения, а пермутационная важность показывает, насколько сильно падает качество модели при случайном перемешивании значений этой переменной.

Для сравнения средних значений пригодности местообитаний между Алтайским краем и Республикой Алтай использовали Welch's t-test. Данный тест является предпочтительным при сравнении двух групп, поскольку не предполагает равенства дисперсий и сохраняет почти такую же мощность [29]. В данном исследовании тест Фишера показал неравенство дисперсий выборок пригодности местообитаний ($F = 0,424$, $p < 0,01$). Для оценки практической значимости различий рассчитывали Glass's Delta. Этот показатель использует стандартное отклонение только контрольной группы и устойчив к неравенству дисперсий. Для проверки устойчивости выводов к размеру выборки дополнительно проводили t-тест на случайной подвыборке из 10 000 точек из каждого региона. Совпадение результатов полной выборки и подвыборки подтверждает надежность обнаруженных различий.

Результаты исследования и их обсуждение

Были отобраны следующие факторы среды: культивируемая и управляемая растительность (LC7), средняя температура самого теплого квартала (BIO10) и общий азот почвы (N). Выбор факторов хорошо согласуется с экологией вида: известно, что дождевые черви не переносят высокой температуры [2; 16]. *A. caliginosa* часто встречается на сельскохозяйственных угодьях [30, с. 326–334], и избыток азота, по результатам исследований, негативно воздействует на рост и развитие вида [31]. В табл. 1 представлены значения отобранных предикторов в точках находок на территории Западной Сибири.

Таблица 1

Характеристика предикторов в точках находок вида

Переменная	Среднее	Медиана	Мин.	Макс.	SD
BIO10, °C	17,0	16,9	15,3	20,2	1,0
LC7, %	43,1	44,5	0,0	100,0	34,5
N, сг/кг	303	303	230	409	44

Примечание: составлена авторами на основе данных из WorldClim 2.1, SoilGrids и EarthEnv LandCover.

Таблица 2

Вклад и важность предикторов в модель

Переменная	Процентный вклад (%)	Пермутационная важность (%)
LC7	61,7	17,4
BIO10	25,3	36,2
N	13,0	46,4

Примечание: составлена автоматически в результате работы алгоритма MaxEnt и отформатирована авторами.

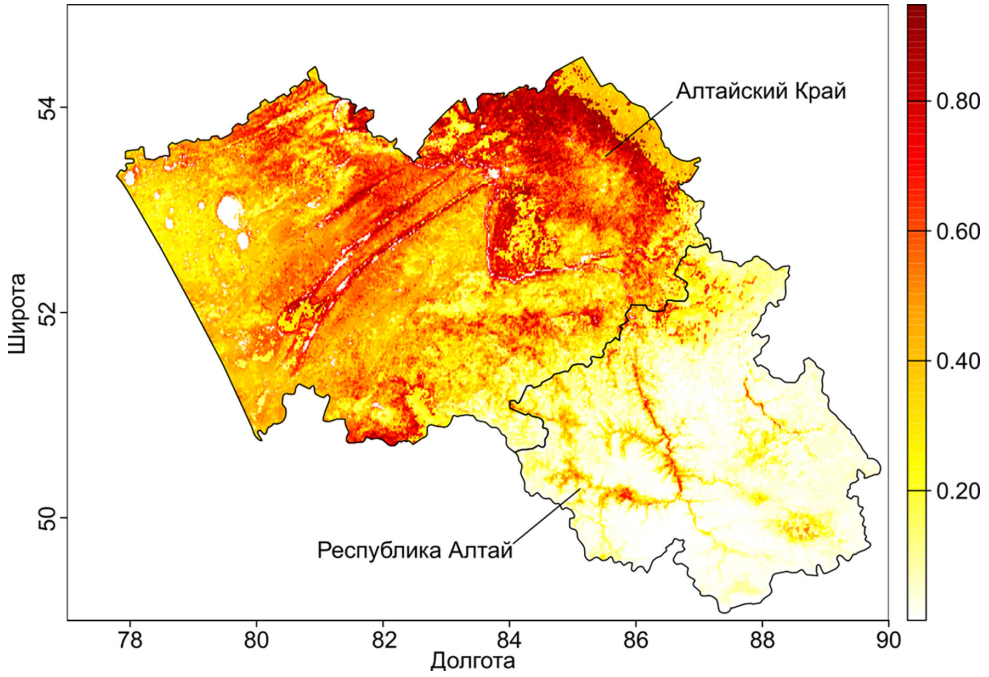


Рис. 1. Прогноз пригодности местообитаний для A. Caliginosa на территории Алтайского края и Республики Алтай
Примечание: составлен авторами на основе модели, полученной в процессе исследования; долгота и широта в градусах, цветовая шкала отражает вероятность обнаружить особей вида A. caliginosa на представленной территории

Построенная модель имеет среднее значение AUC = 0,84 ± 0,04, что говорит о достаточно высокой производительности. Пермутационный тест показал расхождение вклада переменных и их важности для модели (табл. 2). Это указывает на высокую предсказательную точность модели, но сложность интерпретации результатов.

Используя данные модели, спрогнозировали пригодность местообитаний на территории Алтая, где отсутствуют находки *A. caliginosa* (рис. 1).

Выявлены значимые различия в пригодности местообитаний между Алтайским краем и Республикой Алтай (табл. 3). Средняя пригодность в Алтайском крае (0,46 ± 0,19) в 4,9 раза превышает пригодность в Республике Алтай (0,09 ± 0,12).

Отдельно построили модель и спрогнозировали пригодность с использованием исключительно фактора «вытоптанности» (Human Footprint Index). Модель имеет очень высокую силу (AUC = 0,89). При построении моделей этот фактор всегда привносил более 80 % вклада, сильно снижая вклад других переменных, с этим связано его отделение в финальной модели. Ожидаемо [32] распространение вида отражает карту крупных дорог (рис. 2), благодаря которым пашенный червь может быть занесен на территорию Республики Алтай. Наличие наименее устойчивых к антропогенному воздействию ландшафтов в глубине региона [33], с одной стороны, дает надежду на сохранение местного видового состава, а с другой – опасение за снижение биоразнообразия, что приведет к еще большему снижению потенциала экосистемных услуг [34].

Таблица 3

Результаты статистических тестов

Тест	Критерии	p-value
Welch's t-test	t = -806,4, df = 468,41	<< 0,01
Welch's t-test (подвыборка 10 000)	t = -160,3, df = 17,17	<< 0,01
Glass's Delta	2,94	Нет

Примечание: составлена авторами на основе статистической оценки в среде R-studio. Положительное значение Glass's Delta отражает направление различия: средняя пригодность в Алтайском крае выше, чем в Республике Алтай.

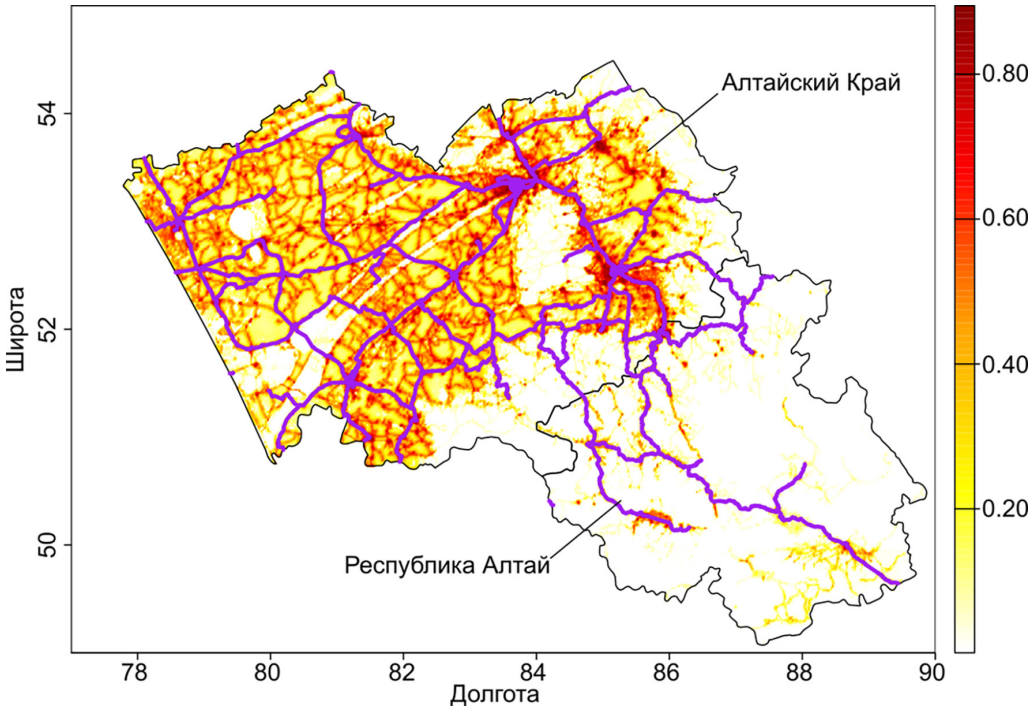


Рис. 2. Прогноз путей распространения для A. caliginosa на территории Алтайского края и Республики Алтай
Примечание: составлен авторами на основе модели, полученной в процессе исследования; долгота и широта в градусах, цветовая шкала отражает вероятность обнаружить особей вида на представленной территории. Фиолетовыми линиями обозначены крупные автотрассы и второстепенные дороги между крупными населенными пунктами. Для отображения карты дорог использовали данные OpenStreatMap [35]

Ранее авторы [36] упоминали возможность переноса дождевых червей птицами, но такой потенциальный путь инвазии не подтвержден экспериментально, а проведенное исследование [37] не выявило возможность такого способа распространения в виде коконов. При современном уровне знаний в этой области нельзя с уверенностью строить модели распространения на основе путей миграции и расселения. Для объяснения находок видов в горах [16; 38] орнитохорию на сегодняшний день мы можем использовать лишь гипотетически.

Было обнаружено, что в летний период вид обитает на небольшой глубине [39], и также известно, что пашенный червь переносит неблагоприятные условия (мороз и засуху) в глубине почвы [1, с. 105–109]. Исследование, посвященное адаптациям к высокогорью [40], указывает на необходимость стабильности других климатических условий (влажности, содержания кислорода) для акклиматизации вида к низким температурам. Авторы наблюдают, что вид переживает отрицательные температуры в скрученном состоянии (диапауза) [41],

причем при постоянном воздействии температур выживаемость низкая. В совокупности такая стратегия может препятствовать продвижению вида в слабомощных горизонтах почв алтайских гор [42, с. 508; 43] в условиях жаркого лета и холодной зимы.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что потенциальная пригодность территории для пашенного червя определяется не столько климатическими условиями как таковыми, сколько сочетанием природных и антропогенных факторов, действующих разнонаправленно в равнинной и горной частях Алтая. В Алтайском крае эти факторы складываются в благоприятный комплекс: здесь вид находит и подходящий термический режим, и трансформированные почвы, и развитую транспортную сеть, которая исторически обеспечивала его расселение. В Республике Алтай, напротив, каждый из этих компонентов либо выражен слабее, либо отсутствует, а горный рельеф и маломощные почвенные горизонты дополнительно ограничивают возможность выживания вида в неблагоприятный сезон. Исходя из знаний об экологии вида и его местообитаниях на территории Западной Сибири, можно сделать вывод о том, что Российский Алтай потенциально пригоден для заселения пашенным червем, однако естественные пути инвазии на данный момент недоступны (например, реки) – наиболее вероятно, что появление вида на исследуемой территории будет связано с интродукцией.

Модель показывает, что значительная часть региона остается малопригодной для устойчивого существования *A. caliginosa*, а наиболее вероятные пути проникновения вида приурочены к антропогенно нарушенным участкам вдоль дорог. Пространственный рисунок пригодности указывает на антропохорный характер возможной инвазии и на то, что естественное расселение вида через горные барьеры в современных условиях маловероятно. Если появление вида в горах Алтая ожидается прежде всего по транспортным коридорам, то и мониторинг должен быть сосредоточен не на сплошном обследовании труднодоступных территорий, а на придорожных биотопах, агроценозах и местах перемещения почвогрунтов. Такой подход позволяет перейти от констатации потенциальной пригодности к оценке реального риска и к своевременному обнаружению вида на ранних стадиях инвазии.

Результаты подчеркивают ограниченность чисто климатических моделей при прогнозировании расселения почвенных беспозвоночных. Климат задает внешние рамки, но конкретный рисунок распространения в значительной мере определяется антропогенной трансформацией ландшафта и особенностями биологии вида – в частности, его способностью переживать неблагоприятные периоды в глубоких почвенных горизонтах. Учет этих факторов, а не только климатических сценариев должен стать основой дальнейших прогнозов и природоохранных решений.

Список литературы

1. Чекановская О. В. Дождевые черви и почвообразование / Акад. наук СССР, Зоол. ин-т. М. – Л.: Изд-во Акад. наук СССР (Ленингр. отд-ние), 1960. 206 с.

2. Edwards C. A., Arancon N. Q. Earthworms, Soil Structure, Fertility, and Productivity // Biology and Ecology of Earthworms. New York: Springer, 2022. DOI: 10.1007/978-0-387-74943-3_10.

3. Phillips H. R. P., Hoeffner K., Muys B., Le Bayon R.-C., Cluzeau D., Butt K. R., Maréchal J., Briones M. J. I., Decaëns T., Hedde M., Gérard S., Pérès G., Petit-Dit-Grézériat L., Pelosi C. Urban earthworm communities driven more by climate and elevation than urbanisation intensity // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. Art. 210. DOI: 10.1007/s11252-025-01826-z.

4. Romanchuk R. R., Golovanova E. V. Prediction of Habitat Suitability for *Aporrectodea caliginosa* in Western Siberia Based on Bioclimatic Scenarios // Eurasian Soil Science. 2026. Vol. 59. Art. 112. DOI: 10.1134/S1064229325604937.

5. Всеволодова-Перель Т. С. Дождевые черви фауны России: Кадастр и определитель / Отв. ред. Н. М. Чернова. М.: Наука, 1997. 102 с. ISBN 5-02-5215-9.

6. Шеховцов С. В., Голованова Е. В., Базарова Н. Э., Белова Ю. Н., Берман Д. И., Держинский Е. А., Шашков М. П., Пельтек С. Е. Генетическое разнообразие видов комплекса *Aporrectodea caliginosa* на территории России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 3. С. 374–379. DOI: 10.18699/VJ17.255.

7. Babiy K. A., Kniazev S. Y., Golovanova E. V., Solomatin D. V. Comparative Mesocosm Study on the Impact of Invasive *Aporrectodea caliginosa* and Native *Eisenia nordenskioldi pallida* on Water-Soluble Cation (K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) Content in Calcic Chernozems of Western Siberia: A Field Experiment in Mesocosms // Russian Journal of Ecology. 2025. Vol. 56. P. 470–479. DOI: 10.1134/S1067413625600818.

8. Голованова Е. В., Пугачева А. Е., Щербаков В. Е. «Компактизаторы» и «декомпактизаторы» почвенных агрегатов (влияние эндогейных видов дождевых червей на структуру черноземов гидроморфизованных) // Проблемы почвенной зоологии: материалы XX Совещания по почвенной зоологии и экологии. Всероссийская конференция с международным участием (г. Екатеринбург, 14–18 сентября 2026 г.). Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2026. С. 42–43.

9. Unru D. P., Babiy K. A., Kniazev S. Y., Golovanova E. V. Associations of Endogeic Earthworm Species and Soil Organic Matter: Results of One-Year Experiment on Gleyic Chernozem // Eurasian Soil Science. 2026. Vol. 59. Art. 113. DOI: 10.1134/S106422932560486X.

10. Руди В., Голованова Е. В. ИК-спектры собственно почвенных дождевых червей верхнего слоя лугово-черноземных почв в годовом имитационном эксперименте // Молодежь третьего тысячелетия: сборник научных статей XLIX региональной студенческой научно-практической конферен-

ции: в 3 ч. (г. Омск, 01–15 апреля 2025 г.). Омск: ОмГУ им. Ф. М. Достоевского, 2025. С. 622–626.

11. Руди В. В., Голованова Е. В. Аборигенный и инвазивные виды дождевых червей по-разному влияют на индексы лабильности органического вещества черноземов гидрометаморфизованных // Проблемы почвенной зоологии: материалы XX Совещания по почвенной зоологии и экологии. Всероссийская конференция с международным участием (г. Екатеринбург, 14–18 сентября 2026 г.). Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2026. С. 137–139.

12. Романчук Р. Р., Руденко В. Н., Голованова Е. В. Влияние диаметра мезокосма на результаты исследований с дождевыми червями на примере *Aporrectodea caliginosa* // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2025. Vol. 10. Is. 3. DOI: 10.21685/2500-0578-2025-3-4.

13. Pelosi C., Etiévant V., Bart S. Life history traits of *Aporrectodea caliginosa* in a 8-year laboratory experiment // Soil Organisms. 2025. Vol. 97. Is. 3. P. 271–279. DOI: 10.25674/460.

14. Golovanova E. V., Knyazev S. Y., Karaban K., Babiy K. A., Shekhovtsov S. V. First Short-Term Study of the Relationship between Native and Invasive Earthworms in the Zone of Soil Freezing in Western Siberia – Experiments in Mesocosms // Diversity. 2023. Vol. 15. Art. 248. DOI: 10.3390/d15020248.

15. Shekhovtsov S. V., Golovanova E. V., Peltek S. E. Different dispersal histories of lineages of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae, Annelida) in the Palearctic // Biological Invasions. 2016. Vol. 18. P. 751–761. DOI: 10.1007/s10530-015-1045-6.

16. Golovanova E. V., Romanchuk R. R., Scherbakov V. E., Knyazev S. Yu., Babiy K. A. Distribution and Abundance of European Earthworm Species in Irtysh Forests // Russian Journal of Ecology. 2024. Vol. 55. P. 548–561. DOI: 10.1134/S1067413624603063.

17. Zubko K. S., Suschyov D. V., Skalon N. V., Svirkova S. V., Haydarov G. Sh. Discovery of new habitats and ecological characteristics of endemic earthworm species (Clitellata: Lumbricidae) in the southeast of Western Siberia // Acta Biologica Sibirica. 2026. Vol. 12. P. 475–487. DOI: 10.5281/zenodo.19882242.

18. Guisan A., Thuiller W., Zimmermann N. E. Overview, Principles, Theory, and Assumptions Behind Habitat Suitability Modeling // Habitat Suitability and Distribution Models. Biodiversity and Conservation, Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: 10.1017/9781139028271.005.

19. Малков П. Ю., Каранин А. В. Биоклиматическое моделирование пространственного распределения *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera, Papilionidae) на Алтае // Евразиатский энтомологический журнал. 2020. Т. 19. № 5. С. 237–244. DOI: 10.15298/euroasentj.19.5.01.

20. Sillero N., Arenas-Castro S., Enriquez-Urzelai U., Vale C. G., Sousa-Guedes D., Martínez-Freiría F., Real R., Barbosa A. M. Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling // Ecological Modelling. 2021. Vol. 456. Art. 109671. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109671.

21. Zeiss R., Eisenhauer N., Orgiazzi A., Rillig M., Buscot F., Jones A., Lehmann A., Reitz T., Smith L., Guerra C. A. Challenges of and opportunities for protecting European soil biodiversity // Conservation Biology. 2022. Vol. 36. No. 5. Art. e13930. DOI: 10.1111/cobi.13930.

22. Köninger J., Ballabio C., Panagos P., Jones A., Schmid M. W., Orgiazzi A., Briones M. J. I. Ecosystem type drives soil eukaryotic diversity and composition in Europe // Global Change Biology. 2023. Vol. 29. Is. 19. P. 5706–5719. DOI: 10.1111/gcb.16871

23. Elith J., Phillips S. J., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E., Yates C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists // Diversity and Distributions. 2011. Vol. 17. P. 43–57. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x.

24. Maitner B. S., Richards R. L., Carlson B. S., Drake J. M., Merow C. Flexible methods for species distribution modeling with small samples // Ecography. 2026. Vol. 2026. Art. e08112. DOI: 10.1002/ecog.08112.

25. Van Proosdij A. S. J., Sosef M. S. M., Wieringa J. J., Raes N. Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models // Ecography. 2016. Vol. 39. Is. 6. P. 542–552. DOI: 10.1111/ecog.01509.

26. Kiedrzyński M., Zielińska K. M., Rewicz A., Kiedrzyńska, E. Habitat and spatial thinning improve the Maxent models performed with incomplete data // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2017. Vol. 122. Is. 6. P. 1359–1370. DOI: 10.1002/2016JG003629.

27. GBIF.org. GBIF Occurrence Download. 2025. DOI: 10.15468/dl.uqg8nd.

28. Phillips S. J., Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. 2008. Vol. 31. P. 161–175. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.

29. Delacre M., Lakens D., Leys C. Why Psychologists Should by Default Use Welch's t-test Instead of Student's t-test // International Review of Social Psychology. 2017. Vol. 30. Is. 1. P. 92–101. DOI: 10.5334/irsp.82.

30. Bouché M. B. Lombriciens de France: Écologie et systématique. Paris: INRA Editions, 1972. 671 p.

31. Halaimia S., Tine S., Tine-Djebbar F., Soltani N. Long-Term Effects of an Inorganic Fertilizer on the Grey Worm, *Aporrectodea caliginosa* // Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024. Vol. 51. Suppl. 1. P. S148–S159. DOI: 10.1134/S1062359024609340.

32. Edwards C. A., Arancon N. Q. Earthworm Diversity, Dispersal and Geographical Distribution // Biology and Ecology of Earthworms. New York: Springer, 2022. DOI: 10.1007/978-0-387-74943-3_3.

33. Sukhova M. G., Zhuravleva O. V., Karanin A. V., Shamaeva E. F. Assessment of the resistance of landscapes of the Altai Republic to anthropogenic impacts // Geoinformatika. 2024. Vol. 1. P. 78–83. DOI: 10.47148/1609-364X-2024-1-78-83. In Russ.

34. Журавлева О. В., Каранин А. В., Сухова М. Г. Потенциал ландшафтов Республики Алтай для предоставления экосистемных услуг в условиях изменений окружающей среды // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 94–102. DOI: 10.18522/1026-2237-2026-1-94-102.

35. HOT Export Tool: Humanitarian OpenStreetMap Team. [Электронный ресурс]. URL: https://export.hotosm.org/v3 (дата обращения: 22.09.2026).

36. Ahmed S., Julka J. M., Banerjee D., Marimuthu N. Spatial distribution of earthworm community structure along the wildlife sanctuaries of West Bengal, with a glimpse of parthenogenesis in *Metaphire houlleti* (Perrier, 1872) // Frontiers in Ecology and Evolution. 2024. Vol. 12. Art. 1372706. DOI: 10.3389/fevo.2024.1372706.

37. Cameron E. K., Bayne E. M. Invasion by a non-native ecosystem engineer alters distribution of a native predator // Diversity and Distributions. 2012. Vol. 18. P. 1190–1198. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2012.00912.x.

38. Шашков М. П., Иванова Н. В., Петрунин-Сухарев А. А. Население дождевых червей Каркаралинских гор и их окрестностей // Проблемы почвенной зоологии: материалы XX Совещания по почвенной зоологии и экологии. Всероссийская конференция с международным участием (г. Екатеринбург, 14–18 сентября 2026 г.). Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2026. С. 169–170.

39. Pitkänen J., Nuutinen V. Distribution and abundance of burrows formed by *Lumbricus terrestris* L. and *Aporrectodea caliginosa* Sav. in the soil profile // Soil Biology and Biochemistry. 1997. Vol. 29. Is. 3–4. P. 463–467. DOI: 10.1016/S0038-0717(96)00040-5.

40. Perry I., Hernadi S. B., Cunha L., Short S., Marchbank A., Spurgeon D. J., Orozco-terWengel P., Kille P. Molecular insights into high-altitude adaption and acclimatisation of *Aporrectodea caliginosa* // Life Science Alliance. 2022. Vol. 5. Is. 11. Art. e202201513. DOI: 10.26508/lsa.202201513.

41. Щербаков В. Е., Голованова Е. В. Толерантность к низким температурам инвазивных и аборигенных собственно почвенных видов дождевых червей юга Западной Сибири в лабораторных и полевых экспериментах // Молодежь третьего тысячелетия: сборник научных статей XLVIII региональной студенческой научно-практической конференции: в 2 ч. (г. Омск, 01–15 апреля 2024 г.). Омск: Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2024. С. 835–840.

42. Национальный атлас почв Российской Федерации / Н. А. Аветов, А. Л. Александровский, И. О. Алябина и др. М.: Астрель, 2011. 632 с. ISBN 978-5-271-37461-6.

43. Gopp N. V. Soils of the southwestern part of the Dzhulukul Depression in the Altai Republic. Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. P. 567–577. DOI: 10.1134/S1064229315060046.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-14-20073) и Министерства науки Омской области (соглашение № 10 от 22 апреля 2026 г.). Финансирующие организации не участвовали в дизайне исследования, сборе и анализе данных, подготовке рукописи и решении о публикации.

Finansing: The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 25-14-20073) and the Ministry of Science of the Omsk Region (agreement No. 10 dated 22.04.2026). The funders had no role in the study design, data collection and analysis, manuscript preparation, or the decision to publish.

СТАТЬИ

УДК 622:519.876.5
DOI 10.17513/use.38557

CC BY 4.0

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА КАМЕРНЫЙ ЗАБОЙ И СИСТЕМУ ЦЕЛИКОВ

Бейсембаев К. М. ORCID ID 0000-0002-0954-2936,
Жетесова Г. С. ORCID ID 0000-0001-6504-3405,
Оразбеков Д. Е. ORCID ID 0009-0000-1699-0676,
Акижанова Ж. Т. ORCID ID 0000-0001-7873-8847

Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Республика Казахстан, e-mail: kakim1949@mail.ru

Выемка угля и калийных солей в сложных условиях основана на камерных системах, при потерях до 40 %. Целью исследования является разработка схемы выемки камерами при уменьшении потерь и геомеханическом сопровождении работ для сложной системы целиков и крепи. Системный анализ позволил устранить недостатки и уточнить параметры технологии при внедрении разработки в горное производство. Для прогнозирования ее основных параметров использован метод конечных элементов с построением регулируемой сетки в выделенных зонах с равномерной точностью расчета, а вычисления для целиков и забоев проведены на компьютере, оптимизированном под задачу. Установлено, что при смещении кровли вдоль длины первой погашенной камеры, породы зависают как над лавой, а стенка работающей камеры аналогична ее забою, с отличием в том, что она отделена от выработанного пространства одним-двумя рядами целиков; над пластом, в его глубине, вдоль длины камеры расположена зона растягивающих напряжений, вызывающих рост вертикальных или наклонных трещин; в зоне смещений и обрушений пород область вертикальных растягивающих напряжений провоцирует отслоения и формирует ступенчатый профиль кровли, развивающийся в высоту, поддерживаемый обрушенными породами. Прогнозирование смещений и обрушений пород повысит безопасность работ и позволит вовлечь в добычу сложно залегающие участки угля и калийных солей.

Ключевые слова: камера, напряжения, целики, маневрирование, ступенчатый профиль кровли, смыкание, трещины

STUDY OF LOADS ON ROOM FACES AND PILLAR SYSTEMS

Beysembaev K. M. ORCID ID 0000-0002-0954-2936,
Zhetesova G. S. ORCID ID 0000-0001-6504-3405,
Orazbekov D. E. ORCID ID 0009-0000-1699-0676,
Akizhanova Zh. T. ORCID ID 0000-0001-7873-8847

Non-profit Joint Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: kakim1949@mail.ru

The extraction of coal and potash salts under complex conditions relies on room-and-pillar systems, which entail losses of up to 40 %. This study aims to develop a room-based extraction scheme that minimizes losses while incorporating geomechanical monitoring for a complex pillar and support system. A systems analysis enabled the elimination of shortcomings and the refinement of operational parameters for implementation in mining practice. The finite element method—utilizing an adaptive mesh in specific zones to ensure uniform calculation accuracy—was employed to predict key parameters, while computations for pillars and working faces were performed on a system optimized for this specific task. Findings indicate that as the roof shifts along the length of the first abandoned room, the rock strata overhang in a manner similar to a longwall face; the wall of an active room behaves like a working face, differing only in that it is separated from the goaf by one or two rows of pillars. Furthermore, a zone of tensile stress exists within the seam—extending along the room's length—which drives the propagation of vertical or inclined fractures; in the zone of rock displacement and caving, vertical tensile stresses trigger strata separation and create a stepped roof profile that propagates upward while being supported by the caved rock mass. Predicting rock displacement and caving will enhance operational safety and enable the extraction of coal and potash deposits located in complex geological settings.

Keywords: room, stress, pillars, maneuvering, stepped roof profile, closure, cracks

Введение

В США камерная выемка угля составляет 60 % от общей добычи с показателями добычи выше, чем для лав; ее применение на калийных солях имеет подавляющее распространение в мире. В КарТУ для выемки сложно залегающих участков и снижения потерь полезных ископаемых разработан камерный агрегат, состоящий из 4–10 секций роботизированной крепи [1, 2] с возможностями поворотов при обходе нарушенных зон и переходе на новые участки добычи, с извлечением целиков при обратном ходе работ.

Цель исследования – разработка схемы выемки камерами при уменьшении потерь угля и геомеханическом сопровождении работ для сложной системы целиков и крепи.

Материалы и методы исследования

Ранее эти схемы и процессы отрабатывались в КарТУ [3–5] и Институте проблем комплексного освоения недр РК и прошли промышленные испытания, выявившие их недостатки. Их ликвидация и уточнение параметров технологии производится системным анализом и новыми разработками с ориентацией на внедрение в горное производство. Для прогнозирования основных параметров разработки использован метод конечных элементов (МКЭ) с построением сетки, на основе меню meshing и специальных приемов [6, 7]. Эти сложные расчеты для комплекса целиков и секций крепи выполнены при применении компьютера типа x641AW86EA#ACB, с процессором AMI F.12, 14.06.2017, параметры которого соответствуют задаче по объему оперативной и дисковой памяти, режиму охлаждения процессора и скорости накопителя.

Результаты исследования и их обсуждение

Технология представлена на рис. 1 и 2.

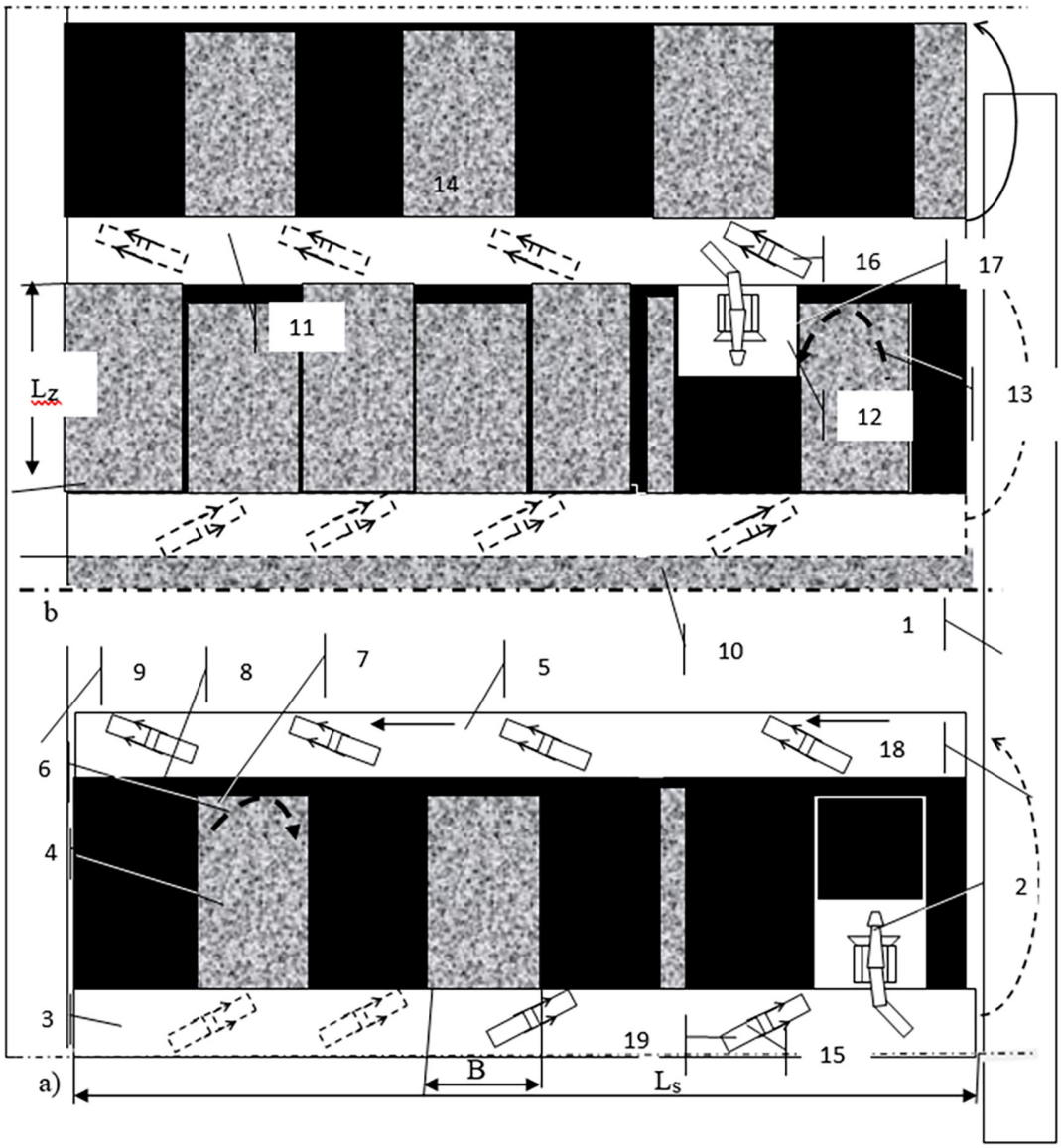


Рис. 1. Схема новой технологии с маневрированием камерного агрегата
a) проходка первой камеры и заходок с оставлением широких целиков;
b) разворот от первой камеры и проходка второй камеры с выемкой заходок «выше» в прямом и вторичной выемкой заходок «ниже» в обратном ходе с полным обрушением кровли над первой камерой
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

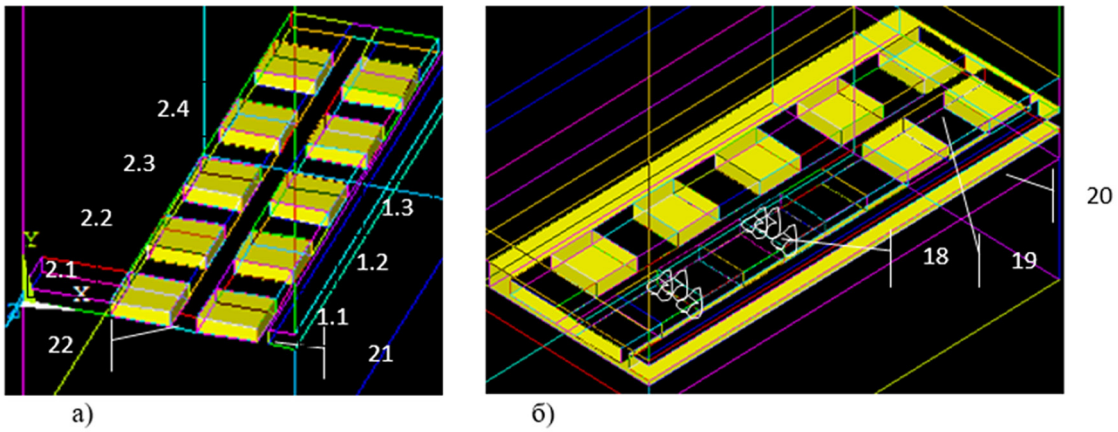


Рис. 2. Этап подготовки расчета при выемке блока 19 с выработанным пространством 18 (зоны типа 18 – слежавшиеся породы) и справа, начиная от зоны 20
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

С основного штрека 1, стреловидным комбайном 2, или агрегатом, с секциями роботизированной крепи создается третья камера. Далее вынимается заходка 4. Ее длина выбирается из условия минимального крепления, а при применении агрегата – длиной поворотного конвейера для перегрузки полезного ископаемого на конвейер камеры. Организация работ представлена в евразийских патентах [8, 9]. После разворота по траектории 6 и выхода из заходки 4 в камеру 3, комбайн, передвинувшись вдоль нее на ширину целика (суммарная ширина заходки) в направлении к штреку 1, проводит очередную заходку. Их ширина близка к предельному пролету кровли, что вызывает ее обрушение. Традиционная схема проветривания может быть улучшена дегазацией пласта скважинами из штреков 1, 9. После возвращения работ на штрек 1 производится разворот оборудования (траектория 18) и выемка следующей камеры 5. Крепи 15 выводятся из камеры 3 (нет необходимости ее поддерживать) и заводятся в камеру 5. Длина блока 3 Ls такова, что к моменту завершения проходки камеры 5 обрушенные породы в заходках типа 7 слеживаются, что позволяет повторную отработку целиков 8, которые теперь вынимаются в направлении к штреку 1 из штрека 5. Поэтому потери не превышают потери для лав. Дополнительно представлена и схема на рис. 1, b, где камера 5 обозначена как 11. Здесь при движении от штрека 1 выполняется выемка заходок 13, так что к моменту завершения проходки камеры 11 (5) имеем два ряда целиков 21, 22, после чего обратным ходом вынимаются целики 8, окруженные слежавшимися породами 7 (рис. 1, b). На рис. 2 штрек 1 уже обрушен, кровля в полостях от выемки полностью слежалась, у камеры 22 сформированы целики, лежащие напротив камеры 21. Комбайн к этому моменту находится в камере 22 у штрека 9 (слева). Это создает возможность отработки целиков камеры 21 заходками с камеры 22 (рис. 2, b) в последовательности 1.1, 1.2.

В расчетах учитывается, что стенка работающей камеры, со стороны следующей в выемочном столбе зоны выемки, нагружается породами кровли в характерном для забоя лавы режиме и может поддерживаться крепью и технологическим целиком (он может быть сильно ослаблен трещинами из-за небольшой ширины или вообще отсутствовать). Нагрузки на эту зону пласта таковы, что уголь в ней, для сохранения устойчивости, должен иметь модуль деформации на порядок меньший, чем в обычных условиях, что наблюдения и подтверждают. Причины же этого – в специфике образования микротрещин в стесненных условиях. Фактически его значение близко к величине для обрушенных пород. Из рис. 1 ясно, что имеются периоды, когда до обрушения камеры устойчивость кровли по ее длине должна поддерживаться. Поэтому имеем множество зон и вариантов вычисления напряженно-деформированного состояния (НДС).

Опыт применения МКЭ показывает, что точность его вычислений достаточна для прогнозирования параметров работающей системы. Это требует гибкой сетки КЭ с малым шагом, где предполагается разрушение пород, причем в их пределах следует обеспечить ее равномерный шаг [2, 5]. С учетом [5–7] установлено, что при проходке камеры 3 вдоль столба длиной Ls, породы за-

висают, образуя ступенчатый профиль. Учет образования ступеней в кровле, так же как и все этапы разрушения, строится на основе предельных напряжений на растяжение, поскольку этот критерий из-за на порядок меньшей величины по сравнению с пределом прочности на сжатие позволяет достаточно точно идентифицировать разрушение. Заметим, что такие факторы ранее при расчетах не учитывались. Обрушение начнется слева по завершении вывода крепи в камеру 5 (рис. 1, b, поз. 10). При начале работ наиболее опасной по горному давлению будет позиция комбайна 2. Его заходка охраняется двумя целиками, но «ниже» штрека 3 и левее его будут обрушенные породы, от которых защищают крепи 15 еще не выведенные в камеру 5. Иная схема будет для положения комбайна в позиции 12. В «нижней» части имеем полностью обрушенное пространство или зависание пород, которое при приближении комбайна будет неустойчиво. Крепи же 16 ограждают заходку. Специфична и зона в районе позиции 11. Здесь на целики действует давление протяженного горного массива, поэтому расчеты ее НДС и особенностей разрушения позволят уточнить организацию их выемки за счет несложных маневров техники. Если расчеты ведутся в каждом цикле и уточняются по давлению в гидростойках и на основе сейсмоакустики, то при приближении опасной ситуации можно оперативно выстроить новый целик. В рассмотренной схеме для первой линии 21, x = 43 м, второй 22, x = 27 м (рис. 2).

В первом приближении модули целиков приняты равными. Свойства пород (пласт, почва, непосредственная и основная кровля, почва): модуль деформации 4e9 Pa, коэффициент пуассона 0,3, плотность 3000 кг; обрушенные породы соответственно: 0.5e9, 0.35, 3000; пласт зона дезинтеграции у забоя: 0.7e9, 0.35, 3000; зона дезинтеграции за забоем 1.7e9, 0.35, 3000. На рис. 3 представлены напряжения σ_y, σ_x и приведены только для целиков у штрека 1 и слежавшихся пород типа 18). На линии 21 (вдоль оси z, рис. 3, в) на целиках они относительно стабильны и увеличиваются у штрека 1 (где начинались работы в среднем от -1101 KPa до -1306, напряжения в зонах отсутствия целиков сжимающие от -282 до -783 (участки I, III в направлении к штреку 1), хотя должны быть нулевыми, отклонения объясняются крупной сеткой, так как дается среднее напряжение в центре узла. На рис. 3, б, напряжения по линии 22, построенные так же, как для линии 1. Схемы отличаются тем, что для 22 слева имеет нетронутый массив, а справа – линию целиков. Напряжения на второй меньше, чем на первой линии целиков камеры 21, например 1108 KPa (I) и 1203 (II), то есть менее 10 %. Далее рассматриваем влияние выемки целиков 1.1, 1.2 и т. д. При этом камера 21 обрушится. Для продолжения расчетов следует построить третью камеру (слева). Напряжения по оси X от -550 (II) до -589 (I), а на кровле – от -272 до -282 (I), тоже сжимающие. В то же время распределения по линии 22 близки к традиционным. То есть σy у кровли имеют нулевые значения (сетка достаточна) и возрастают на целиках от -1106 до -1240. Рассмотрено НДС при повторной выемке целиков в первой линии. Выемка производится со стороны камеры 22, что позволяет не сохранять камеру 21, и кровля в ней может обрушаться. Эти работы ведутся после того, как камера 5 полностью пройдена, когда во время прямого хода вынимались и заходки на второй линии, то есть расчетная схема аналогична рис. 2, b, здесь 18 – слежавшаяся порода, но их деформационная способность выше на 20–30 %, чем у угольных целиков. Перед еще не вынутым целиком линии 21 смоделированы две зоны, одна от вынутого целика, а другая для случая, если слеживаемость пород не достигнута.

На рис. 4 показаны особенности сдвижения пород у забоя по длине заходки.

Напряжение в зоне породных полос повысилось до 2000 KPa, при меньшем модуле деформации, и оно уменьшается до значений близких к обычным при удалении рассматриваемого целика от этой зоны. НДС с противоположных сторон целиков существенно меньше, чем со стороны свободного смещения кровли. Заметим, что зону работ окружает выработанное пространство и призма пород над ней может динамически смещаться. Для камерной выемки имеются зоны отслоения пород над выработанным пространством и горизонтального растяжения впереди забоя (рис. 4, поз. 1). Поэтому возникают две версии обрушения: по наклонным направлениям вверх и в виде формирования ступеней вдоль оси У. Образование ступеней в кровле может достигать и земной поверхности. Образование такого профиля (рис. 4, b) объясняется растяжением в зоне контакта отслоившегося слоя, с последующим цикловым развитием уже имеющихся наклонных трещин, с повторением этого процесса на большей высоте. Он же может быть остановлен поддержкой ступеней обрушенными породами.

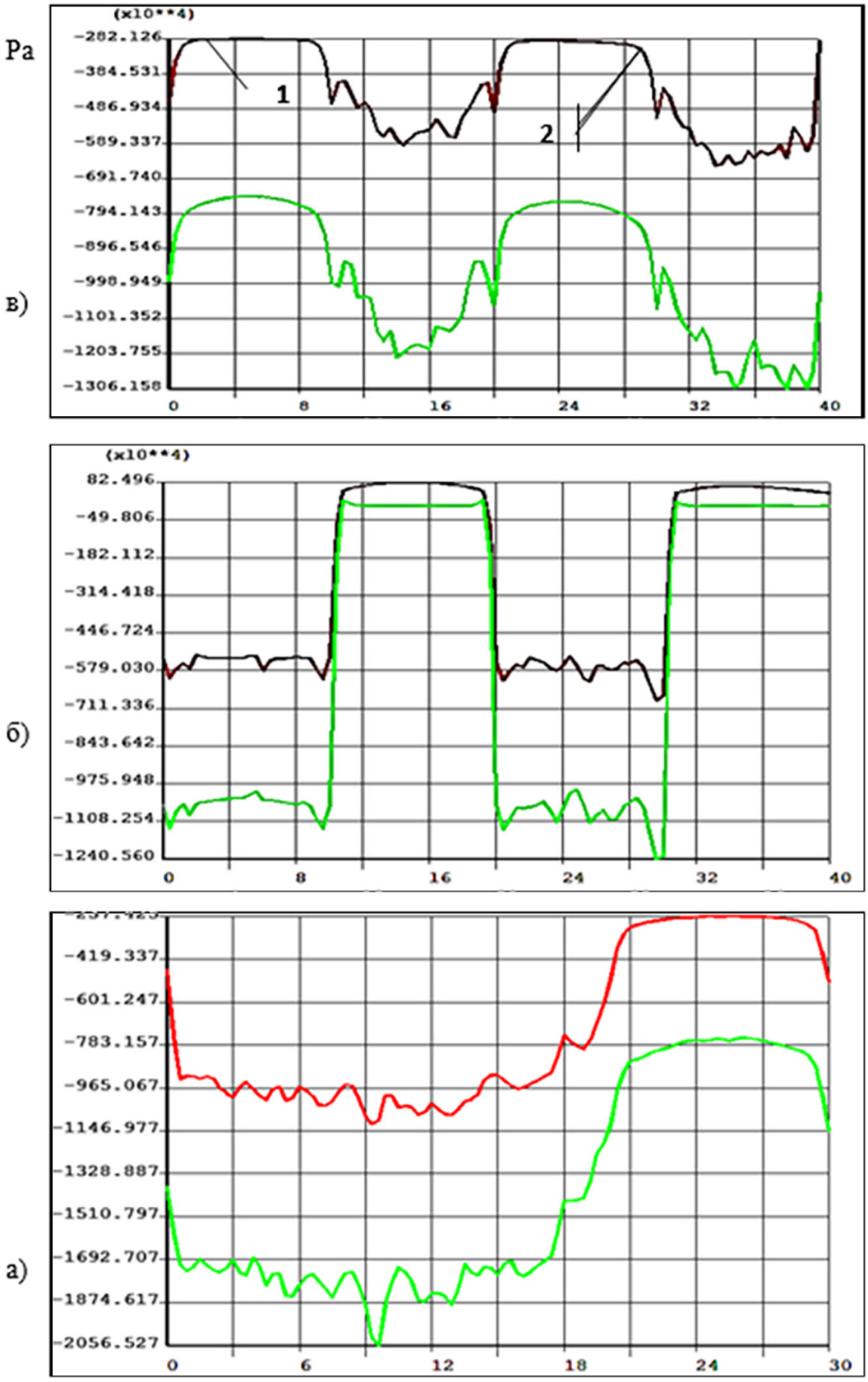


Рис. 3. Напряжения по X и Y вдоль оси z (I, II) по линии целиков и обрушенным породам (III); 1, 2 – зоны между целиками
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

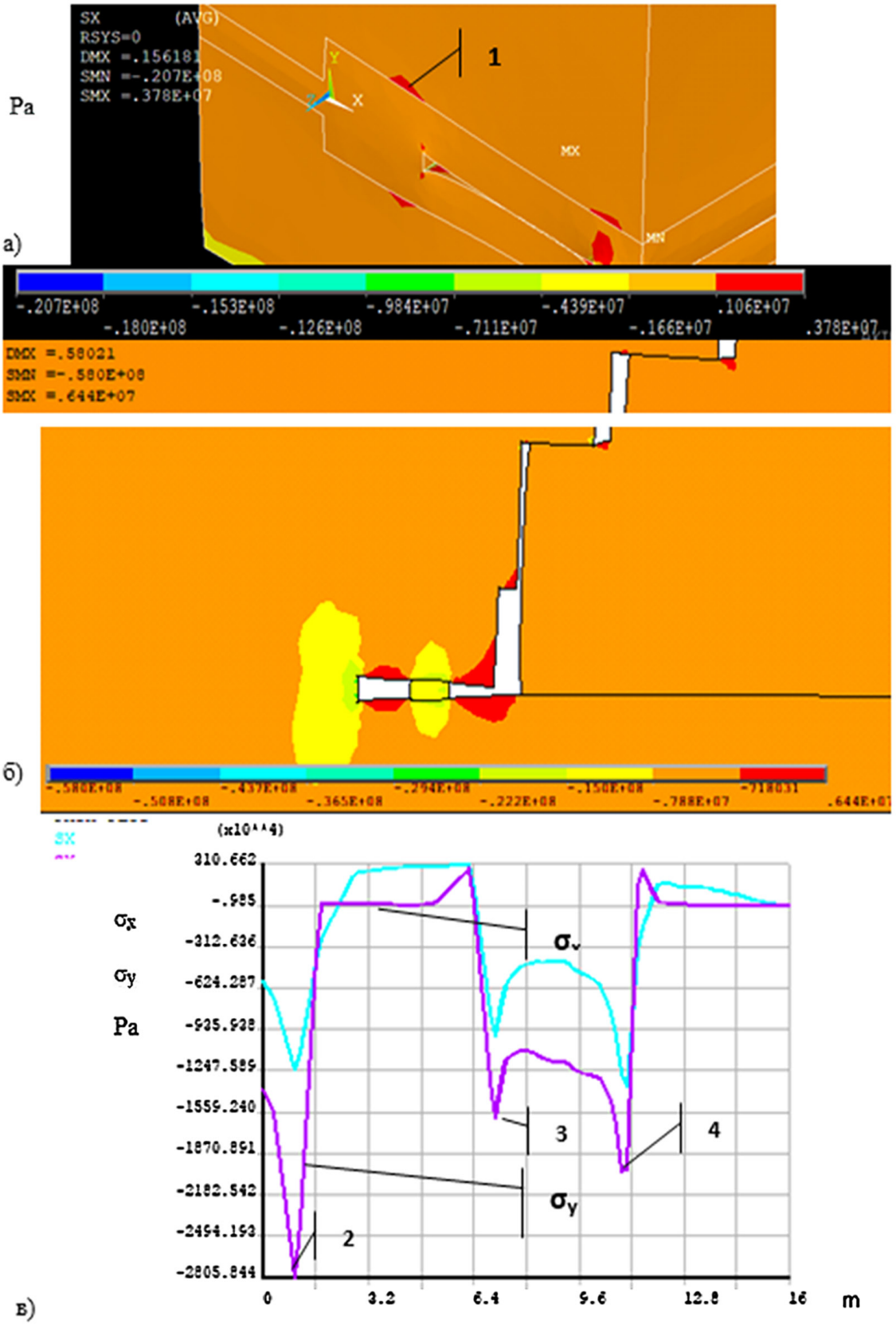


Рис. 4. Напряжения при ступенчатой кровле а) общий вид, 1 – растягивающие напряжения σx; б) σy; в) σx и σy вдоль забоя и целика, 2, 3, 4 – торец забоя и зона целика
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Реальность такой схемы следует и из [10–12] и экспериментов на моделях из эквивалентных материалов. В этом случае давление на забой на ~72 % выше по сравнению с плавным опусканием [13, 14] и обрушением в виде отдельных призм. Это объясняется тем, что при формировании ступеней вес слоев, зависающих за крепью, уменьшается почти вдвое, высота же обрушения увеличивается, увеличивается и длина устойчивого пролета. Совокупность же этих факторов в рамках рассмотренных свойств пород приводит к повышению давления в призабойной зоне. Экспериментально точка смыкания консольной кровли при подбучивании обрушенными породами учитывалась в [15], теория расчета была создана Н. С. Хапиловой (1971), а общее решение дано в [16]. Учли его и в [17, 18]. В шахтах за лавой зависание пород кровли виде ступеней наблюдалось между секциями крепи на тонких, средних и мощных пластах. Этот процесс продолжается в пределах видимости на высоту до ~ 20 м, при таком же удалении от нее. Прогнозирование же НДС в таких условиях позволит улучшить корректировку данных в каждом шаге выемки [2], а следовательно и идентификацию этих процессов, возможности которой постоянно возрастают за счет совершенствования их научно-технического комплекса [18].

Заключение

Разработана новая технологическая схема камерной выемки для выемки в сложных условиях залегания, создана уточненная методика расчета давления на пласт и крепь с учетом сдвижения пород с образованием ступенчатого профиля кровли, развивающегося вверх до смыкания с обрушенными породами. В методике учитываются многочисленные сценарии отработки целиков при различном их расположении и схем обрушения пород, что позволяет прогнозирование давлений в текущем положении камерного забоя. При предельном состоянии призабойной зоны шириной ~1, 5 м ее модуль деформации близок к модулю обрушенных пород, и их влияние на смещение кровли минимально, что подтверждено и расчетом горного давления.

Список литературы

1. Шмаленюк С. А. Установление оптимальных параметров горных работ при отработке пластов с разворотом лавы на 180º // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 12. С. 191–195.

2. Бейсембаев К. М., Малыбаев Н. С., Тутанов С. К., Шманов М. Н. Разработка модели лавы для системы управления механизированной крепью с обратной связью // Горный журнал. 2019. № 8. С. 38–42.

3. Исабек Т. К., Камаров Р. К., Мухамеджанов С. Д. К проблеме отработки локальных участков угольных пластов в Карагандинском угольном бассейне // Вестник национальной академии горных наук. 2018. № 2 (3). С. 14–20.

4. Кызыров К. Б., Митусов А. А., Исаев В. Л., Решетникова О. С. К вопросу оптимизации рабочих циклов гидрообъемных ударных механизмов // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 1. С. 20–25.

5. Бейсембаев К. М., Еренгайып А., Танас А. Обратная связь и использование искусственного интеллекта для камерной выемки // Научная дискуссия: Актуальные вопросы теории и практики: сборник статей II Международной научно-практической конференции (г. Пенза, 25 декабря 2024 г.). Пенза: МЦНС «НАУКА и просвещение», 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2024/12/MK-2218.pdf (дата обращения: 16.10.2026).

6. Meshkov A. A., Kazanin O. I., Sidorenko A. A. Improving the efficiency of the technology and organization of the longwall face move during the intensive flat-lying coal seams mining at the kuzbass mines // Journal of Mining Institute. 2021. № 5. С. 342–350.

7. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China / Gaofeng, Song, Yoginder P., Chugh, Jiachen Wang // Int. J. of Mining and Mineral Engineering. 2017. № 8 (1). P. 35–55. URL: https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMME.2017.082682 (дата обращения: 16.10.2026). DOI: 10.1504/IJMME.2017.082682.

8. Способ разработки твердых полезных ископаемых в сложных условиях: патент 046552 ЕА: МПК E21C 41/16/ Г. С. Жетесова, К. М. Бейсембаев, В. В. Юрченко и др.; заявитель и патентообладатель К. М. Бейсембаев. 202391679; заявл. 09.06. 2023, Бюл. № 12.

9. Способ разработки твердых полезных ископаемых в сложных условиях: патент 048558 ЕА: МПК E21C 41/16/ М. К. Ибатов, К. Б. Кызыров, Г. С. Жетесова и др.; заявитель и патентообладатель К. М. Бейсембаев. 202391678; заявл. 09.06. 2023, Бюл. № 3.

10. Усанов С. В., Коновалова Ю. П., Ефремов Ю. Е., Харисова О. Д., Усанова А. В. Неожиданные деформационные процессы в горных породах при открытой добыче полезных ископаемых: факторы возникновения и возможности предотвращения // Горная промышленность России. 2022. № 1. С. 111–118. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnezapnye-deformatsionnye-protsessy-v-gornom-massive-pri-nedropolzovanii-faktory-proyavleniya-i-vozmozhnosti-predupredeniya (дата обращения: 16.10.2026). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-111-118.

11. Буялич Г. Д., Жетесова Г. С., Бейсембаев К. М., Абдугалиева Г. Б., Решетникова О. С. Модели малокомпонентной робототехники для камерной выемки // Труды университета 2024. № 2 (95). С. 66–73. URL: https://gmik.kuzstu.ru/doc/2024/2823.pdf (дата обращения: 16.10.2026).

12. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю. А. Разработка метода сейсмоакустического мониторинга динамических явлений в очистных забоях угольных шахт // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 1. С. 28–35. URL: https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=180689&ARTICLE_ID=180693 (дата обращения: 16.10.2026). DOI: 10.15372/FTPRPI20210104.

13. Sun X. M., Qi Z. M., Zhang Y., Li Z. H., Xie C., Yang J. K., Ding J. X., He L. S. Characteristics and control measures of deep and shallow dense drilling in roadway for pressure relieving by cutting roof // Min Metall Explor. 2024. № 41. С. 787–803. DOI: 10.1007/s42461-024-00940-4.

14. Разумов Е. Е., Простов С. М., Петрова О. А. Реализация методики комплексного исследования геомеханических процессов при отработке угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 9. С. 142–159. URL: https://giab-online.ru/files/Data/2024/9/09_2024_142-159.pdf (дата обращения: 16.10.2026). DOI: 10.25018/0236_1493_2024_9_0_142.

15. Шинкевич М. В., Родин Р. И. Волнообразное давления горных пород в лаве // Технологические вопросы безопасности горных работ. 2020. № 4. С. 90–93. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/volnoobraznost-gornogo-davleniya-pri-otrabotke-dlinnyh-lav (дата обращения: 16.10.2026).

16. Залетнов С. В., Хапилова Н. С. Аналитическое решение осесимметричной задачи о деформации изотропного полупространства с упругозакрепленной границей под действием распределенной нагрузки // Вестник Московского университета. Сер. 1. Математика. Механика. 2016. № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskoe-reshenie-osesimmetrichnoy-zadachi-o-deformatsii-izotropnogo-poluprostranstva-s-uprugozakreplennoy-granitsey-pod/viewer (дата обращения: 16.10.2026).

17. Бейсембаев К. М., Векслер Ю. А., Жетесов С. С., Каппасов Н., Мендикенов К. К. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 3. С. 69–76. URL: https://elib.kstu.kz/fulltext/RINTS/2013/Izvestiya%20vuzov.%20GZH_3.pdf (дата обращения: 16.10.2026).

18. Соколов К. О., Шамаев С. Д. Распознавание волновых образов трещин массива горных пород на основе нейронных сетей по данным георадиолокации // Успехи современного естествознания. 2023. № 7. С. 109–114. URL: https://www.natural-sciences.ru/article/view?id=38079 (дата обращения: 16.10.2026). DOI: 10.17513/use.38079.

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.

УДК 622.7:544.7
DOI 10.17513/use.38558

CC BY 4.0

ИЗВЛЕЧЕНИЕ БОРНОЙ И МЫШЬЯКОВОЙ КИСЛОТ ИЗ СЕПАРАТА ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПАУЖЕТСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Хижко З. И. ORCID ID 0009-0003-1042-2020,
Авфукова Л. С. ORCID ID 0000-0002-0496-0442,
Белова Т. П. ORCID ID 0000-0003-4089-5278

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация, e-mail: zoekhizhko@bk.ru

Развитие геотермальной энергетики актуализирует задачу эффективной очистки и использования термальных вод, а также удаления загрязняющих веществ из раствора перед сбросом в водоемы. В работе исследована динамика совместной сорбции борной и мышьяковой кислот из технологического раствора Паужетской ГеоЭС. Для устранения мешающего влияния катионов и извлечения лития исходный сепарат предварительно пропускали через катионит КУ-2-8 в H^+-форме, что снижало pH элюата до 1,7–1,8. В качестве объектов анионообменной ступени изучены сильноосновная смола АВ-17-8 и слабоосновная смола АН-31 в OH^--формах. Анализ выходных кривых показал, что сорбент АН-31 обладает более длительным временем защитного действия и повышенной емкостью до проскока по бору и мышьяку, однако десорбция приводит к получению сложного многокомпонентного концентрата с примесями сульфатов и хлоридов. Использование анионита АВ-17-8, напротив, позволяет на стадии сорбции за счет эффекта вытеснения анионами получить высокотехнологичный раствор борной и мышьяковой кислот, полностью свободный от сульфат- и хлорид-ионов. На основании полученных результатов обоснована двухступенчатая сорбционная схема, обеспечивающая эффективную очистку геотермальных теплоносителей и селективное выделение ценных компонентов.

Ключевые слова: мышьяковая кислота, борная кислота, аниониты, сорбция, сепарат, геотермальный теплоноситель

SORPTION RECOVERY OF BORIC AND ARSENIC ACIDS FROM THE GEOTHERMAL SEPARATOR FLUID OF THE PAUZHETSKAYA GEOTHERMAL POWER PLANT

Khizhko Z. I. ORCID ID 0009-0003-1042-2020,
Avfukova L. S. ORCID ID 0000-0002-0496-0442,
Belova T. P. ORCID ID 0000-0003-4089-5278

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation, e-mail: zoekhizhko@bk.ru

The development of geothermal energy highlights the need for the effective purification and utilisation of thermal waters, as well as the removal of contaminants from process solutions prior to discharge into water bodies. This paper investigates the joint sorption dynamics of boric and arsenic acids from the process solution of the Pauzhetskaya Geothermal Power Plant. To eliminate cation interference and extract lithium, the initial separator fluid was pre-treated by passing it through a KU-2-8 cation exchange resin in the H^+-form, which decreased the eluate pH to 1.7–1.8. The strongly basic AV-17-8 resin and the weakly basic AN-31 resin in the OH^--form were studied as the anion exchange stage materials. Breakthrough curve analysis demonstrated that the AN-31 sorbent exhibited a longer operating cycle and a higher breakthrough capacity for boron and arsenic; however, desorption resulted in a complex multicomponent concentrate containing sulfate and chloride impurities. Conversely, due to the anion displacement effect, using the AV-17-8 anion exchanger makes it possible to obtain a high-tech solution of boric and arsenic acids at the sorption stage, completely free of sulfate and chloride ions. Based on the obtained results, a two-stage sorption scheme is justified, ensuring the effective purification of geothermal fluids and the selective recovery of valuable components.

Keywords: arsenic acid, boric acid, anion exchange resins, sorption, separator fluid, geothermal fluid

Введение

Мышьяк и бор, а также их соединения, – крайне токсичные вещества, обнаруживающиеся во всех компонентах биосферы. В большинстве случаев они находятся в неорганической форме в водах и почвах по всему миру. Чаще мышьяк встречается в форме арсенатов As (V), и в более токсичной и трудносорбируемой форме – арсенитов As (III), бор же зачастую представлен борной кислотой. Учитывая, что все водоемы в Камчатском крае являются нерестовыми, необходимо отслеживать концентрацию нормируемых элементов и их соединений.

Согласно Приказу Федерального агентства по Росрыболовству № 296 [1], предельно допустимая концентрация (ПДК) в водах водных объектов рыбохозяйственного значения не должна превышать 0,05 мг/л (0,01 мг/л в морской воде) для мышьяка и 2,86 мг/л для борной кислоты (0,5 мг/л в пересчете на бор). Употребление внутрь мышьяка и его соединений влечет за собой серьезные последствия для здоровья людей – увеличение риска заболевания раком легких, кожи, мочевого пузыря, а также хронического отравления [2]. Бор менее опасен и не является канцерогеном, однако его чрезмерное употребление оказывает негативное влияние на желудочно-кишечный тракт, нервную и репродуктивную системы.

Главными природными факторами распространения мышьяка, бора и их соединений в гидросфере являются минеральные и гидротермальные источники. Средняя концентрация мышьяка в реках составляет 0,003 мг/л, в поверхностных водах – 0,01 мг/л. Диапазон концентраций мышьяка в почвах – от 0,1 до 40 мг/кг, однако для мышьяковых руд и вулканических районов может доходить и до 8 г/кг [3]. К странам, в чьих водных ресурсах наблюдается повышенное содержание мышьяка, относятся Аргентина, Китай, Индия, Бангладеш, Вьетнам, Казахстан и др. В России к регионам с вероятной концентрацией мышьяка выше уровня ПДК в подземных водах относятся многочисленные регионы Северного Кавказа и Дальнего Востока [4]. Например, содержание мышьяка в Тумнинском геотермальном месторождении (Хабаровский край) составляет 0,022 мг/л, бора – 0,012 мг/л [5], в термальных источниках Верхне-Докторские (о. Кунашир, Курильские острова) – 1,5 мг/л, а в источниках Дробные и Башмачные (о. Шиашкотан, Курильские острова) – 2,2 и 6,4 мг/л соответственно [6]. Месторождение парогидротерм Паратунка (п-ов Камчатка) содержит в себе от 0,064 до 0,699 мг/л мышьяка и от 10,05 до 33,8 мг/л ортоборной кислоты, в зависимости от источника (Нижне-, Средне- или Верхне-Паратунское) [7].

Для устранения токсичных элементов, в том числе мышьяка и бора, используются различные достаточно эффективные методы, такие как мембранная фильтрация [8] и электрокоагуляция [9; 10]. В качестве широко применяемых способов прибегают к экстракции [11] и осаждению [12; 13]. Однако вышеперечисленные способы имеют недостатки, например: низкая селективность, высокая стоимость и сложность в применении. Поэтому сорбция является наилучшим методом для удаления мышьяка и бора, так как заключает в себе ряд преимуществ: доступная цена за сырье, простота и широта применения, возможность регенерации и повторного использования, селективность. Анионообменные смолы представляют собой полимерные сорбенты, обменивающие отрицательно заряженные ионы в растворе. При сорбции мышьяка и бора важно учитывать конкурентное влияние анионов, которые могут содержаться в геотермальном растворе, а именно сульфаты, силикаты, фосфаты и хлориды.

Altıok E. [14] с соавторами отметили высокие показатели (94-95%) хелатирующих смол 1JW и 2JW при одновременной сорбции мышьяка и бора из раствора геотермальной воды. Совместная сорбция мышьяка и фтора анионообменной смолой Haix с четвертичными аммониевыми функциональными группами, модифицированной оксидом циркония, и оксидами циркония и железа, была рассмотрена Phillips D. H. [15]. Гранулы Haix-Zr показали эффективность сорбции арсенатов и арсенитов выше, чем смола Haix-Fe-Zr. Смола, модифицированная только цирконием, решает проблему низкой селективности к арсенатам и арсенитам при одновременной сорбции и достигает >95% уже спустя 8 часов. Эффективность извлечения As (III) и As (V) достигла свыше 99% спустя неделю. Guo Ji. [16] в своем исследовании рассмотрел особенности сорбции арсенатов композитом на основе поливинилхлорида и оксида титана. Преимуществом композита является возможность сорбции в широком диапазоне pH (3-7), а также увеличенная в два раза сорбционная емкость по сравнению с немодифицированным сорбентом.

Целью настоящей работы является исследование динамики сорбции промышленными анионитами борной и мышьяковой кислот из растворов, полученных при первичной переработке сепарата Паужетской геотермальной станции (ГеоЭС) с доведением сбросных вод до ПДК и выделением конечного чернового продукта методом сорбции.

Материалы и методы исследования

Авфукова Л. С. [17] подробно описала состав (содержание мышьяка 3,4 мг/л, содержание борной кислоты 128 мг/л) техногенного раствора Паужетской ГеоЭС, сорбцию которого проводили в исследовании.

Для снижения концентрации или полного удаления катионов предварительно сепарат был пропущен через колонку с катионитом КУ-2-8; высота столба составила 17 см; pH элюатов составил 1,7–1,8 ед. Объектами исследования динамики сорбции борной и мышьяковой кислот являются анионообменные смолы марок АН-31 и АВ-17-8. АН-31 – слабоосновный анионит с вторичными и третичными алифатическими функциональными аминогруппами. АВ-17-8 – сильноосновная анионообменная смола с четвертичными бензилтриметиламмониевыми функциональными группами. Предварительно аниониты были переведены в OH^-–форму 2%-ным раствором гидроксида натрия.

Сорбцию проводили в сорбционных колонках диаметром 1 см методом нисходящего потока со скоростью 1 мл/мин. Сорбенты подготавливали следующим образом. Взвешивали 10 г воздушно-сухого сорбента, помещали в цилиндры, заливали дистиллированной водой для набухания, измеряли объем набухшего сорбента, затем переносили в колонку. На выходе из колонны элюат собирали в мерные колбы на 25 мл. В каждой колбе определяли концентрацию мышьяка и бора с помощью эмиссионного спектрометра параллельного действия с индуктивно связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония), с погрешностью измерений Δ=±13% для мышьяка и Δ=±21% для бора. Для измерения pH использовали иономер SevenCompact (Mettler-Toledo Instrument (Shanghai) Co. Ltd, Китай), с погрешностью измерений ±0,03 pH.

Результаты исследования и их обсуждение

Состав сепарата геотермального теплоносителя Паужетской ГеоЭС представлен в таблице 1. Сепарат имеет pH = 8,26±0,02, Eh=45 мВ и минерализацию 2103 мг/л. Сепарат получен непосредственно с Паужетской ГеоЭС. На долю катионов приходится 691,5 мг/л, среди них преобладают катионы натрия, калия, кальция и лития.

Таблица 1

Состав сепарата теплоносителя Паужетской ГеоЭС

№ п/п	Компонент	Сепарат	Первичный элюат	Элюат после сорбции анионитом АВ-17-8 до проскока	Элюат после сорбции анионитом АН-31 до проскока
		Содержание, мг/л	Содержание, мг/л	Содержание, мг/л	Содержание, мг/л
1	pH	8,26	1,7–1,8	7,23	7,23
2	Na^+	594±59	4,32±0,43	4,32	3,06
3	K^+	46,8±8,9	<1,0	<1,0	<1,0
4	Ca^{2+}	46,5±5,1	<1,0	<1,0	<1,0
5	Li^+	2,44±0,29	<1,0	<1,0	<1,0
6	Cl^-	922±65	872±61	7,09	<1,0
7	SO_4^{2-}	147±12	132±11	<1,0	<1,0
8	HCO_3^-	16,5±2,4	–	–	–
9	B (сумм.)	22,42±4,71	22,38±4,70	0,025±0,005	0,043±0,009
10	H_3BO_3	112,6±24	128±26	–	–
11	$H_2BO_3^-$	15,4±3,2	–	–	–
12	H_4SiO_4	185±8	193±8	–	–
13	$H_3SiO_4^-$	6,72±0,35	–	–	–
14	As (сумм.)	3,44±0,45	3,40±0,44	<0,05	<0,05
15	H_3AsO_4	–	3,60±0,47	–	–
16	$H_2AsO_4^-$	0,19±0,02	2,83±0,37	–	–
17	$HAsO_4^{2-}$	6,24±0,81	–	–	–

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

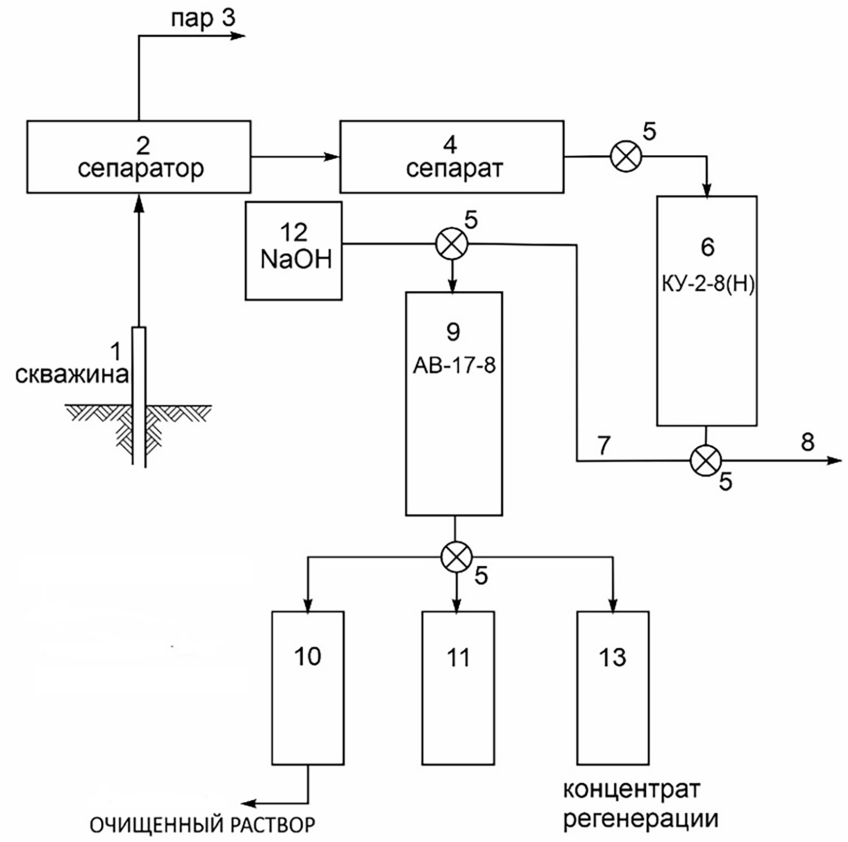


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема извлечения борной и мышьяковой кислот из сепарата Паужетской ГеоЭС: 1 – скважина, 2 – сепаратор, 3 – пар, 4 – сепарат, 5 – кран переключения потоков, 6 – колонна с катионитом КУ-2-8 (Н), 7 – транспорт элюата в колонну на извлечение борной, мышьяковой, кремниевой кислот, 8 – продуктивный раствор на извлечение лития, 9 – колонна с анионитом, 10 – очищенный раствор, 11 – концентрат борной, мышьяковой и кремниевой кислот, 12 – раствор гидроксида натрия для регенерации, 13 – концентрат регенерации
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Содержание других катионов, таких как стронций, магний и железо, составляет < 1 мг/л. На долю анионов приходится 1114 мг/л, где в большей степени преобладают хлорид-ионы и сульфат-ионы. Борная и кремниевая кислоты диссоциированы частично. Борная кислота при суммарном содержании равна 128±26 мг/л. Растворенной кремниевой кислоты H_4SiO_4 обнаружено 185±8 мг/л. Мышьяковая кислота в сепарате присутствует в виде дигидроарсенат- и гидроарсенат-ионов [18, с. 472].

Как было показано ранее [19], извлечению борной кислоты мешают катионы. Для устранения мешающего влияния катионов предложено первоначально пропускать сепарат геотермального теплоносителя через катионит КУ-2-8 в H^+-форме. На рис. 1 изображен фрагмент принципиальной схемы извлечения ценных компонентов из геотермальных теплоносителей.

Геотермальный теплоноситель из скважины (1) поступает в сепаратор (2), где происходит разделение на пар и жидкую фракцию (рис. 1). Далее пар (3) отправляется на турбину, а жидкая фракция (сепарат) в промежуточную емкость (4). Отделение катионов от анионов происходит в сорбционной колонне, заполненной катионитом КУ-2-8 в H^+-форме (6), которая работает до проскока. Элюат (7) направляют на следующую ступень сорбции (9), а катионит продолжает работать до полного насыщения и извлечения лития (8). Сорбционная колонна (9) заполнена анионитами АВ-17-8 или АН-31 в OH^--форме. Выходные кривые показаны на рисунках 2, 3. На выходе из сорбционной колонны (9) получается слабоминерализованный раствор (10), который собирают до проскока борной или мышьяковой кислоты. Ниже будут приведены данные по составу раствора.

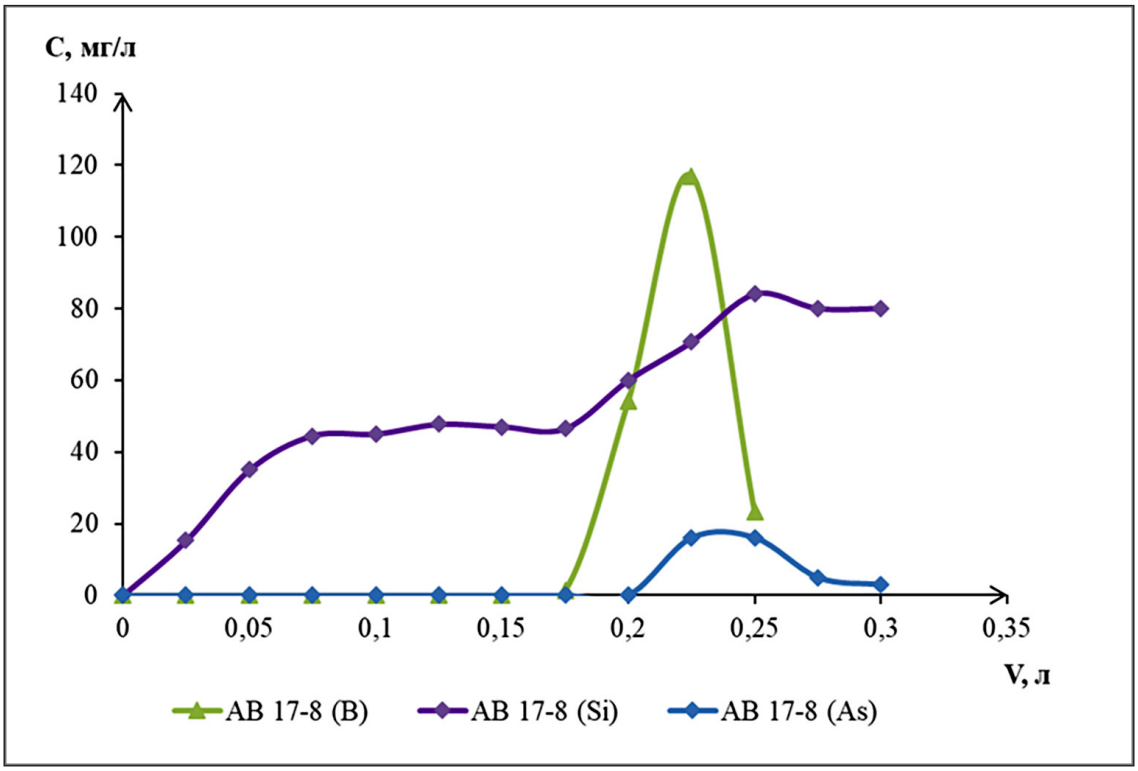


Рис. 2. Динамика сорбции борной, мышьяковой и кремниевой кислот сильноосновным анионитом АВ-17-8 в OH^--форме
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

После проскока слабых кислот элюат собирают в промежуточную емкость (11) до выравнивания концентраций борной и мышьяковой кислоты на входе и выходе из колонны (9). Регенерацию колонны (9) проводят гидроксидом натрия (12). Концентрат регенерации, содержащий в основном сульфат и хлорид натрия, собирают в емкость (13).

Элюат, полученный при прохождении сепарата через катионит и направляемый на анионит, имеет pH=1,7–1,8, Eh=400 мВ, минерализацию 1332 мг/л, по сути, является смесью кислот. Катионный состав представлен в основном ионами водорода, в незначительном количестве присутствуют ионы натрия. Другие катионы, такие как калий, кальций, магний, изначально присутствующие в сепарате, обнаруживаются в элюате в концентрациях много меньше 1,0 мг/л. Анионный состав представлен хлорид- и сульфат-ионами. Борная и кремниевая кислоты при таком значении pH присутствуют в молекулярном виде. Мышьяковая кислота в элюате после катионита присутствует в молекулярном виде и в виде дигидроарсенат-ионов.

Выходные кривые сорбции, полученные на анионитах в гидроксильной форме при пропускании элюата, изображены на графиках (рис. 2, 3). Данные концентраций борной, кремниевой и мышьяковой кислот представлены в пересчете на химические элементы.

При сорбции на анионите АВ-17-8 в OH^--форме кремниевая кислота появляется на выходе из сорбционной колонны практически в первой же порции раствора, ее содержание 52,5 мг/л (или 15,3 мг/л в пересчете на кремний). В процессе сорбции содержание кремниевой кислоты постепенно нарастает, и через 12 колоночных объемов ее содержание сравнивается на входе и на выходе из колонны. Проскок борной кислоты происходит через 7,5 колоночного объема. Проскок мышьяковой кислоты – через 10,2 колоночного объема. Считаем целесообразным рассчитывать емкость сорбента, взяв за основу объем пропущенного раствора до проскока бора. Под проскоком понимаем концентрацию бора, равную ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Хлорид- и сульфат-ионы поглощаются полностью в этих условиях. Таким образом,

емкость анионита АВ-17-8 до проскока составила: по бору 0,315 мг/г; по мышьяку – 0,048 мг/г; по кремнию – 0,626 мг/г; по сульфат-иону – 2,25 мг/г; по хлорид-иону – 13,03 мг/г. На выходе из колонны до проскока раствор имеет нейтральный pH (7,23), содержит 39,1 мг/л кремния, 4,32 мг/л натрия, другие катионы в концентрации менее 1 мг/л, концентрация бора – 0,025 мг/л, мышьяка <0,05 мг/л. При дальнейшем пропускании кислого раствора элюата через колонну с сильноосновным анионитом АВ-17-8 сульфат- и хлорид-ионы начинают вытеснять бор и мышьяк. Через 7,5 колоночного объема концентрации бора и мышьяка выходят на первоначальные значения. В состав раствора, собранного от проскока до выравнивания концентраций, входят: бор – 39,7 мг/л, коэффициент концентрирования – 1,77, извлечение – 88,71%; мышьяк – 6,36 мг/л, коэффициент концентрирования – 1,87, извлечение – 93,48%; кремний – на уровне содержания в исходном растворе; сульфат- и хлорид-ионы отсутствуют. Преимущество полученного высокотехнологичного раствора заключается в том, что он имеет повышенную концентрацию целевых компонентов почти в два раза, в нем отсутствуют сульфат- и хлорид-ионы, недостатком является присутствие кремниевой кислоты.

При сорбции на слабоосновном аниоците АН-31 в OH^--форме (рис. 3) кремниевая кислота также появляется на выходе из сорбционной колонны практически в первой же порции раствора, но ее содержание ниже, чем при сорбции на сильноосновном аниоците – 20,0 мг/л (или 5,84 мг/л в пересчете на кремний).

По мере пропускания раствора через колонну концентрация кремниевой кислоты нарастает, затем начинает снижаться. Вторым компонентом на выходе из колонны появляется мышьяк. Проскок мышьяковой кислоты наступает через 14 колоночных объемов. Емкость до проскока составляет 0,11 мг/г в расчете на элемент. Через 17 колоночных объемов на выходе появляется бор. Емкость до проскока по бору составляет 0,89 мг/г. Сульфат- и хлорид-ионы сорбируются полностью. В таблице 2 представлены содержания нормируемых компонентов в очищенной воде и нормативы ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

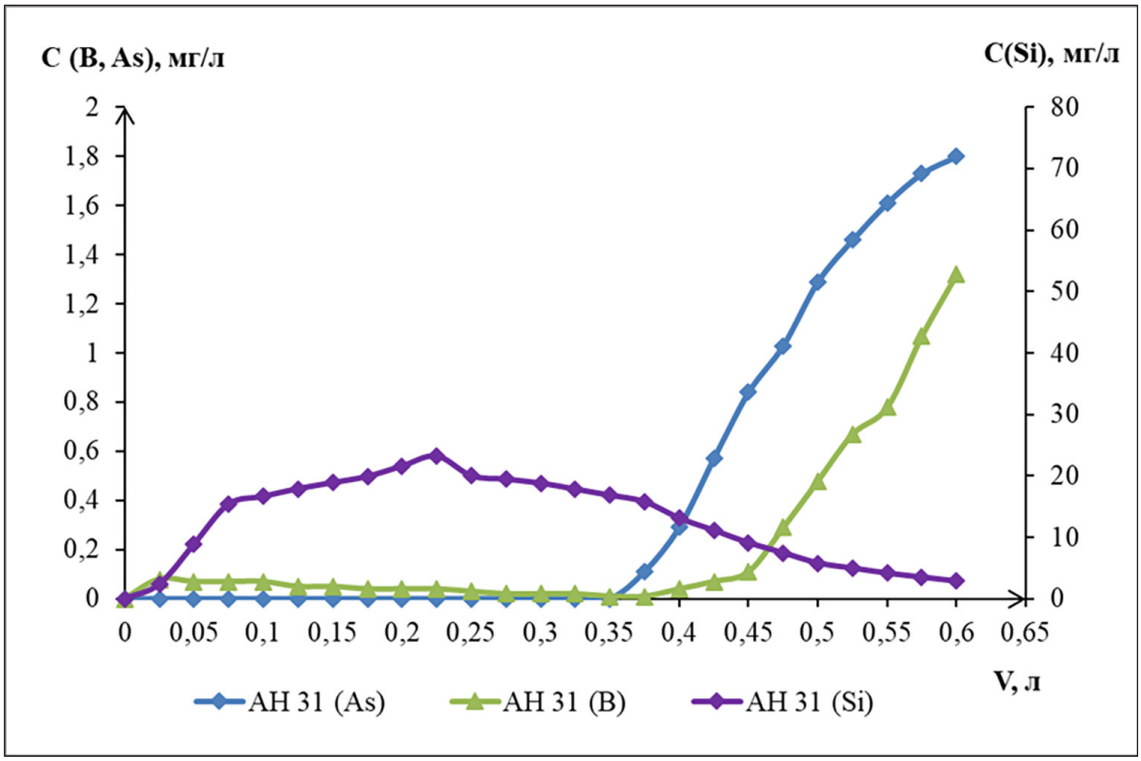


Рис. 3. Динамика сорбции борной, мышьяковой и кремниевой кислот слабоосновным анионитом АН-31 в OH^--форме: по основной оси y – концентрация бора и мышьяка, по вспомогательной – концентрация кремния
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 2

Содержание нормируемых компонентов в очищенной воде

Компонент	Остаточная концентрация, мг/л в растворе до проскока		ПО, мг/л ИСП	Метод определения	Норматив [1] $ПДК_{рыбхоз}$, мг/л	Рекомендованная группа методов количественного химического анализа [1]
	АВ-17-8	АН-31				
As	<0,05	<0,05	0,05	ИСП	0,05	ААС, ИСП
B	0,025±0,005	0,043±0,009	0,005	ИСП	0,5	ИСП, ААС, ионная хроматография

Примечание: ПО – предел определения; ААС – атомно-абсорбционная спектроскопия; ИСП – метод индуктивно связанной плазмы [1]; составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

После насыщения колонна подвергается десорбции и регенерации. Преимуществом применения анионита АН-31 для извлечения мышьяка и бора является время защитного действия, которое у колонны с анионитом АН-31 больше, чем у колонны с анионитом АВ-17-8. Недостатком – состав концентрата регенерации, в котором наряду с целевыми компонентами будут присутствовать сульфат- и хлорид-ионы.

Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований по сорбции бора и мышьяка из сепарата геотермального теплоносителя Паужетской ГеоЭС показано, что сорбционный блок в технологической схеме должен иметь две ступени. Первая ступень – катионит КУ-2-8 в водородной форме для освобождения технологического раствора от катионов, извлечения лития и получения раствора кислот. Вторая ступень – анионит, где происходит выделение борной, мышьяковой и кремниевой кислот. При применении сильноосновного анионита АВ-17-8 уже на стадии сорбции получен высокотехнологичный раствор борной и мышьяковой кислот, свободный от сульфат- и хлорид-ионов. Коэффициент концентрирования на стадии сорбции составил 1,77 по мышьяку и 1,87 по бору. Использование слабоосновного анионита АН-31 позволяет в результате регенерации колонны получить концентрат сложного состава, в котором наряду с целевыми компонентами присутствуют сульфат- и хлорид-ионы. Результатом такой технологический схемы является удаление бора и мышьяка из сбросных вод, а также извлечение чернового продукта методом сорбции.

Список литературы

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Федерального агентства по рыболовству, от 26 мая 2025 г. № 296 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202506020069. Дата обращения: 22.10.2026.

2. Магомедов М. Г., Абдуразакова Х. Н., Абакарова А. М., Гасанова З. М., Казанбиева П. Д. Оценка рисков негативного влияния употребления вод с высокой концентрацией мышьяка на здоровье населения людей в Республике Дагестан // Влияние экологических факторов на здоровье населения и проблемы продовольственной безопасности региона: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой Дню эколога (г. Махачкала, 3 июня 2025 г.). Махачкала: Издательство Дагестанского государственного медицинского университета, 2025. С. 275-293. EDN: TXAZRJ.

3. Турбинский В. В., Бортникова С. Б. О соотношении мышьяка и сурьмы в биогеохимических провинциях как факторов риска здоровью // Анализ риска здоровью. 2018. № 3. С. 136-143. DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.15.

4. Воробьев А. Е., Щесняк Е. Л., Воробьев К. А. Загрязнение природных пресных вод мышьяком: от Казахстана до Дагестана // Труды университета. 2021. № 1(82). С. 61-66. DOI: 10.52209/1609-1825_2021_1_61.

5. Потурай В. А., Строчинская С. С., Компаниченко В. Н. Комплексная биогеохимическая характеристика термальных вод Тумнинского месторождения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 1. С. 22-30. EDN: YRPFZO.

6. Тарасов К. В., Топчиева О. М. О выносе мышьяка низкотемпературными гидротермами Курильских островов (острова Кунашир, Шиашкотан) // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы XX региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога (г. Петропавловск-Камчатский, 30-31 марта 2017 г.). Петропавловск-Камчатский: Издательство Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2017. С. 211-214. EDN: ZEXDFT.

7. Рогатых С. В., Гвозденко Т. А., Антонюк М. В., Штомпель К. В. Кремнистые термальные воды как перспективный рекреационный ресурс Камчатского края // Успехи современного естествознания. 2025. № 12. С. 35-39. DOI 10.17513/use.38463.

8. Sun N., Dou P., He H., Xu L., Vatanpour V., Wang C., Zhang Y. B., He T. Polyethylene separator supported TFC nanofiltration membranes for arsenate removal: Impact of hydrolysis // Separation and Purification Technology. 2026. Vol. 380. P. 135450. DOI: 10.1016/j.seppur.2025.135450.

9. Meetiyagoda K., Fujino T., Tening A. S., Ndam L. M., Zhang Y., Sawada Y., Kamura K. Enhanced arsenic removal from drinking water by electrocoagulation: Influence of anode material and ultrafine bubbles // Desalination and Water Treatment. 2026. Vol. 325. P. 101602. DOI: 10.1016/j.dwt.2025.101602.

10. Syam Babu D., Nidheesh P. V. A review on electrochemical treatment of arsenic from aqueous medium // Chemical Engineering Communications. 2021. Vol. 208, № 3. P. 389-410. DOI: 10.1080/00986445.2020.1715956.

11. Alves V. N., Neri T. S., Borges S. S. O., Carvalho D. C., Coelho N. M. M. Determination of inorganic arsenic in natural waters after selective extraction using *Moringa oleífera* seeds // Ecological Engineering. 2017. Vol. 106. P. 431-435. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.06.007.

12. Xu L., Zheng Y., Zhao Y., Chen W. Recovery of arsenic oxide, harmless gypsum residue and clean water by lime neutralization and precipitation // Hydrometallurgy. 2023. Vol. 215. P. 105996. DOI: 10.1016/j.hydromet.2022.105996.

13. Ahmad A., van Genuchten C. M. Deep-dive into iron-based co-precipitation of arsenic: A review of mechanisms derived from synchrotron techniques and implications for groundwater treatment // Water Research. 2024. Vol. 249. P. 120970. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120970.

14. Altıok E., Şen F., Wolska J., Cyganowski P., Bryjak M., Kabay N., Arda M., Yüksel M. Separation of Boron and Arsenic from Geothermal Water with Novel Gel-Type Chelating Ion Exchange Resins: Batch and Column Sorption-Elution Studies // Molecules. 2023. Vol. 28. № 23. Art. 7708. DOI: 10.3390/molecules28237708.

15. Phillips D. H., Sen Gupta B., Mukhopadhyay S., Sen Gupta A. K. Arsenic and fluoride removal from contaminated drinking water with Haix-Fe-Zr and Haix-Zr resin beads // Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 215. P. 132-142. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.018.

16. Guo J., Du J., Yan L., Shi J. Granular composite of polyvinyl chloride anion exchange resin encapsulated with nano TiO_2 for arsenic removal from water // Journal of Environmental Sciences. 2025. Vol. 157. P. 279-290. DOI 10.1016/j.jes.2024.05.007.

17. Авфукова Л. С., Белова Т. П. Вопросы извлечения борной кислоты из сепарата геотермального теплоносителя Паужетской ГеоЭС // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2026. Т. 337. № 3. С. 74-84. DOI: 10.18799/24131830/2026/3/5200.

18. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: Недра, 1970. 488 с.

19. Belova T. P., Ershova L. S. Boron concentration by industrial anion exchanger resins from model solutions in a dynamic mode // Heliyon. 2021. Vol. 7. № 2. e06141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06141.

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 528.48
DOI 10.17513/use.38559

CC BY 4.0

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА В ЖИЛОМ КОМПЛЕКСЕ «ПРЕДГОРЬЕ-ЛАГОНАКИ» (МАЙКОП, АДЫГЕЯ)

Пшидаток С. К., Солодунов А. А., Турк Г. Г., Бегеретов А. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация, e-mail: begeretov152@mail.ru

В статье рассматривается комплекс геодезических работ при строительстве многоквартирного дома в городе Майкоп, Республика Адыгея, в микрорайоне «Предгорье-Лагонаки». Специфика объекта такова, что его возведение невозможно без геодезического контроля на каждом этапе: разбивочные работы, контроль вертикальных и горизонтальных осей, исполнительные съемки. Систематизация всех этих процедур представлена в статье в виде единой технологической схемы, которая может быть адаптирована для аналогичных объектов. В условиях активного развития городов и роста объемов жилищного строительства требования к точности геодезических работ существенно возрастают. Особое значение этот вопрос приобретает при строительстве в регионах со сложными инженерно-геологическими условиями, где ошибки в геодезическом сопровождении могут привести к деформациям конструкций и нарушению эксплуатационной безопасности зданий. Многоэтажное жилищное строительство, являясь одним из наиболее капиталоемких и социально значимых направлений, предъявляет повышенные требования к качеству и точности исходных геопространственных данных. Геодезическое обеспечение строительства является неотъемлемым условием реализации крупных жилищных проектов, к числу которых относится жилой комплекс «Предгорье-Лагонаки». В работе приведены особенности использования современных геодезических приборов при работе в условиях плотной застройки и ограниченной видимости. Применение современных методов и средств геодезических измерений в сочетании с соблюдением нормативных требований обеспечивает надежность и безопасность возводимых объектов.

Ключевые слова: инженерно-геодезические изыскания, опорная межевая сеть, жилой комплекс, современные геодезические приборы, нормативные требования, городская застройка, сложный рельеф

GEODETIC SUPPORT FOR THE CONSTRUCTION OF AN APARTMENT BUILDING IN THE PREDGORYE-LAGONAKI RESIDENTIAL COMPLEX (MAYKOP, ADYGEA)

Pshidatok S. K., Solodunov A. A., Turk G. G., Begeretov A. A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University", Krasnodar, Russian Federation, e-mail: begeretov152@mail.ru

The article considers a complex of geodetic works during the construction of an apartment building in the city of Maykop, Republic of Adygea, in the Predgorye-Lagonaki microdistrict. The specifics of the facility are such that its construction is impossible without geodetic control at each stage: alignment work, control of vertical and horizontal axes, executive surveys. The systematization of all these procedures is presented in the article in the form of a single technological scheme that can be adapted for similar facilities. In the context of active urban development and the growth of housing construction, the requirements for the accuracy of geodetic work are significantly increasing. This issue is of particular importance during construction in regions with difficult engineering and geological conditions, where errors in geodetic maintenance can lead to structural deformations and disruption of the operational safety of buildings. Multi-storey housing construction, being one of the most capital-intensive and socially significant areas, places high demands on the quality and accuracy of the initial geospatial data. Geodetic support for construction is an essential condition for the implementation of large housing projects, including the Predgorye-Lagonaki residential complex. The paper presents the features of using modern geodetic instruments when working in conditions of dense buildings and limited visibility. The use of modern methods and means of geodetic measurements, combined with compliance with regulatory requirements, ensures the reliability and safety of facilities under construction.

Keywords: engineering and geodetic surveys, basic boundary network, residential complex, modern geodetic instruments, regulatory requirements, urban development, complex terrain

Введение

Республика Адыгея, и в особенности ее столица – город Майкоп, переживает период активного жилищного строительства, обусловленного как естественным ростом населения, так и реализацией крупных инфраструктурных проектов, включая создание горнолыжного курорта «Лаго-Наки». Плато Лаго-Наки – горная территория на Западном Кавказе, расположенная на высотах

от 1800 до 2200 метров над уровнем моря. Для жилого комплекса «Предгорье-Лагонаки», позиционируемого на стыке равнинной части и нагорной зоны, ключевым вызовом является не столько сложность архитектурных решений, сколько нестабильность основания. В отличие от известных исследований, посвященных геодезическому сопровождению строительства в условиях плотной городской застройки мегаполисов, в настоящей работе объектом исследования выступает локальная строительная площадка в специфических природно-климатических и сейсмических условиях Северного Кавказа.

Цель исследования – подбор геодезического оборудования на основании расчета ожидаемой погрешности на каждом этапе выполнения работ.

Практическая значимость настоящей работы заключается в расчете ожидаемых погрешностей при выполнении работ, обеспечивающих высокоточное строительство многоквартирного дома в рамках масштабного проекта комплексного развития территории ЖК «Предгорье-Лагонаки» в г. Майкопе. Результаты исследования могут быть непосредственно использованы при геодезическом сопровождении аналогичных объектов в условиях предгорной и сейсмоактивной местности Северного Кавказа.

Материалы и методы исследования

Республика Адыгея и ее столица Майкоп за последнее десятилетие превратились в один из самых быстрорастущих туристических кластеров: начиная с 2014 года число гостей увеличилось вдвое. Эта динамика служит поводом для инвестиционной активности.

Предмет исследования – методы и технологии геодезического сопровождения строительства на примере ЖК «Предгорье-Лагонаки».

Жилой комплекс «Предгорье-Лагонаки» представляет собой один из крупнейших проектов комплексного развития территории в Республике Адыгея. Общий объем инвестиций составляет около 8 млрд рублей, запланировано строительство 13 многоквартирных домов общей площадью 90 тыс. кв. м жилья с завершением до 2030 года. Геодезическое сопровождение такого масштабного проекта требует организации единой системы координат для всех объектов, включая жилые здания, объекты социальной инфраструктуры и инженерные коммуникации. Результаты исследования позволяют оптимизировать геодезические работы на всех этапах реализации проекта – от инженерных изысканий до исполнительной съемки завершенных объектов.

Объект геодезического обеспечения – многоквартирный жилой дом в составе жилого комплекса «Предгорье Лаго-Наки» – располагается в микрорайоне Михайлова г. Майкопа, Республика Адыгея. Месторасположение участка изысканий:

– с северо-восточного фланга – улица Шоссейная (транспортная магистраль городского значения);

– с юго-западного фланга – существующая капитальная жилая застройка по улице Михайлова;

– с юго-востока и северо-запада – четыре участка с кадастровыми номерами 01:08:0519044:954, 01:08:0519044:13, 01:08:0519048:147 и 01:08:0000000:5355.

Инженерно-геодезические изыскания являются начальным и обязательным этапом любого строительства [1]. Их результаты служат основой для проектирования и позволяют оценить экономическую целесообразность реализации проекта.

На площадке строительства ЖК «Предгорье-Лагонаки» выполняется полный комплекс инженерно-геодезических изысканий, включающий:

- топографическую съемку территории в масштабе 1:500, позволяющую получить детальный план рельефа и ситуации на участке застройки. Топографическая съемка выполняется с использованием современных геодезических приборов и технологий, включая спутниковое оборудование [2];

- инженерно-геологические изыскания, которые выполняются параллельно с геодезическими работами и позволяют оценить несущую способность грунтов и другие характеристики основания здания.

Территория ЖК «Предгорье Лаго-Наки» расположена в переходной зоне от собственно плато (высокогорный рельеф) к предгорьям (среднегорный рельеф). Абсолютные отметки в пределах участка колеблются от 450 до 650 м. Углы наклона поверхности составляют от 5° до 25°, что требует особого внимания при выборе методов геодезических работ.

Геодезические работы в рамках инженерных изысканий выполнялись на территории, относящейся к муниципальному образованию «Город Майкоп». Объектом исследований выступал земельный участок, расположенный в границах населенных пунктов (его местоположение отражено на рисунке 1) [3].

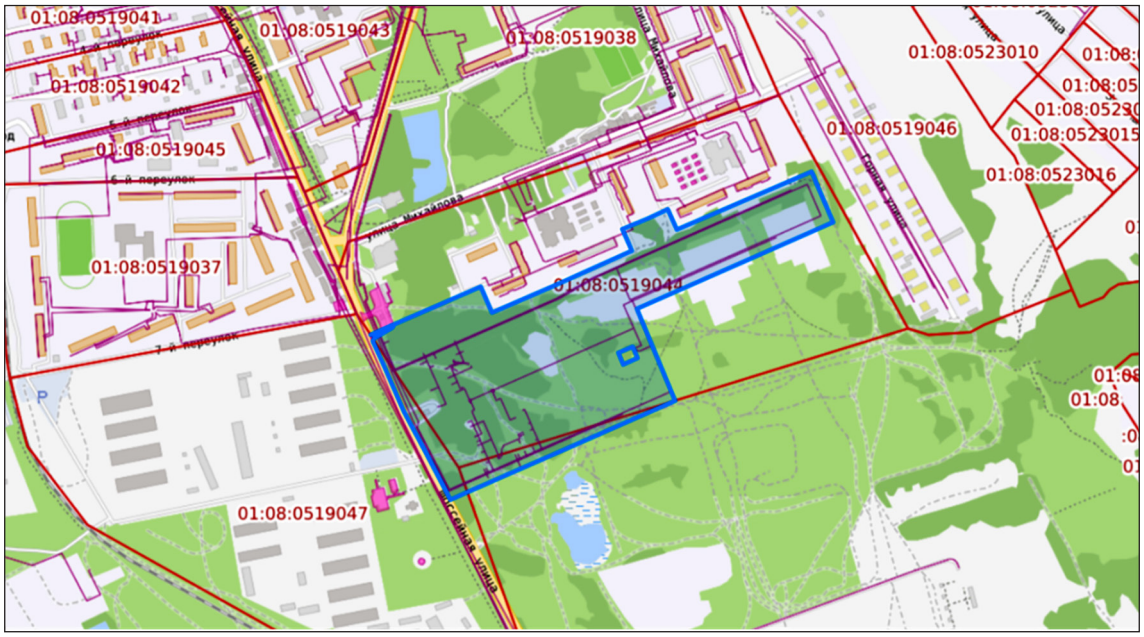


Рис. 1. Схема расположения земельного участка на публичной кадастровой карте
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 1

Каталог координат исходных пунктов

Идентификатор пункта	Тип закрепления	Координаты (X, Y), м	Высота H, м
ОМЗ-70157	Пункт триангуляции	766 420,37 / 1 287 555,04	276,34
ОМЗ-8-203	Пункт триангуляции	757 528,55 / 1 295 776,60	322,57
ОМЗ-8-473	Пункт триангуляции	767 736,37 / 1 297 175, 29	291,99
ОМЗ-046495	Пункт триангуляции	765 354, 79 / 1 302 039,04	279,06
ОМЗ-04610	Пункт триангуляции	758 215,02 / 1 298 467,73	203,89

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Подготовительный этап изысканий включил в себя ретроспективный анализ и систематизацию архивных картографо-геодезических фондов по изучаемой территории за предыдущие годы [4]. Реализация данной задачи потребовала направления официального запроса в Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Адыгея. В ответ на указанный запрос предоставлена выписка, фиксирующая результаты повторного уравнивания (перевычисления) координатных данных полигонометрических пунктов в границах города Майкопа и прилегающего Майкопского муниципального района. Согласно содержанию выписки, в ней приведен каталог планово-высотных характеристик пунктов опорно-межевой сети, а именно – прямоугольные координаты X, Y и абсолютные отметки H (табл. 1).

Все обследованные геодезические пункты признаны пригодными для использования в качестве опорной основы, что обусловлено их полной физической сохранностью. Визуальный осмотр зафиксировал наличие всех конструктивных элементов: наружных опознавательных знаков, подземных центров и нивелирных марок, выполненных из коррозионностойких материалов. Территориальное размещение пунктов характеризуется равномерным охватом – они дискретно распределены по периметру участка изысканий, исключая локальную скученность, что обеспечивает оптимальную геометрию для последующих угловых и линейных измерений. Рекогносцировочное обследование проводилось с целью изучения существующей геодезической основы, выбора мест закладки реперов и выявления особенностей местности.

При выполнении геодезических работ на объекте использовались две взаимосвязанные системы:

1) плановая система – МСК-23 (местная система координат Республики Адыгея, зона 1). Параметры перехода от общеземного эллипсоида WGS-84 к МСК-23 получены по дифференциальным поправкам через базовую станцию ГНСС, установленную на репере ОМЗ-04610;

2) высотная система – Балтийская 1977 года (нормальный нуль Кронштадтского футштока), что соответствует требованиям СП 47.13330.2016 для производства геодезических работ на территории Российской Федерации [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В целях геодезического сопровождения возведения объектов в ЖК «Предгорье Лаго-Наки» был реализован полный цикл измерений, охвативший как выездные (полевые) замеры, так и последующую обработку данных в камеральных условиях. Основные направления деятельности в рамках данного этапа перечислены ниже.

На первом этапе выполнено рекогносцировочное обследование участка изысканий с оценкой сохранности исходных геодезических пунктов, используемых в качестве опорной основы. Далее произведено построение и закрепление на местности планово-высотного съемочного обоснования, обеспечивающего необходимую плотность и точность последующих измерений.

По результатам полевых работ составлена топографическая инструментальная съемка территории участка, а также локализация и координирование существующих подземных инженерных коммуникаций [6]. Параллельно выполнены разбивочные работы – вынесение в натуру проектных осей возводимых сооружений с контролем их пространственного положения [7].

Геодезическое обеспечение строительства высотных объектов в условиях сложного рельефа и карстовой опасности, как в случае с ЖК «Предгорье-Лагонаки», требует применения широкого спектра оборудования [8]. Ключевую роль в этом процессе играют два типа приборов: электронный тахеометр и GNSS-приёмник, которые при комплексном использовании обеспечивают необходимую точность и надежность измерений на всех этапах строительства [9].

Завершающим этапом геодезического сопровождения явился мониторинг деформационных процессов эксплуатируемых зданий на объекте, включая регулярное определение параметров крена конструкций.

Спутниковые GNSS-приёмники применяются для создания опорной геодезической сети и привязки объекта к государственной системе координат [10]. Измерения на местности велись с использованием двухчастотных спутниковых приемников, работающих в паре [11]. На репере ОМЗ 04610 была неподвижно закреплена базовая станция, а второй прибор (ровер) перемещался по контрольным точкам [12]. Сами наблюдения выполнялись в режиме реального времени – по технологии RTK (кинематический метод с относительным позиционированием). Обработка данных выполнялась с применением отечественного программного продукта ТИМ КРЕДО ГНСС, позволившего определить параметры трансформации для определения высот точек в местной системе, а для перехода из системы координат WGS-84 к МСК-23 использовалась программа, выполняющая расчет параметров перехода на основе ГОСТ 32453-2017.

В качестве оборудования выступал приемник Sokkia GCX2, а вся первичная информация фиксировалась и сохранялась через подключённый контроллер. Принимая эти данные, ровер в реальном времени производил вычисления и фиксировал дифференциальные приращения координат для каждой исследуемой позиции относительно базы – весь цикл занимал в среднем не более 10 секунд.

Калибровочные процедуры для спутниковых измерений проводились в разрезе отдельных векторов (результаты калибровки пунктов представлены в таблице 2).

В ходе рекогносцировки найдены и обследованы 5 пунктов опорно-межевой сети (рис. 2).

За опорный геодезический пункт выбран пункт триангуляции ОМЗ 04610. От этого репера была развернута локальная сеть из семи постоянных знаков, закрепленных на местности для последующего переноса проектных осей зданий в натуру. Глубина заложения каждого из них составила 1,5 м – это значение выбрано с учетом положений действующих строительных регламентов, что обеспечивает долговременную сохранность и неподвижность знаков. По итогам закладки на каждый пункт оформлены карточки привязки, составлены отдельные ведомости с высотными и плановыми координатами, а также подготовлены абрисы, на основе которых позже были оформлены передаточные акты на построенную планово-высотную основу (рис. 3).

Таблица 2

Результаты калибровки GPS-измерений по векторам

Имя	dN(m)	dE(m)	dHt(m)	СКО в плане(m)	СКО по высоте(m)
ОМЗ 04610 – ОМЗ 070157	-9 521,89	+1 292,44	+46,23	0,010	0,006
ОМЗ 04610 – ОМЗ 8-203	+686,47	+2 691,13	+118,68	0,005	0,002
ОМЗ 04610 – ОМЗ 8-473	-8 205,35	+10 912,69	+88,10	0,008	0,006
ОМЗ 04610 – ОМЗ 046495	-7 139,77	-3 571,31	+75,17	0,009	0,007



Рис. 2. Схема расположения исходных пунктов опорно-межевой сети
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Метод наименьших квадратов, примененный на завершающей стадии обработки, дал координатные определения с нормативной точностью. Переход к проектной системе отсчета реализован в программе Spectrum Survey, куда были загружены уравненные значения. Построение планово-высотного съемочного обоснования осуществлялось в едином технологическом цикле с выполнением топографической съемки местности и последующей камеральной обработкой цифровых материалов средствами программного комплекса AutoCAD Civil 3D.

На последующем этапе работ, после получения уравненных координат пунктов опорной сети, осуществлялась геодезическая разбивка – вынос основных осей зданий в натуру. В качестве нормативно-планировочной основы использовался утвержденный генеральный план застраиваемой территории с нанесенными объектами капитального строительства, линиями градостроительного регулирования (красными линиями) и кадастровыми границами землевладений. Процесс выноса осей сооружения на местность является одной из важнейших операций геодезического обеспечения строительства, определяющей качество и долговечность возводимого объекта.

Точность выноса угловых точек здания ($M_з$) будет зависеть от погрешностей GPS измерений (M_{GPS}) и полярных засечек ($M_{пол}$).

$$M_з^2 = M_{GPS}^2 + M_{пол}^2.$$

Принимая во внимание принцип равного влияния в погрешностях измерений, имеем:

$$\frac{M_{мз}}{\sqrt{2}} = M_{GPS} = M_{пол}.$$

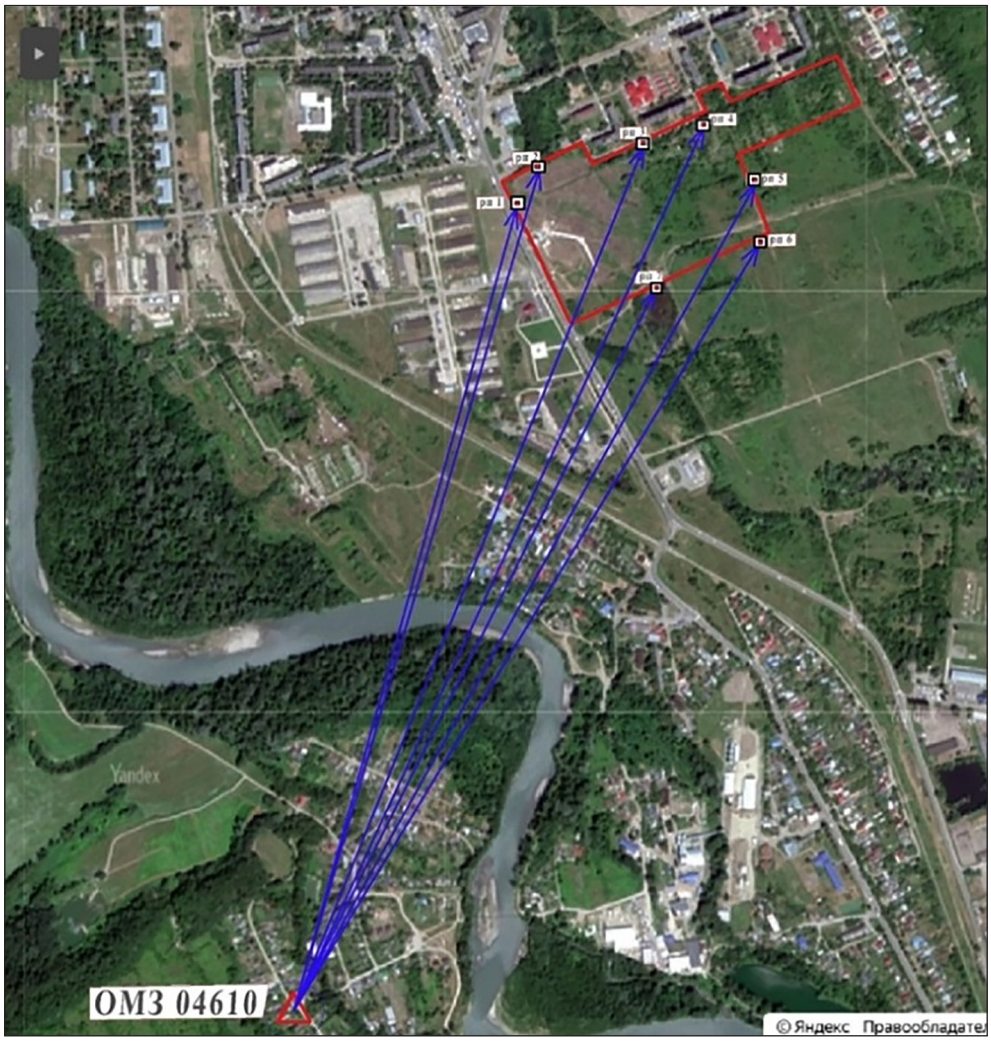


Рис. 3. Схема закладки пунктов разбивочной основы
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Подставив в формулу значение ожидаемой точности перенесения на местность проектных решений, которая по требованию заказчика должна составлять $M_з$ = 0,01 м, получаем значения СКП GPS-измерений и полярной засечки, которые должны быть обеспечены при перенесении проектной границы на местность [13].

$$M_{\text{GPS}} = M_{\text{пол}} = \frac{0,01}{\sqrt{2}} = 0,007 \text{ м} .$$

Руководство Sokkia GCX2 указывает для режима RTK характеристики 10 мм + 1 ppm в плане, а требуемая точность выше характеристик прибора, как следствие, при закладке реперов необходимо будет значительно увеличить время GPS-наблюдений.

Определение необходимой точности измерений при полярной засечке.

Среднюю квадратическую погрешность полярной засечки вычисляют по формуле:

$$M_{\text{пол}}^{\ 2} = m_{s\text{п}}^{\ 2} + \frac{m_{\beta\text{п}}^{\ 2}}{\rho^2} \cdot S_{\text{пол}}^{\ 2},$$

где $m_{s\text{п}}$ – СКП измерения линий полярной засечки; $m_{\beta\text{п}}$ – СКП измерения угла в полярной засечке; $S_{\text{пол}}$ – максимальная длина линии в полярной засечке.

Применив принцип равного влияния для формулы, представленной выше, можно вывести рабочие формулы вычисления необходимой точности измерения, расстояние построения углов для полярной засечки.

$$\frac{M_{\text{пол}}^{\ 2}}{2} = m_{s\text{п}}^{\ 2} = \frac{m_{\beta n}^{\ 2}}{\rho^2} \cdot S_{\text{пол}}^{\ 2}.$$

Откуда

$$m_{sп} = \frac{M_{пол}}{\sqrt{2}}\ ;\ m_{\beta п} = \frac{M_{пол}\cdot\rho}{\sqrt{2}\cdot S}.$$

Заложенные реперы равномерно распределены на строительной площадке, таким образом, максимальное расстояние для выноски углов здания не будет превышать 200 м.

Произведен расчет необходимой точности измерений:

$$m_{sп} = \frac{0,007}{\sqrt{2}} = \pm 0,005 \text{ м};$$

$$m_{\beta п} = \frac{0,007\cdot 206265''}{\sqrt{2}\cdot 200} = \pm 5''.$$

Полученные значения полностью соответствуют техническим характеристикам тахеометров, применение высокоточного оборудования не требуется.

Для жилого комплекса «Предгорье-Лагонаки», расположенного в условиях сложного рельефа, высокой сейсмической активности и карстовой опасности, точность выполнения данной операции приобретает особое значение. В процессе строительства многоквартирного дома выполняется последовательный вынос осей здания на каждом этапе возведения конструкций. Это включает разметку мест для фундаментов, колонн, несущих стен и других элементов здания. Для жилого комплекса «Предгорье-Лагонаки», где строительство ведется с опережением графика, оперативность и точность выноса осей приобретают особое значение [14; 15]. В качестве основного инструмента для выноса осей использовался электронный тахеометр Sokkia iM-55, который благодаря своим техническим характеристикам и возможностям интеграции со спутниковыми технологиями обеспечил выполнение работ с требуемой точностью.

Вынесенные оси зданий по акту выполненных работ были предоставлены заказчику.

Одной из ключевых задач геодезического сопровождения являлся контроль соответствия высотных отметок элементов здания проектным значениям. Особое внимание уделяется отметкам перекрытий, уровню полов и другим ответственным конструкциям. Периодически в процессе строительства выполнялась исполнительная съемка смонтированных конструкций. Перепад высот на строительной площадке достигал значительных величин, что требовало использования специальных методов при топографической съемке и выносе осей.

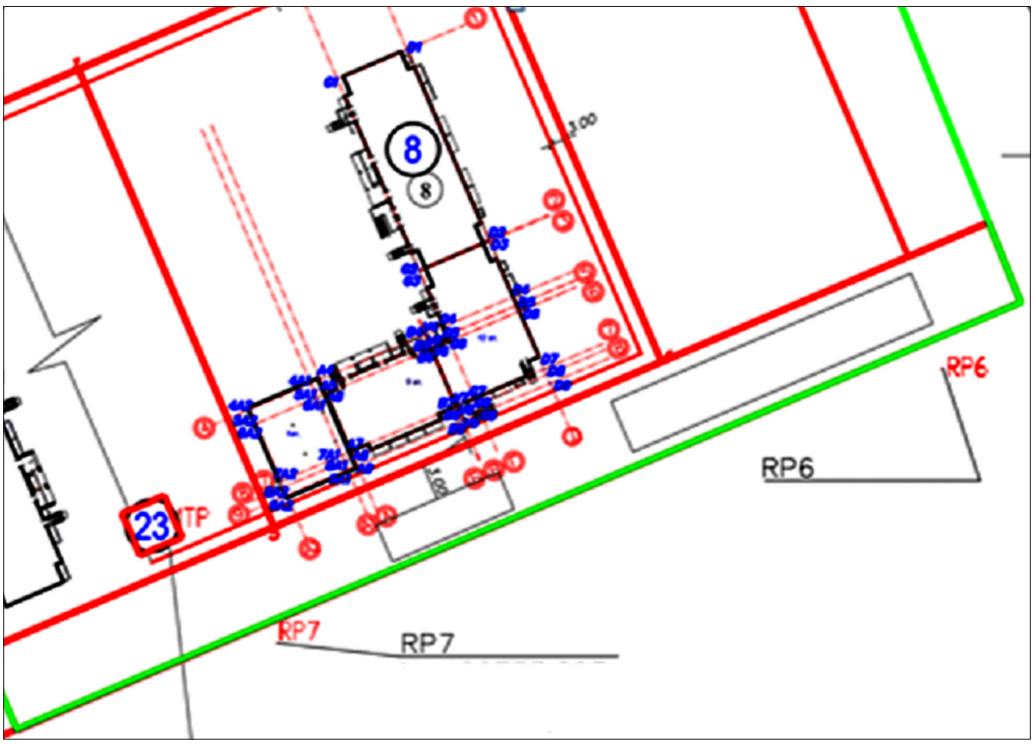


Рис. 4. Вынесенные в натуру точки запроектированного здания
Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Практическим результатом геодезического сопровождения стало строительство жилья для социально незащищенных категорий граждан. В домах ЖК «Предгорье-Лагонаки» уже получили квартиры 30 детей-сирот в 2024 году, а в 2025 году ключи от новых квартир вручены 51 участнику программы обеспечения жильем детей-сирот. Всего в рамках государственной программы в 2024–2025 годах планируется обеспечивать жильем 150 детей-сирот ежегодно. Высокоточное геодезическое сопровождение строительства гарантирует качество и безопасность передаваемого жилья.

Заключение

Анализ данных полевых изысканий, приведенных в таблице 2 с нормативными рекомендациями, такими как Приказ Росреестра от 23.10.2020 № П/0393, показал, что точность определения координат характерных точек контура здания составляет 0,01 м, для объектов в границах населенных пунктов, согласно данному требованию выполняется и СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» для высотной разбивочной основы, от которой ведётся строительство, предельная погрешность взаимного положения смежных реперов не должна превышать ±2 мм, оба требования выполняются, что служит подтверждением качества выполнения работ.

Интеграция современных геодезических технологий при строительстве в предгорных условиях, основанная на совместном применении GNSS-измерений в режиме реального времени (RTK) и электронного тахеометра, обеспечивает оперативный перенос плановых координат на монтажные горизонты с точностью до 3 мм. Эффективность предложенной схемы подтверждена экспериментальными исследованиями.

Установлены количественные зависимости между геометрическими параметрами строительной площадки (перепад высот, конфигурация рельефа) и необходимым набором геодезических методов для обеспечения проектной точности возводимых конструкций. Выявлено, что для условий ЖК «Предгорье-Лагонаки» критическое значение имеет точность выноса основных осей на начальных этапах строительства, поскольку накопление погрешностей при переносе на высотные отметки может превысить допустимые нормы.

Обоснована целесообразность внедрения автоматизированных систем геодезического мониторинга деформаций конструкций на этапе эксплуатации здания, что обусловлено сейсмической активностью региона и возможностью тектонических подвижек. В отличие от стандартных подходов, ориентированных на контроль в процессе строительства, предлагается создание постоянно действующей геодезической сети для отслеживания осадок и кренов здания в течение всего срока эксплуатации. Полученные результаты могут служить основой для разработки региональных рекомендаций по геодезическому обеспечению строительства в сейсмоопасных районах Северного Кавказа.

Список литературы

1. Юферова Н. Ю., Зеленков Д. С. Инженерно-геодезические изыскания в строительстве // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 80-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2024 год (г. Краснодар, 28 марта 2025 г.). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2025. С. 189-191. EDN: GIOKCF.

2. Караман О. В., Логачев Д. С. Цифровые технологии мониторинга и импортозамещение программного обеспечения в геодезическом обеспечении строительства // Альманах Крым. 2026. № 55. С. 187-194. EDN: NKFRYM.

3. Пшидаток С. К., Турк Г. Г., Жарникова А. А., Лавренина Е. А. Геодезические изыскания при проектировании и прокладке нефтепровода // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 11-13(79). С. 82-86. EDN: WSOVDJ.

4. Подшивалов В. П., Кабацкий А. В. Выбор проекции для картографо-геодезического обеспечения строительства линейных сооружений // Геоматика: образование, теория и практика : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию факультета географии и геоинформатики БГУ (г. Минск, 20–22 ноября 2019 г.). Минск: Белорусский государственный университет, 2019. С. 19-22. EDN: CSOWRM.

5. СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр).

6. Никифорова З. В., Койшегулов А. С. Инженерно-геодезическое обеспечение строительства в настоящие время // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы II Национальной научно-практической конференции (г. Астрахань, 07 февраля 2019 г.). Астрахань: Информационно-издательский центр, 2019. С. 360-362. EDN: ABJYUL.

7. Бегеретова М. А., Подтелков В. В. Проведение геодезических работ в рамках реконструкции линейного объекта // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений: Сборник статей по материалам I Международной научно-практической конференции, посвященной 179-й годовщине образования Землеустроительной службы Кубани и 30-летию кафедры землеустройства и земельного кадастра Кубанского ГАУ (г. Краснодар, 22 апреля 2026 г.). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2026. С. 83-89. EDN: NUIFEX.

8. Турк Г. Г., Блиновских А. С., Новоселов Р. В. Виды геодезических приборов и их применение в сельском хозяйстве // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86-8. С. 26-28. DOI: 10.18411/trnio-06-2022-355.

9. Ознамец В. В., Цветков В. Я. Геодезическое обеспечение строительства // Славянский форум. 2019. № 2(24). С. 137-141. EDN: ODSTWO.

10. Пшидаток С. К., Солодунов А. А., Хачирова В. Р. Общие сведения о преимуществах работы ГНСС-технологий // Экономика и предпринимательство. 2022. № 8(145). С. 1298-1303. DOI: 10.34925/EIP.2022.145.8.268.

11. Новикова Е. Н., Разгоняев С. В. Геодезические работы при отводе земельного участка под объект капитального строительства // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 79-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2023 год. (г. Краснодар, 25 апреля 2024 г.). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2024. С. 591-592. EDN: GEJUHV.

12. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Перов А. Ю., Ковалева А. А. Анализ рынка фирм по продаже геодезического оборудования // Научные труды КубГТУ. 2016. № 15. С. 357-370. EDN: XRVJQD.

13. Солодунов А. А., Гурский И. Н., Пшидаток С. К. Оценка точности выполнения геодезических работ при закладке коллекции виноградников на территории Учебно-опытного хозяйства «Кубань» // Успехи современного естествознания. 2025. № 10. С. 57-64. DOI: 10.17513/use.38443.

14. Харитонова Т. Б., Акиньшин С. И., Казарина А. В. Современное геодезическое обеспечение строительства зданий и сооружений // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. 2025. № 2(8). С. 119-124. EDN: SZKEOT.

15. Свод правил СП 126.13330.2017 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 октября 2017 г. N 1469/пр) (с изменениями и дополнениями).

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 630*111(571.5)
DOI 10.17513/use.38560

CC BY 4.0

АНАЛИЗ АДАПТАЦИИ ИНТРОДУЦЕНТОВ К ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ БРАТСКА

Аношкина Л. В. ORCID ID 0000-0001-9738-7210
Рунова Е. М. ORCID ID 0000-0001-6178-4038

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», Братск, Российская Федерация, e-mail: runova0710@mail.ru

Целью исследования является анализ зимостойкости и адаптационного потенциала некоторых видов древесных интродуцентов, произрастающих в дендрарии Братского государственного университета, относящихся к 3-5 зонам морозостойкости по шкале USDA. Город Братск относится к 3 зоне морозостойкости по шкале USDA, с диапазоном температур от -40,0 до -34,4 °С. За основу исследования морозоустойчивости взята методика М. М. Тюриной и Г. А. Гоголевой, согласно которой определялась способность растений противостоять низким температурам и неблагоприятным условиям зимнего периода. Оценка проводилась по I-II компонентам, диапазон температур -20, -30, -40 °С моделировался в камере искусственного климата MKF-240. В начале вегетационного периода 2026 года выполнялась глазомерная оценка обмерзания побегов с использованием методики П. И. Лапина, С. В. Сидневой. В результате проведенных исследований установлено, что липа мелколистная, орех маньчжурский, черемуха Маака, отнесенные к 3 зоне морозостойкости, обладают хорошими показателями зимостойкости, средний балл – 0,23 и морозоустойчивости – 0,26, и могут быть широко использованы в городском зеленом строительстве в условиях Восточной Сибири. Клен остролистный, дуб монгольский, дуб черешчатый, ясень маньчжурский, со средними баллами зимостойкости и морозоустойчивости – 0,49 и 0,28 соответственно, требуют более бережного ухода из-за уязвимости к суровым морозам, тем не менее они могут быть использованы в качестве дополнительного ассортимента для обогащения видового состава. Более теплолюбивые виды интродуцентов, относящихся к 4 и 5 зонам морозостойкости, средний балл зимостойкости которых составляет 0,81, морозоустойчивости – 1,43, требуют дальнейшего исследования их адаптивного потенциала в регионе с суровыми климатическими условиями. В дальнейшем они могут точечно применяться в городском озеленении для повышения эстетической привлекательности ландшафта при условии обеспечения соответствующих агротехнических мероприятий.

Ключевые слова: г. Братск, древесные интродуценты, искусственное промораживание, зимостойкость, морозостойкость

ANALYSIS OF THE ADAPTATION OF INTRODUCED SPECIES TO THE NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA, USING BRATSK AS AN EXAMPLE

Anoshkina L. V. ORCID ID 0000-0001-9738-7210,
Runova E. M. ORCID ID 0000-0001-6178-4038

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bratsk State University", Bratsk, Russian Federation, e-mail: runova0710@mail.ru

The purpose of this study is to analyze the winter hardiness and adaptive potential of certain introduced woody plant species growing in the arboretum of Bratsk State University, which fall within USDA hardiness zones 3–5. The city of Bratsk is located in USDA hardiness zone 3, with a temperature range of -40.0°C to -34.4°C. The assessment of frost resistance is based on the methodology developed by M. M. Tyurina and G. A. Gogoleva, which evaluates the ability of plants to withstand low temperatures and adverse winter conditions. The evaluation focused on the first and second components of frost resistance, with temperature conditions of -20°C, -30°C, and -40°C simulated using an MKF-240 climate chamber. At the beginning of the 2026 growing season, a visual assessment of shoot frost damage was conducted using the methodology developed by P.I. Lapin and S.V. Sidneva. The research findings indicate that the small-leaved linden (*Tilia cordata*), Manchurian walnut (*Juglans mandshurica*), and Maack's bird cherry (*Prunus maackii*)-all classified under hardiness zone 3-exhibit high levels of winter hardiness (with an average score of 0.23) and frost resistance (an average score of 0.26). Consequently, these species are well-suited for extensive use in urban landscaping and green space development within the conditions of Eastern Siberia. Norway maple, Mongolian oak, English oak, and Manchurian ash – with average winter-hardiness and frost-resistance scores of 0.49 and 0.28, respectively –require more careful maintenance due to their vulnerability to severe frost; nevertheless, they can be used as an additional selection to enrich the variety of species present. Introduced species that are less cold-hardy – specifically those belonging to hardiness zones 4 and 5, with an average winter-hardiness score of 0.81 and a frost-resistance score of 1.43 –require further study regarding their adaptive potential in a region characterized by harsh climatic conditions. In the future, they could be used selectively in urban landscaping to enhance the aesthetic appeal of the environment, provided that appropriate horticultural management practices are implemented.

Keywords: Bratsk, introduced woody plants, artificial freezing, winter hardiness, frost resistance

Введение

Введение новых видов древесных растений в северные широты вносит вклад в решение проблемы увеличения биоразнообразия в регионе [1]. Без интродуцентов, отличающихся декоративностью и оригинальностью форм, представить себе зеленые насаждения городов невозможно [2; 3]. Однако условия интродукции всегда являются стрессовыми для растений, потребности, свойственные им в условиях естественного ареала, изменяются [3-5]. Эффективное решение проблемы интродукции древесных растений в северные территории – метод их ступенчатой поэтапной акклиматизации в городских условиях [5]. На начальных этапах интродукции следует установить возможность произрастания того или иного вида древесных растений в условиях почвенно-климатических особенностей региона и отбирать наиболее устойчивые и перспективные виды. На следующем этапе происходит внедрение интродуцированных растений в городскую среду с наблюдением за их ростом и развитием [6-8].

Наиболее часто лимитирующим фактором для широкого использования древесных интродуцентов являются суровые природно-климатические условия Восточной Сибири, в том числе такие, как низкие температуры в зимний период, сравнительно короткий вегетационный период, ранние осенние и поздние весенние заморозки. Способность переносить их с наименьшими повреждениями определяется зимостойкостью [9; 10].

Целью данной работы является анализ зимостойкости и адаптационного потенциала некоторых интродуцентов, переселенных в г. Братске из регионов с более мягким климатом.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с осени 2025 по весну 2026 года на опытном участке по выращиванию интродуцентов, расположенном на территории Братского государственного университета. Для исследований были отобраны древесные виды растений инорайонного происхождения, относящиеся к различным зонам морозостойкости по шкале USDA (к 3 зоне относятся растения, выдерживающие понижение температуры воздуха до -40 °С, к 4 зоне – до -34,4 °С, к 5 зоне – до -28,9 °С).

В группу видов, относящихся к 3 зоне, вошли следующие растения: бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), снежноягодник Доренбоза «Мэджик Берри» (*Symphoricarpos x doorenbosii «Magic Berry»*), тополь белый (*Populus alba* L), черемуха Маака (*Prunus maackii* Rupr). Древесные растения, характерные для 4 зоны морозостойкости: гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata* Siebold), дуб монгольский (*Quercus mongolica* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), ива ломкая шаровидная «карлик» (*Salix Sharovidny Karlik*), керрия японская (*Kerria japonica* L.), мирикария листохвостная (*Myricaria alopecuroides* Schrenk), стефанандра надрезаннолистная (*Stephanandra incisa* Thunb.), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.). Интродуценты, относящиеся к 5 зоне морозостойкости: айва японская (*Chaenomeles japonica* Thunb.), кизильник горизонтальный (*Cotoneaster horizontalis* Decne), скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria* Scop), форзиция промежуточная (*Forsythia intermedia* Zabel).

Выполнялась оценка зимостойкости и морозоустойчивости перечисленных выше интродуцентов. За основу взята методика М. М. Тюриной и Г. А. Гоголевой, согласно которой определялась способность растений противостоять низким температурам и неблагоприятным условиям зимнего периода [11]. Поперечные срезы однолетних побегов были сделаны после первых осенних заморозков при температуре воздуха – 8 °С, затем выполнялось промораживание образцов в камере искусственного климата MKF-240 при температурах -20, -30, -40 °С, фиксировались повреждения анатомических частей побегов: перидермы, флоэмы, камбия, ксилемы и сердцевины. Оценка повреждения растений проводилась с помощью микроскопа «Микмед-5», площади поврежденных участков вычислялись с использованием системы автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». Степень повреждений оценивалась по пятибалльной шкале: 0 баллов – повреждения отсутствуют; 1 балл – 20% повреждений; 2 балла – 40%; 3 балла – 60%; 4 балла – 80%; 5 баллов –100% повреждений (ткани погибли) [12]. Всего, согласно данной методике, было исследовано 60 образцов, по 3 образца каждого вида растений.

В начале вегетационного периода 2026 года выполнялась глазомерная оценка обмерзания побегов с использованием методики П. И. Лапина, С. В. Сидневой

[13]. Для удобства сопоставления полученных результатов показатели переведены в единую систему баллов в зависимости от степени повреждения кроны, в процентах: I – повреждения отсутствуют – 0 баллов; II – повреждения составляют не более 15% – 1 балл; III – повреждений до 30% – 2 балла; IV – до 45% – 3 балла; до 60% – 4 балла; V – до 75% – 5 баллов; VI – до 90% – 6 баллов; VII – 100% – 7 баллов. При оценке зимостойкости также учитывался возраст древесных растений.

Зимостойкость является одним из основных биологических признаков, определяющих возможность интродукции растений в северные территории. Под зимостойкостью понимают устойчивость растений к длительным отрицательным температурам, а под морозоустойчивостью – способность переносить резкие понижения температуры ниже –25 °С [12-15].

Результаты исследования и их обсуждение

Город Братск относится к 3 зоне морозостойкости по шкале USDA, с диапазоном температур от -40,0 до -34,4 °С. Климат резко континентальный, характеризуется значительным колебанием годовых и суточных температур. Зима 2025-2026 года стала одной из самых морозных и многоснежных за более чем десятилетний период испытания древесных интродуцентов. Так, для сравнения, средняя температура воздуха в январе 2015-2025 гг. составляла минус 18,7 °С, а в 2026 г. – минус 24,6 °С, средняя высота снежного покрова 29,58 и 36,70 см соответственно. Температура воздуха с середины апреля по середину мая 2026 г., когда у растений начинают активироваться биологические процессы, также оказалась ниже наблюдаемого десятилетнего периода на 2,74 °С. На рис. 1 представлены графики, характеризующие климатические особенности холодного сезона 2015-2025 гг. и периода с сентября 2025 по май 2026 г.

Результаты испытания морозоустойчивости интродуцентов в климатической камере представлены в таблице 1. Меньшее количество повреждений при испытании по I и II компонентам наблюдается у растений, которые по описаниям относятся к 3 зоне морозостойкости по шкале USDA: липа мелколистная, орех маньчжурский, черемуха Маака, а также более теплолюбивых, отнесенных к 4 зоне: дуб монгольский, дуб черешчатый, ясень маньчжурский.

Следует отметить, что вышеперечисленные интродуценты были высажены в 2015-2018 гг., следовательно, прошли начальную фазу акклиматизации. Посадки тополя белого, снежноягодника Доренбоза «Мэджик Берри», относящихся к 3 зоне морозостойкости, проводились в 2024 году, саженцы более уязвимы к экстремальным морозам. Из растений, относящихся к 5 зоне, лучшие свойства морозостойкости наблюдаются у форзиции промежуточной, возраст которой составляет более 10 лет. Возраст растений является одним из основных факторов, определяющих их устойчивость к низким температурам. На начальных стадиях онтогенеза интродуценты более чувствительны к новым условиям, так как их побеги не всегда успевают одревеснеть до наступления морозов.

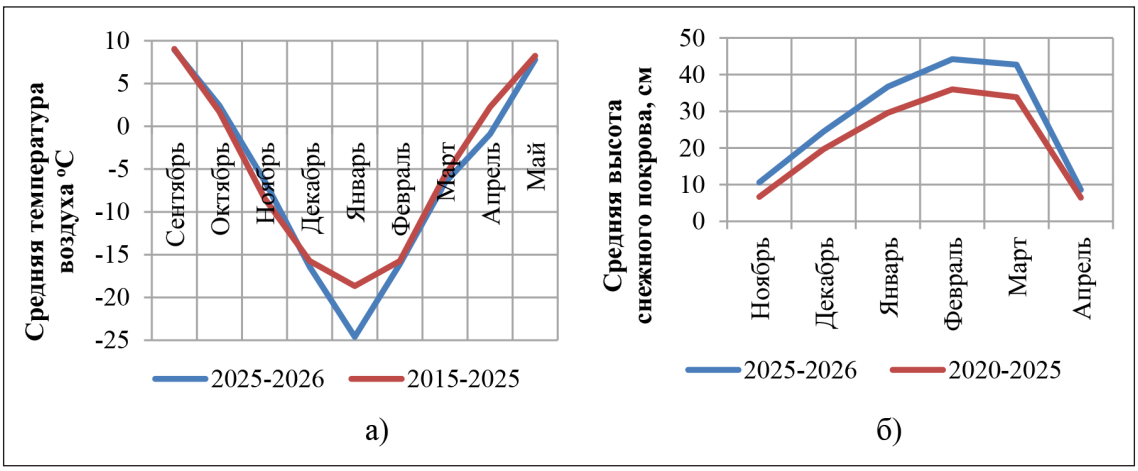


Рис. 1. Характеристика климатических особенностей г. Братска за 2015-2026 гг.: а) среднесуточная температура воздуха; б) средняя высота снежного покрова
Примечание: графики составлены авторами на основании данных сайта «Погода и климат»

Таблица 1

Морозоустойчивость исследуемых интродуцентов

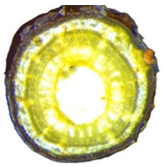
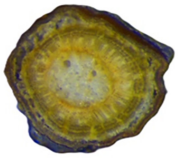
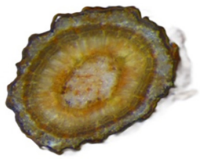
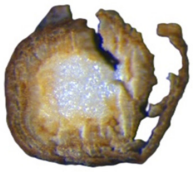
Вид растения	Повреждения при испытании устойчивости к ранним морозам, %	Повреждения при испытании максимальной морозоустойчивости в закаленном состоянии, %			Балл морозостойкости
		- 20 °C	- 30 °C	- 40 °C	
3 зона морозостойкости					
Бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.)	1,00±3,78	14,67±3,69	15,15±2,36	22,86±1,65	0,39
Клен остролистный (*Acer platanoides* L.)	3,92±2,34	10,78±3,52	14,51±1,69	17,18±1,85	0,37
Липа мелколистная (*Tilia cordata* L.)	0,47±1,29	5,03±0,86	5,41±0,96	6,33±0,32	0,14
Орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.)	1,00±4,62	5,86±3,96	14,70±3,28	14,73±2,20	0,31
Снежноягодник (*Symphoricarpos x doorenbosii «*Magic Berry»)	25,03±5,45	34,44±3,63	42,07±1,29	49,00±1,54	1,27
Тополь белый (*Populus alba* L.)	16,06±1,55	14,65±1,35	22,30±0,62	26,80±0,85	0,68
Черемуха Маака (*Prunus maackii* Rupr).	1,76±3,98	12,40±4,52	11,75±2,36	21,43±2,62	0,32
4 зона морозостойкости					
Гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata* Siebold)	10,92±6,98	17,00±6,54	24,69±5,63	34,12±6,12	0,66
Дуб монгольский (*Quercus mongolica* L.)	0,05±0,26	1,21±0,75	9,94±0,54	18,41±0,08	0,14
Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.)	3,79±1,22	3,83±1,30	3,59±0,50	8,88±0,35	0,24
Ива шаровидная (*Salix Sharovidny Karlik*)	7,14±5,62	11,70±4,31	17,24±4,54	29,80±3,18	0,45
Керрия японская (*Kerria japonica* L.)	6,64±5,20	8,85±4,28	13,49±4,23	15,78±2,30	0,36
Мирикария листохвостная (*Myricaria alopecuroides* Schrenk)	7,36±6,28	13,81±9,24	18,26±8,78	29,47±6,27	0,49
Стефанандра надрезаннолистная (*Stephanandra incisa* Thunb.)	6,08±10,65	9,02±8,54	13,92±6,38	28,55±2,33	0,36
Ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)	3,84±5,67	17,02±4,21	6,17±2,30	14,80±0,74	0,34
Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.)	15,89±2,35	8,93±2,88	4,45±1,28	37,75±0,86	0,37
5 зона морозостойкости					
Айва японская (*Chaenomeles japonica* Thunb.)	14,57±9,63	23,96±6,58	27,66±7,45	24,22±4,50	0,95
Кизильник горизонтальный (*Cotoneaster horizontalis* Decne)	12,58±10,45	19,78±8,75	27,80±8,05	33,60±5,62	1,01
Скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria* Scop)	10,42±5,52	8,39±4,85	12,81±6,37	19,93±4,80	0,76
Форзиция промежуточная (*Forsythia intermedia* Zabel)	9,58±4,58	11,18±4,20	19,59±3,80	19,42±1,25	0,50

Примечание: составлено по результатам исследований авторов.

В таблице 2 представлены примеры образцов поперечных срезов однолетних побегов древесных интродуцентов 3 зоны морозостойкости разного возраста. После воздействия ранних морозов в естественной среде у липы мелколистной наблюдается незначительное повреждение перидермы – 2,36%.

Таблица 2

Образцы срезов однолетних побегов

Вид растения	Повреждения ранними морозами в естественной среде -8 °С	Повреждения при промораживании в лабораторных условиях		
		-20 °С	-30 °С	-40 °С
Липа мелколистная, год посадки 2015				
Тополь белый, год посадки 2024				

Примечание: составлено авторами по результатам исследований.

Таблица 3

Зимостойкость исследуемых интродуцентов

Вид растения	Повреждения однолетних побегов в начале вегетации, %	Балл зимостойкости
3 зона морозостойкости		
Бархат амурский	13,5±12,65	0,92
Клен остролистный	8,24±9,24	0,58
Липа мелколистная	2,23±4,51	0,16
Орех маньчжурский	3,31±8,50	0,23
Снежноягодник	11,12±10,32	0,78
Тополь белый	15,95±7,83	1,12
Черемуха Маака	4,1±3,69	0,29
4 зона морозостойкости		
Гортензия метельчатая	63,33±12,54	4,43
Дуб монгольский	6,40±5,96	0,45
Дуб черешчатый	7,05±4,20	0,49
Ива шаровидная	55,52±15,30	3,89
Керрия японская	70,24±16,57	4,92
Мирикария листохвостная	54,68±12,75	3,83
Стефанандра надрезаннолистная	45,63±9,28	3,19
Ясень маньчжурский	7,25±3,62	0,45
Ясень обыкновенный	7,48±2,10	0,49
5 зона морозостойкости		
Айва японская	34,79±15,26	1,74
Кизильник горизонтальный	49,33±18,20	1,37
Скумпия кожевенная	26,87±8,42	1,34
Форзиция промежуточная	25,60±7,31	1,28

Примечание: составлено авторами по результатам исследований.

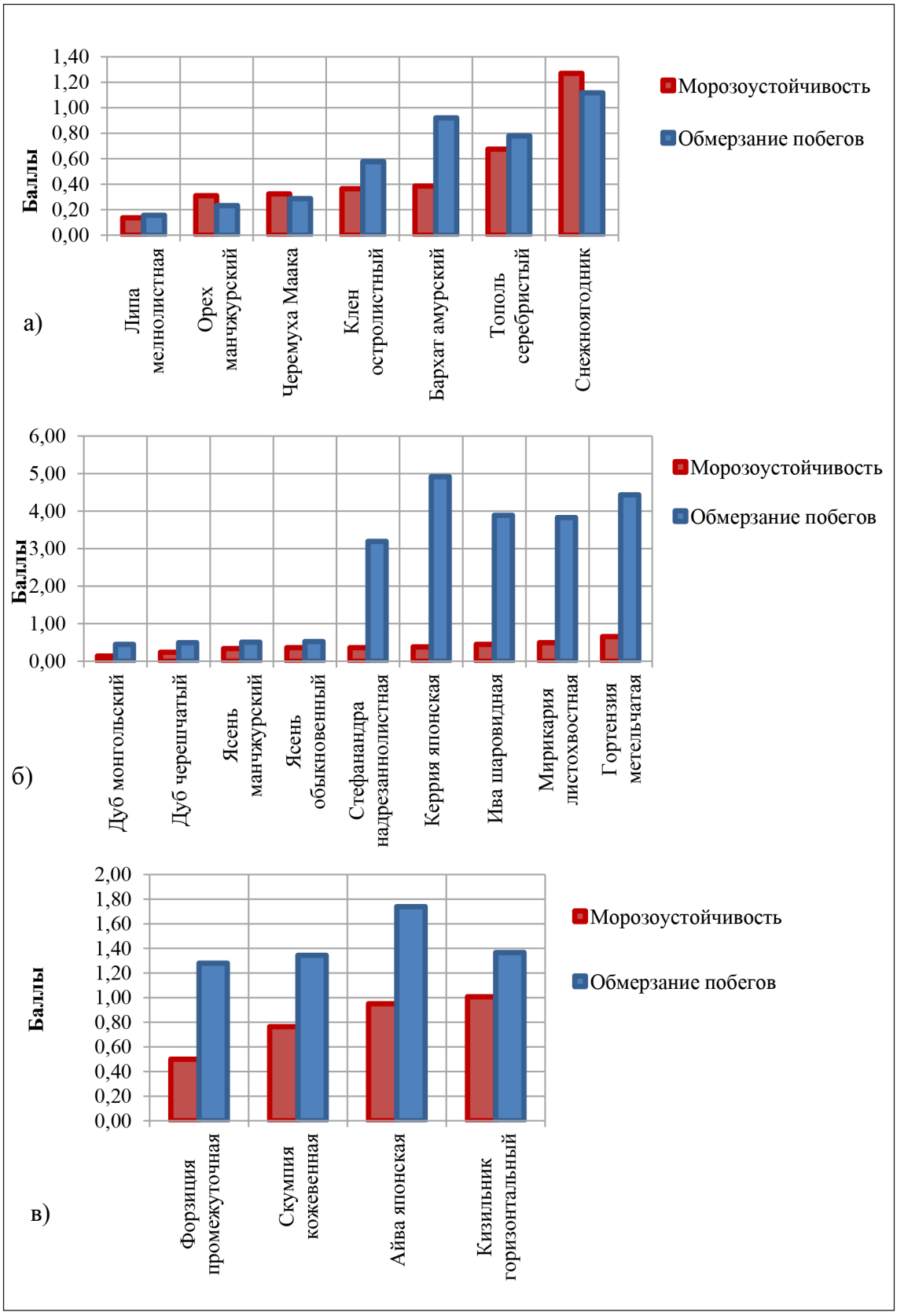


Рис. 2. Сравнение зимостойкости и морозоустойчивости интродуцентов: а) 3 зоны; б) 4 зоны; в) 5 зоны морозоустойчивости
Примечание: составлено авторами по результатам исследований

При понижении температуры воздуха в климатической камере площадь пораженных участков увеличивается. Так, при воздействии температуры -20 °С наблюдается повреждение флоэмы на 2,35%, при температуре -30 и -40 °С обнаружены повреждения ксилемы – 2,5 и 3,35%, и сердцевины – 1,52 и 2,3% соответственно. Камбий при воздействии низких температур сохраняется, что является главным фактором, определяющим способность растения к дальнейшему приросту и восстановлению утраченных проводящих тканей.

Иная картина наблюдается у молодых саженцев тополя белого. Поражение перидермы прослеживается на всех этапах эксперимента от 31,67 до 60,33%, основная транспортная ткань – флоэма испытывает разрушительные воздействия низких температур, с повреждениями от 12,04 до 26,64%, поражение камбия также отмечается на протяжении всего исследования от 4,32 до 21,35%. Площади поврежденных участков ксилемы составляют в среднем 19,77%, сердцевины – 12,5%.

Более информативным показателем успешной интродукции является зимостойкость, которая учитывает не только устойчивость к низким температурам, но и воздействие других неблагоприятных климатических факторов: резких перепадов температур, похолодания после весенних оттепелей. Весна 2026 года была достаточно холодной, весенних оттепелей практически не наблюдалось. Среднесуточная температура воздуха перешла через нулевую отметку в сторону плюсовых значений только в конце апреля. В начале вегетационного периода проведен анализ обмерзания побегов дендроинтродуцентов, данные представлены в таблице 3.

На основании весенних наблюдений об интенсивности обмерзания побегов и показателей морозостойкости, полученных в результате полевых и лабораторных испытаний, были построены графики соответствующих зависимостей (рис. 2), а также вычислены коэффициенты корреляции между данными признаками.

Достаточно тесная статистическая связь прослеживается у растений 3 зоны морозостойкости R=0,84, исключением можно считать бархат амурский, побеги которого при достаточно высокой устойчивости к низким температурам, подвержены сильному обмерзанию весной.

У интродуцентов, относящихся к 4 зоне морозостойкости, коэффициент корреляции составляет 0,73. В данной группе достаточно много молодых растений, которые при хороших показателях морозостойкости оказались более чувствительными к неблагоприятным факторам весеннего периода. Растения возрастом более 10 лет: дуб монгольский, дуб черешчатый, прошедшие стадию первичной акклиматизации, демонстрируют достаточно хорошую зимостойкость.

Практически все теплолюбивые интродуценты 5 зоны морозостойкости сильно обмерзают R=0,58. Взрослые экземпляры форзиции промежуточной, высаженные в 2015 году, лучше адаптированы к новым условиям произрастания, чем молодые саженцы. Кизильник горизонтальный, несмотря на низкие показатели морозостойкости, от зимних морозов пострадал незначительно, так как оказался полностью скрыт снежным покровом, защитившим его от вымерзания.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы и предложить мероприятия по использованию интродуцентов в городском озеленении:

- такие инорайонные виды, как липа мелколистная, орех маньчжурский, черемуха Маака, отнесенные к 3 зоне морозостойкости, обладают хорошими показателями зимостойкости и морозоустойчивости. За более чем десятилетний период наблюдений они доказали свою жизнеспособность в суровых сибирских условиях и могут быть широко использованы в городском озеленении;

- клен остролистный, дуб монгольский, дуб черешчатый, ясень маньчжурский требуют более бережного ухода из-за уязвимости к суровым морозам, тем не менее они могут быть использованы в качестве дополнительного ассортимента для обогащения видового состава городских насаждений;

- однолетние побеги молодых саженцев тополя сибирского серебристого (3 зона морозостойкости) достаточно сильно разрушаются при воздействии низких температур и обмерзают весной, это доказывает, что возраст растений является одним из основных факторов успешной акклиматизации. Однако благодаря хорошим биологическим и экологическим свойствам, а также успешной акклиматизации на территории г. Братска единичных взрослых деревьев тополь белый можно считать перспективным для замены старовозрастных посадок тополя бальзамического. Для надежности приживаемости рекомендуется высаживать крупномерные саженцы;

- более теплолюбивые виды интродуцентов, подходящих для 4 и 5 зон морозостойкости, требуют дальнейшего исследования их адаптивного потенциала в регионе с суровыми климатическими условиями. В дальнейшем они могут точечно применяться в городском озеленении для повышения эстетической привлекательности ландшафта при условии обеспечения соответствующих агротехнических мероприятий.

Список литературы

1. Залывская О. С., Бабич Н. А. Интродукция арборифлоры в северные широты: монография. Архангельск: САФУ, 2023. 214 с.

2. Короткова А. А., Коротков С. М., Бунькова Н. П. Дендрологический обзор интродуцированных видов в озеленении лесных парков Екатеринбурга // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4(80). С. 69-75. DOI: 10.48012/1817-5457_2024_4_69-75.

3. Гаранович И. М. Древесные растения в антропогенном ландшафте // Наука и инновации. 2024. № 7(257). С. 61-67. EDN: ULWXFK.

4. Попова В. Т., Дорофеева В. Д., Попова А. А. Оценка перспективности некоторых видов хвойных растений для интродукции в условиях Центрального Черноземья // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2016. № 4. С. 89-97. DOI: 10.21178/2079-6080.2016.4.89.

5. Бабич Н. А, Карбасникова Е. Б., Андронова М.М, Залывская О. С., Александрова Ю. В., Гаевский Н. П. Ступенчатая интродукция видов дендрофлоры в северо-восточную часть русской равнины (обзор) // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 3 С. 73-85 DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-73-85.

6. Сунгурова Н. Р. Успешность интродуцентов в озеленении северных городов // Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках: Материалы XII Международной конференции, приуроченной к 80-летию Ботанического сада Иркутского государственного университета, Иркутск, 17–22 августа 2021 года / Отв. редактор С. В. Сизых. Иркутск: Иркутский государственный университет. 2021. С. 93-96. EDN: BHYIRH.

7. Salmond J. A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbuthnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K. N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment // Environ. Health. 2016; 15 (Suppl 1): 36. Published online. 2016. Mar 8. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6.

8. Рунова. Е. М., Смолина Н. В. Сравнительный анализ видового разнообразия и эстетического потенциала древесно-кустарниковых насаждений г. Братска // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2026. № 2(83). С. 102-110. DOI: 10.34655/bgsha.2026.83.2.012.

9. Карбасникова Е. Б., Карбасников А. А. Адаптация интродуцентов к зимнему периоду в условиях северной агломерации //Хвойные бореальной зоны. XLI. № 6. 2023. С. 479-485. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-479-485.

10. Залывская О. С., Бабич Н. А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 1. С. 105–109.

11. Тюрина М. М., Гоголева Г. А. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений: методические рекомендации. М., 1978. 48 с.

12. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Морозоустойчивость деревьев рода Populus, используемых в озеленении городов Восточной Сибири // Успехи современного естествознания. 2018. № 11 (часть 1) С. 66-71 URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36907 (дата обращения: 04.08.2026).

13. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: Наука, 1973. С. 7–67.

14. Славский В. А., Евлаков П. М. Устойчивость видов орехов рода *Juglans* к понижениям и резким перепадам температуры в Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 2(34). С. 90–95. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/10.

15. Мартынов Л. Г. Ритм сезонного развития и зимостойкость европейских видов древесных растений в подзоне средней тайги Республики Коми // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. № 5. С. 155–159.

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 научного направления ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» «Мониторинг и прогнозирование состояния лесных экосистем и зеленых насаждений при техногенной нагрузке и изменении климата в условиях Сибири».

Financing: The work was carried out within the framework of the scientific direction of the Bratsk State University “Monitoring and forecasting the state of forest ecosystems and green spaces under anthropogenic stress and climate change in Siberia”.