



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 7 2026



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 7 2026



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

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

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

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

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е. Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Корректор

Галенкина Е. С.,
Дудкина Н. А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ISSN 1681-7494

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,976

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,458

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, обл. Пензенская, г. Пенза, ул. Московская, влд. 27

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

31.07.2026

Дата выхода номера

31.08.2026

Формат

60х90 1/8

Усл. печ. л.

9,12

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2026/7

Распространяется по свободной цене

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

Technical editor

Doronkina E. N.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Corrector

Galenkina E. S.,

Dudkina N. A.

EDITORIAL BOARD

D.Sc., C.Sc., Prof. **Aloev V.Z.** (Nalchik); D.Sc., Docent **Andreeva E.S.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent **Anishchenko L.N.** (Bryansk); D.Sc., Prof. **Beisembaev K.M.** (Karaganda); D.Sc., Docent **Belous O.G.** (Sochi); D.Sc., C.Sc. Prof. **Bondarev V.I.** (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. **Gavrishin A.I.** (Novocherkassk); D.Sc., Prof. **Galkin A.F.** (Yakutsk); D.Sc. **Goryanin O.I.** (Samara); D.Sc., Docent **Grigoriev M.F.** (Kemerovo); D.Sc., Prof. **Danilin I.M.** (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. **Dresvyannikov A.F.** (Kazan); D.Sc., Prof. **Zalesov S.V.** (Ekaterinburg); D.Sc., Docent **Zakharchenko A.V.** (Tyumen); D.Sc., Docent **Kopylov I.S.** (Perm); D.Sc., Prof. **Kostylev P.I.** (Zernograd); D.Sc. **Kotsareva N.V.** (Belgorod); D.Sc., Prof. **Larionov M.V.** (Saratov); D.Sc., Prof. **Lerer A.M.** (Rostov-on-Don); D.Sc., C.Sc. Prof. **Lugovskoy A.M.** (Moscow); D.Sc., Prof. **Musaev V.K.** (Moscow); D.Sc. **Nikitin S.N.** (Ulyanovsk); D.Sc., Docent **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

31.07.2026

Number issue date

31.08.2026

Format

60x90 1/8

Conditionally printed sheets

9,12

Circulation

1000 copies

Order

YCE 2026/7

Distribution at a free price

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1 Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬИ

ИСТОРИЯ ИНТРОДУКЦИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

Дабиева У. М.6

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ

Лебедев В. Н., Кондрат С. В., Ураев Г. А.14

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ЗЕРНОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В СИСТЕМЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Ступин А. С.21

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРНОГО УЛУСА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СПЛАВНОГО ТУРИЗМА В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Николаев А. А.28

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ДАТА-ЦЕНТРОВ ПО СТРАНАМ И РЕГИОНАМ МИРА

Пятанов А. В., Семина И. А.38

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

СТАТЬЯ

ПЕТРОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ БАЗИТОВ И УСЛОВИЯ ИХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРШЕЧЕНСКИХ ПЛУТОНОВ

Вахнин В. Д., Базилов Н. С.45

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

СТАТЬИ

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВЕЩЕСТВ И ИХ ОБЪЕМА ДЛЯ ТУШЕНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА

Куринов В. В., Андреева Е. С.59

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ КОМПЛЕКСА ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ РЦ «ОЗОН» В Г. АДЫГЕЙСКЕ

Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Бегеретова М. А.67

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1 General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

THE HISTORY OF THE INTRODUCTION OF CULTIVATED PLANTS
IN THE ANCIENT WORLD

Dabieva U. M.6

FEATURES OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON PLANTS
IN CONDITIONS OF SOIL SALINIZATION

Lebedev V. N., Kondrat S. V., Uraev G. A.14

REVIEW

GRAIN PRODUCTION IN THE RUSSIAN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Stupin A. S.21

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF A GORNY ULUS
FOR ORGANIZING RIVER-FLOATING TOURISM IN SPECIALLY
PROTECTED NATURAL AREAS

Nikolaev A. A.28

ON THE IMPACT OF ENERGY SUPPLY ON THE DEVELOPMENT
OF DATA CENTERS IN COUNTRIES AND REGIONS OF THE WORLD

Pyatanov A. V., Semina I. A.38

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)

ARTICLE

PETROGRAPHY, MINERALOGY, GEOCHEMISTRY OF BASIC ROCKS,
AND CONDITIONS OF THEIR CRYSTALLIZATION: A CASE STUDY
OF THE GORSHECHENSKY PLUTONS

Vakhnin V. D., Bazikov N. S.45

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

ARTICLES

OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF SUBSTANCES AND THEIR
VOLUME FOR EXTINGUISHING UNCONTROLLED COMBUSTION
USING THE METHOD OF DIRECTOINAL EXPLOSION

Kurnosov V. V., Andreeva E. S.59

OPTIMIZATION OF THE LOCATION OF FACILITIES OF A COMPLEX
OF LOCAL SEWAGE TREATMENT PLANTS DEPENDING
ON THE HYDROGEOLOGICAL AND ENGINEERING-GEOLOGICAL
CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION SITE USING THE EXAMPLE
OF THE OZON RC IN ADYGEYSK

Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Begeretova M. A.67

СТАТЬИ

УДК 631/635

DOI 10.17513/use.38530



CC BY 4.0

ИСТОРИЯ ИНТРОДУКЦИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

Дабиева У. М. ORCID ID 0009-0006-9962-5415

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова»,
Улан-Удэ, Российская Федерация, e-mail: yrandabieva@mail.ru*

Целью настоящей работы является воссоздание научно достоверной картины истории интродукции растений в Древнем мире на основе комплексного изучения архивного и библиографического материала. В настоящем исследовании использованы методы научного наблюдения: анализ, описание, объяснение, индукция, дедукция. В статье показано, что интродукция растений стала ключевым этапом неолитической революции и земледелие зародилось на небольшой части Плодородного полумесяца в юго-западной Азии. При этом были окультурены такие основные культуры, как пшеница, ячмень, полба, чечевица, горох и лен. Эти культуры быстро распространились в Европе, Азии и Северной Африке к 7000 г. до н. э., что свидетельствует о тесной связи между развитием аграрного сектора и интродукцией растений. Документальные и археологические свидетельства указывают, что в первых цивилизациях, таких как Шумер, Ассирия, Древний Египет, Китай и Индия, интродукция растений использовалась для развития как аграрного производства, так и садоводства, а также в ритуальных целях. Документальных источников интродукции растений в Древнем Шумере нет, но в более поздних государствах Междуречья, таких как Ассирия и Вавилон, есть свидетельства интродукции. Известны экспедиции древних египтян в другие страны с целью получить растения, которые были необходимы для агрономических и ритуальных целей. Древний Китай развивался в относительной изоляции от других цивилизаций, но через торговлю и культурный обмен с другими странами завозились не только товары, но и семена агрокультур, которые были успешно акклиматизированы. Сельское хозяйство Индии долгое время считалось основанным на местных растениях, но новые исследования показывают, что некоторые культуры могли быть завезены извне. Показаны процессы интродукции в Античной Греции и Риме, при этом возможно, что римские агрономы впервые указывали на важность акклиматизации растений.

Ключевые слова: интродукция, история, культуры, пшеница, полба, ячмень, адаптация, древний мир, археоботанические, исследования, земледелие

THE HISTORY OF THE INTRODUCTION OF CULTIVATED PLANTS IN THE ANCIENT WORLD

Dabieva U. M. ORCID ID 0009-0006-9962-5415

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov”,
Ulan-Ude, Russian Federation, e-mail: yrandabieva@mail.ru*

The purpose of this work is to recreate a scientifically reliable picture of the history of plant introduction in the Ancient World based on a comprehensive study of archival and bibliographic materials. The methods of scientific observation are used in this study: analysis, synthesis, description, explanation, induction, deduction. The article shows that the introduction of plants became a key stage of the Neolithic revolution and agriculture originated in a small part of the Fertile Crescent in Southwest Asia. At the same time, such basic crops as wheat, barley, spelt, lentils, peas and flax were cultivated. These crops spread rapidly in Europe, Asia, and North Africa by 7000 BC, indicating a close relationship between the development of the agricultural sector and plant introduction. Documentary and archaeological evidence indicates that in the first civilizations, such as Sumer, Assyria, Ancient Egypt, China and India, the introduction of plants was used for the development of both agricultural production and horticulture, as well as for ritual purposes. There are no documented sources of plant introduction in Ancient Sumer, but there is evidence of introduction in later Mesopotamian states such as Assyria and Babylon. There are known expeditions of the ancient Egyptians to other countries in order to obtain plants that were necessary for agronomic and ritual purposes. Ancient China developed in relative isolation from other civilizations, but through trade and cultural exchange with other countries, not only goods were imported, but also seeds of agricultural crops that were successfully acclimatized. Agriculture in India has long been considered to be based on native plants, but new research shows that some crops may have been imported from outside. The processes of introduction in Ancient Greece and Rome are shown, and it is possible that Roman agronomists were the first to point out the importance of plant acclimatization.

Keywords: introduction, history, cultures, wheat, spelt, barley, adaptation, ancient world, archeobotanical, research, agriculture

Введение

Происхождение практики, ныне известной как интродукция растений, остается предметом научных дискуссий. Современные исследования указывают на возмож-

ную связь этого процесса с неолитической революцией, когда зародилось земледелие и началось его стремительное распространение по различным регионам мира. В настоящем исследовании автор анализирует

исторические аспекты интродукции растений в Древнем мире, уделяя особое внимание таким культурным центрам, как Шумер, Ассирия, Древний Египет, Древняя Индия, Древний Китай, а также Древняя Греция и Древний Рим.

Цель исследования – воссоздание научно достоверной картины истории интродукции растений в Древнем мире на основе комплексного изучения архивного и библиографического материала.

Материалы и методы исследования

Методы научного наблюдения: анализ, описание, объяснение, индукция, дедукция. При исследовании использована информация интегрированной археологической базы данных (IADB). Проанализировано более 35 источников, но наиболее актуальными оказались 24 из них, которые указаны в списке литературы. Настоящая работа основана на современных принципах подготовки современных обзоров по протоколу PRISMA [1]. Критериями отбора анализируемой по теме исследования литературы явились: релевантность, актуальность, надежность и достоверность, научная достоверность и новизна. В целях проверки исторических свидетельств использованы: принцип объективности, принцип историзма, принцип всесторонности, принцип системности и принцип критического анализа источников. Типы доказательств разделены на археоботанические данные, письменные источники, легендарные сообщения, современные генетические исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

По мнению Н. А. Базиловской, точное время появления интродукции растений неизвестно, но скорее всего, она началась еще на заре человеческой цивилизации, когда человек понял, что съедобные растения можно не только собирать, но и выращивать, используя при этом их семена, которые в некоторых случаях завозились издавна [2, с. 3]. Процесс интродукции растений непосредственно связан с их окультуриванием, что является значимым этапом в истории человечества, известным как неолитическая революция, который произошел приблизительно 10 тыс. лет назад.

Эти изменения характеризовались переходом от образа жизни охотников-собирателей к оседлому земледелию, которое впервые произошло в юго-западной Азии на территории Леванта и Плодородного по-

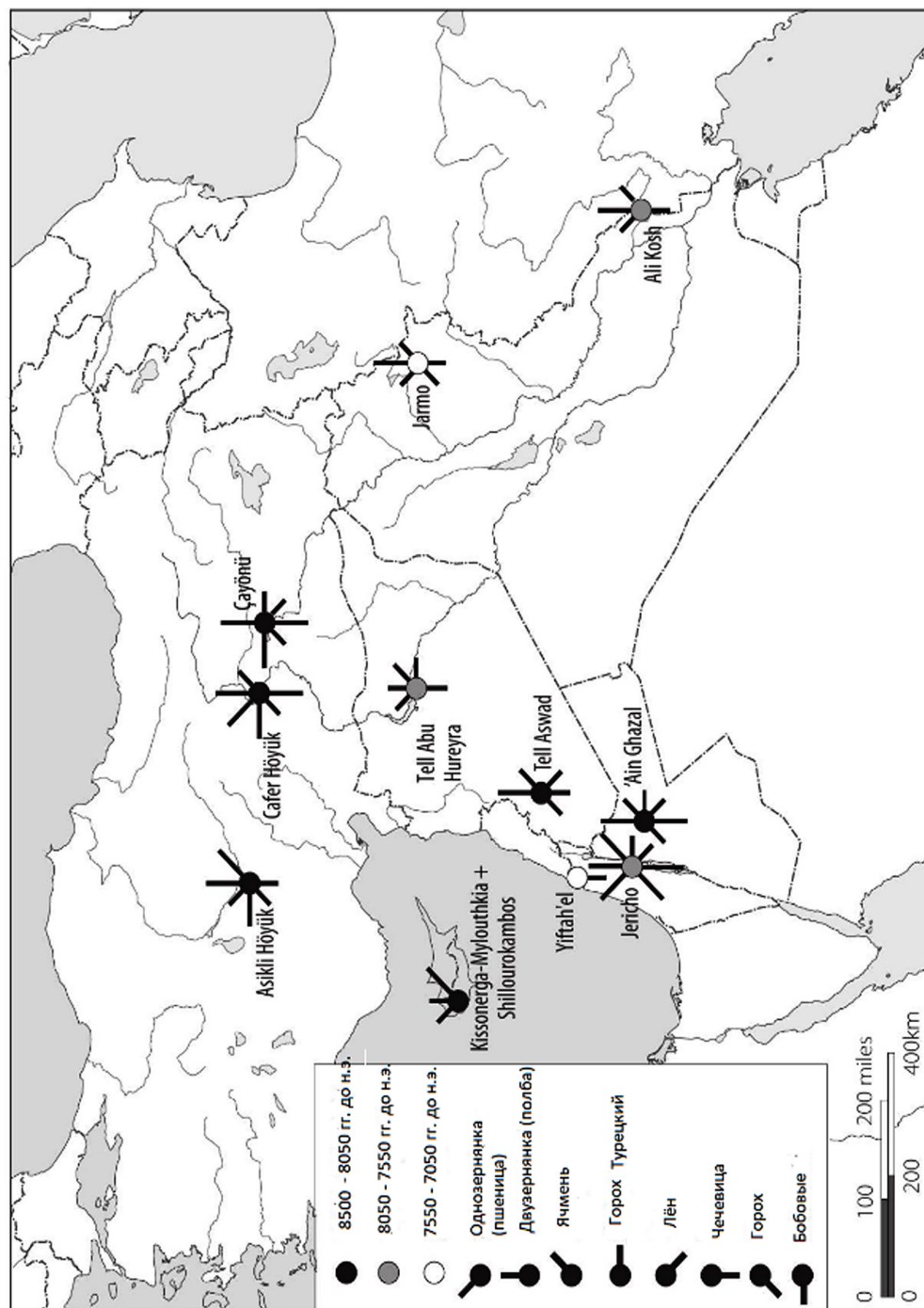
лумесца¹. Современные археоботанические данные и генетические исследования сельскохозяйственных культур указывают, что именно здесь люди окультурили шесть основных культур: пшеницу, ячмень, полбу, чечевицу, горох и лен, которые стали основой земледелия для неолитических хозяйств и в дальнейшем получили широкое распространение в Европе и Азии. По мнению известных ученых Д. Зохари, М. Хопф и В. Эхуда, относительно быстрое распространение модели неолитического земледелия: сформировавшись около 8500 лет до н. э. на небольшой части Плодородного Полумесца, примерно через тысячу лет неолитические оседлые хозяйства охватывают всю эту обширную территорию. Затем около 7050 лет до н. э. земледелие достигает Греции и Крита (рисунок).

В середине VIII тысячелетия земледельческие поселения раннего неолита закрепились в Центральной Европе, в Северной Африке и на Кавказе. На всех этих обширных территориях, охватывающих различные климатические зоны и географические регионы, появление земледелия было обусловлено внедрением и распространением одних и тех же сельскохозяйственных культур, зародившихся в юго-западной Азии, что говорит о том, что экспансия первых земледельческих хозяйств была тесно связана с процессом интродукции культурных растений, которые стали фундаментальной основой для формирования и развития сельского хозяйства, основополагающего элемента человеческой цивилизации [3, с. 21].

Во времена возникновения первых цивилизаций на территории *Междуречья, Египта, Китая, Индии*, в которых сельское хозяйство играло ключевую роль в их становлении и развитии, вполне возможно, что интродукции растений в этих государствах отводилось не самое последнее значение.

Следует отметить, что, несмотря на аридный климатический режим, наблюдаемый в Междуречье, сельское хозяйство в *Шумере* достигло высокого уровня развития благодаря применению разнообразных ирригационных технологий, которые требовали проведения комплексных инженерных исследований и обладали значительной степенью сложности в реализации.

¹ Плодородный полумесец – историко-географический регион на Ближнем Востоке, обладающий благоприятными природными условиями, которые способствовали развитию древних цивилизаций. В его состав входят территории современных государств: Ирака, Сирии, Ливана, Израиля, Государства Палестина, Иордании, юго-восточной Турции и западной части Ирана. Регион делится на две основные части: Левант (Сирия, Иудея) и Месопотамия (долины рек Тигр и Евфрат). Шумер располагался на территории Древней Месопотамии.



Археологические памятники Юго-Западной Азии,
где были найдены самые ранние одомашненные зерновые культуры
Примечание: составлен автором на основе источника [3, с. 25]

Уникальным памятником истории является шумерский «Календарь земледельца», составленный неизвестным автором примерно в III тысячелетии до н. э., в котором были собраны разнообразные рекомендации, направленные на оптимизацию труда земледельца в течение всего сельскохозяйственного цикла выращивания ячменя [4, с. 73].

Учитывая, что в Шумере выращивали зерновые, бобовые культуры, огородные культуры, лекарственные растения, а также успешно культивировались садовые и декоративные растения, можно предположить, что вполне возможно, что некоторые виды растений были завозными, то есть имела место интродукция растений. Конечно, какие именно растения были акклиматизированы на территории древнего Шумера, неизвестно. Данные о конкретных интродуцированных растениях в Шумере отсутствуют; можно говорить только о гипотезе интродукции растений из других географических регионов.

Тем не менее есть данные, что в более позднем государстве на территории Междуречья – *Ассирии* интродукция растений зафиксирована в легенде о преемнике царя Икумуна Саргоне I (с 2361–2261 гг. до н. э.), который завез в страну из Каппадокии различные виды растений, включая инжир, виноградную лозу, розы. Тиглатпалассар, правитель Ассирии (1114–1076 гг. до н. э.), известен привозом кедров, самшита и других деревьев из дальних земель [5].

Древнееврейский историк Флавий Иосиф описывает историю *Нововавилонского* царя (605–562 гг. до н. э.), который для своей супруги построил сады, которые впоследствии получили ее имя – Семирамиды. Поскольку супруга царя была родом из горной страны – Мидии, он приказал сделать сады на возвышении и засадить их горными растениями и деревьями, что говорит в пользу того, что была проделана некоторая работа по интродукции горных растений на территории Месопотамии [6, с. 656].

Известно, что в *Древнем Египте* сельское хозяйство достигло высокого уровня развития благодаря регулярным разливам Нила, которые способствовали формированию плодородных почв в ее долине. Древние египтяне разработали сложную систему ирригационных каналов, которые эффективно обеспечивали орошение обширных угодий, на которых росли пшеница, ячмень, лен. Для обеспечения разнообразия флоры и озеленения садов древние египтяне осуществляли организованные экспедиции за редкими и экзотическими растениями.

[7, с. 29]. Известны экспедиции древних египтян в полумифическую страну Пунт, из которой было привезена помимо других ценных товаров мирра (*commiphora myrrha*) – благовонное дерево, смола которого часто использовалась в ритуальных целях [8]. При этом ученые утверждают, что одной из целей древнеегипетских путешествий в Пунт было вернуть благовонные деревья, которые произрастали там, для их посадки и выращивания в Египте. Данная инициатива впоследствии послужила источником вдохновения для царицы Хатшепсут (XV в до н. э.). Несмотря на успешную доставку этих растений во дворец (Фивы), они не прижились из-за неблагоприятного климата [9]. Кроме того, есть сведения об успешной интродукции на территории Египта инжира, или смоковницы обыкновенной (*Ficus carica* L.), которая была привезена из Сирии в период Среднего царства (XX–XVIII вв. до н. э.) [10]. Известно, что в садах Древнего Египта рос гранат, привезенный из Персии.

Каким образом древние египтяне акклиматизировали привезенные растения? Вызывают интерес сохранившиеся записи, подтверждающие, что редкие растения с завоеванных территорий или экспедиций перевозили очень бережно, их корни аккуратно упаковывали в емкости с родной почвой и высаживали в окрестностях храмов и дворцов [11, с. 32].

Древний Китай. Поступательное развитие Древнего Китая основывалось на использовании плодородных почв, формируемых за счет ежегодных разливов Хуанхэ и Янцзы, которые обеспечивали основу для устойчивого сельского хозяйства, что, в свою очередь, способствовало экономическому процветанию и демографическому росту. Древние записи говорят, что с самых древних времен в Китае выращивали пшеницу, рис, сорго, чумизу, просо и сою. Несмотря на то, что многие основные древнейшие продовольственные культуры (такие как рис, соя и др.) были культивированы в Восточной Азии, с древнейших времен по торговым путям, в том числе и по Великому шелковому пути, на территорию Китая доставлялись сельскохозяйственные культуры, которые с успехом акклиматизировались и распространялись на его территории.

При этом если до II тысячелетия до н. э. на территории Китая в основном выращивалось просо, то со II тысячелетия до н. э. до начала II в. до н. э. наряду с просом и соей начали выращивать завезенные с Передней Азии пшеницу (*Triticum spp.*) и ячмень

(*Hordeum vulgare* L.) (современная реконструкция) [12]. Увеличению разнообразия продукции культурных растений в этот период способствовало развитие технологий, например в период правления императора Цинь Шихуанди были построены крупнейшие ирригационные сети, которые орошали более 200 тыс. га сельскохозяйственных земель (современная реконструкция) [11].

Заслуживает особого внимания информация об исторической встрече в начале II в. до н. э. восточной цивилизации в лице династии Хань, которая была представлена посольством Чжан Цяня с западной цивилизацией в лице государства Даюань, располагавшегося в Центральной Азии, и которая возможно была частью Греко-Бактрийского царства. По словам великого китайского ученого династии Хань Сыма Цяня, [12, с. 210] встреча двух земледельческих цивилизаций принесла Китаю новые растительные культуры – виноград и мусу, ранее китайцам неизвестные, но которые были успешно интродуцированы (письменный источник). Кроме того, по свидетельству П. В. Белоусова, в других древнекитайских источниках указывалось, что посольством Чжан Цяня в Китай были завезены и успешно интродуцированы и другие культуры, в том числе кунжут (*Sesamum indicum* L.), чеснок посевной (*Allium sativum* L.), огурец обыкновенный, или посевной (*Cucumis sativus* L.), кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.), гранат обыкновенный (*Punica granatum* L.), грецкий орех (*Juglans regia* L.) (письменный источник) [13, с. 121; 14, с. 56], которые в последующих веках стали основой не только сельского хозяйства Китая, но и стали частью культуры страны. В другие исторические периоды в Древний Китай были завезены шпинат огородный (*Spinacia oleracea* L.), базилик душистый (*Ocimum basilicum* L.) и другие растения, которые не произрастали на территории Восточной Азии (письменный источник).

С другой стороны, Древний Китай внес значительный вклад в мировую цивилизацию, предоставив ряд культур, важных для сельского хозяйства и экономики. Среди них можно выделить рис, сою, фасоль, персик, апельсин, абрикос, мандарин и другие растительные виды, которые успешно культивируются в различных регионах мира (поздняя традиция).

Древняя Индия. Несомненно, Индия являлась одной из цивилизаций древности, которая оказала значительное влияние на историю человечества. По словам известного индийского ученого М. Рандхавы на протя-

жении тысячелетий реки Инд и Ганг формировали ее плодородную почву столь важную для становления и развития сельского хозяйства в Древней Индии [7, с. 37].

Интересно отметить, что ранее всегда считалось, что в Индии с древности сельское хозяйство в основном основывалось на культурах, которые произрастали на полуострове, и агробиологическое разнообразие позволило окультурить здесь многие растения. Однако последние статьи указывают, что часть растений были завозными.

В эпоху южного неолита в Индии (2800–1200 гг. до н. э.) сельское хозяйство в основном основывалось на культурах, в том числе эндемичных. Палеоархеологические данные, обнаруженные в Карнатаке и Андхра-Прадеше, указали, что люди этого периода культивировали пшеницу (*Triticum diococcum*, *Triticum durum/aestivum*), ячмень (*Hordeum vulgare*), хлопчатник (*Gossypium* sp.), лен (*Linum* sp.), плоды зизифуса (*Zizyphus* sp.), а также эндемичные для Индостана бобовые культуры (*Vigna radiata*, *Macrotyloma uniflorum*), просо (*Brachiaria ramosa*). Тем не менее палеоархеологические данные говорят, что в те времена древние индийцы культивировали такие африканские растения, как гиацинтовые бобы (*Lablab purpureus*), африканское просо (*Pennisetum glaucum*), которые, видимо, успешно были акклиматизированы в этом регионе [15].

Анализ исторических источников, включая археологические данные, относящиеся к Хараппской цивилизации и раннему железному веку, свидетельствует о культивировании разнообразных видов проса. В частности, были выявлены свидетельства выращивания проса прутьевидного (*Panicum virgatum*), чумизы (*Setaria italica*), обыкновенного проса (*Panicum miliaceum*), могары (*Setaria italica* var. *monococcum*) и проса суматранского (*Panicum sumatrense*). Эти находки подчеркивают важность данной культуры в древнем земледелии и ее адаптацию к различным климатическим и почвенным условиям [16]. С дальнейшим развитием торговли между странами в древние времена на территории Индии были завезены и интродуцированы многие культурные растения [16].

Древняя Греция по праву занимает выдающееся место среди величайших цивилизаций Античности. Она дала начало демократии, историографии, философии, науке и искусству. Следует отметить, что в Древней Греции зародились и первые научные записи об агрономии, что стало важным этапом в развитии сельского хозяйства.

С географической точки зрения Греция обладает значительной территорией с горным рельефом, что затрудняло обеспечение продовольствием растущего населения полисов. Пшеница на этих землях росла хуже, чем ячмень, поэтому ячмень занимал доминирующее положение в аграрном секторе. Зерновой дефицит компенсировался импортом из других стран, таких как Египет и Сицилия [17].

Одним из главных экспортных продуктов Древней Греции считается оливковое масло, которое получается из плодов оливкового дерева (*Olea europaea*). Несмотря на распространенное представление о наличии оливкового дерева в Эгейском регионе с неолитической эпохи, современные археоботанические исследования указывают на более позднюю интродукцию этой культуры на островах Эгейского моря, предположительно в конце неолита [18]. На материковой части Греции признаки культивации *Olea europaea* появляются значительно позже. Культивирование оливкового дерева в Эгейском регионе началось в IV тысячелетии до н. э. Начальная стадия этой практики была направлена на производство оливкового масла, которое использовалось для удовлетворения потребностей элиты и ритуальных функций. В бронзовом веке объемы производства масла значительно увеличились, достигнув своего максимума в период микенской цивилизации. До наступления железного века оливковое масло было неизвестно на территории северной части Греции. Распространение этой культуры в указанном регионе связано с греческой колонизацией Македонии и Фракии, что подтверждается археологическими находками и историческими источниками. Эта хронология в значительной степени совпадает с другими регионами восточного Средиземноморья, в том числе и в Леванте, где свидетельства культивации *Olea europaea* фиксируются в энеолите [18].

Римская империя. Древний Рим является одной из наиболее значимых цивилизаций античного мира. Следует отметить, что первые подробные руководства по управлению сельским хозяйством были составлены римскими авторами. Вызывает особый интерес замечание Колумеллы, что растения необходимо пересаживать в такой же климат, в такое же место, иначе они могут вырождаться [19, с. 168]. Вполне возможно, это одно из первых научных наблюдений о необходимых условиях акклиматизации растений. Плиний Старший также отмечал, что люцерна была завезена в Древний Рим и Грецию

мидийцами во время персидских войн, которые вел Дарий. Он подчеркивал, что это чужеземное растение, но его ценность столь велика, что стоит упомянуть его в первую очередь. По его словам, одного посева люцерны хватает более чем на 30 лет [19, с. 253].

Археоботанические исследования показывают, что земледелие на территории Апеннинского полуострова появилось еще в раннем неолите (6200–5000 гг. до н. э.), при этом основными возделываемыми культурами были пшеница (*Triticum*), ячмень (*Hordeum*), овес (*Avena*), костер безостый (*Bromus* и бобовые, что говорит о том, что, вероятно, именно в этот период они были успешно интродуцированы [20].

В дальнейшем на территорию Античного Рима были ввезены и другие культуры. Например, исследования показывают, что оливковое дерево (*Olea europaea*) скорее всего было интродуцировано на Апеннинский полуостров из Эгейского региона в эпоху среднего бронзового века, (XVI–XII вв. до н. э.). Данное предположение подтверждается археологическими свидетельствами, включающими остатки оливкового масла, обнаруженные на керамических сосудах, датированных бронзовым веком [21]. Что касается винограда, научные исследования показали, что процесс окультуривания дикой виноградной лозы (*Vitis vinifera* L.) начался примерно 10 500–12 500 лет назад в Западной Азии и на Кавказе одновременно с развитием земледелия [22].

А первые упоминания о культивировании винограда в Южной Италии относятся ко времени появления микенских поселений на побережье. В ранний период развития виноградарства на территории Южной Италии, охватывающий средний и поздний бронзовый век, наблюдалась комплексная система размножения виноградных лоз, включающая как бесполое, так и половое размножение. Кроме того, в этот период активно осуществлялась интродукция сортов винограда, импортированных из различных регионов Средиземноморья, что обогащало местный генофонд и способствовало развитию виноградарства. Параллельно с этим применялось использование местных дикорастущих лоз, которые, обладая высокой адаптивностью к местным климатическим условиям, служили важным источником генетического материала для селекционных работ [23]. Эти селекционные и интродукционные методы древних римлян привели к значительному разнообразию сортов винограда в Риме.

Список интродуцированных растений в странах Древнего мира

	Интродуцированные растения	Время интродукции	Место интродукции	Типы доказательств
Леванта, Плодородный полумесяц	Пшеница, ячмень, полба, чечевица, горох, лен, виноград	8500 лет до н. э.	Леванта, Плодородный полумесяц	Археоботанические данные, современные генетические исследования
Шумер	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Ассирия	Инжир, виноградная лоза, розы	2361–2261 гг. до н. э.	Месопотамия	Легендарные сообщения
	Кедр, самшит	1114–1076 гг. до н. э.	Месопотамия	Легендарные сообщения
Новый Вавилон	Горные растения	605–562 гг. до н. э.	Сады Семирамиды	Легендарные сообщения
Древний Египет	Мирра	Неизвестно	Неизвестно	Легендарные сообщения
	Мирра	XV в до н. э.	Фивы	Письменные источники
	Инжир	XX–XVIII вв. до н. э.	Неизвестно	Письменные источники
	Гранат	Неизвестно	Неизвестно	Письменные источники
Древний Китай	Пшеница, ячмень	II тысячелетие до н. э. до начала II в. до н. э.	Сянань	Письменные источники, современные генетические исследования
	Виноград, муса	Начало II в. до н. э.	Даюань	Письменные источники
	Кунжут, чеснок, огурец, кориандр, грецкий орех, гранат, шпинат, базилик	Неизвестно	Неизвестно	Письменные источники
Древняя Индия	Гиацинтовые бобы, африканское просо, просо прутьевидное, чумиза, могар, просо суматранское	Неизвестно	Север Индии	Письменные источники
Древняя Греция	Оливковое дерево	Энеолит (медный век), III–II тысячелетие до н. э.	Македония	Археоботанические данные
Микенская культура	Виноград	XVI–XII вв. до н. э.	Микены	Археоботанические данные
Римская империя	Пшеница, ячмень, овес, костер безостый	Ранний неолит 6200–5000 гг. до н. э.	Аппенинский полуостров	Археоботанические данные
	Люцерна	500–449 гг. до н. э.	Балканский и Аппенинский полуострова	Письменные источники
	Оливковое дерево	Средний бронзовый век, XVI–XII вв. до н. э.	Аппенинский полуостров	Археоботанические данные
	Виноград	Средний и поздний бронзовый век, XXVI/XXV–XX/XIX вв. до н. э.	Южная Италия	Археоботанические данные, современные генетические исследования

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

В таблице представлен список интродуцированных растений в странах Древнего мира, который показывает, что, возможно, интродукция оказала значительное влияние на развитие сельского хозяйства. Первые культурные растения появились на территории Леванта и Плодородного полумесяца в период между 8500 лет до н. э. Впоследствии, в процессе формирования древних цивилизаций, эти культуры, а также другие

виды растений были успешно интродуцированы и распространены по всему миру.

Необходимо подчеркнуть фундаментальное значение исследований, направленных на установление географического ареала культивирования и происхождения культурных растений. Данный научный дискурс берет свои истоки в трудах ученых XIX в., но получил значительное развитие благодаря работам Николая Вавилова, кото-

рый значительно углубил и расширил наши знания о центрах происхождения культурных видов [24].

Заключение

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что миграция и распространение культурных растений являлись одним из ключевых аспектов неолитической аграрной экспансии. Согласно одной из гипотез, земледелие зародилось в регионе Плодородного полумесяца, где началось культивирование основных сельскохозяйственных культур. Впоследствии эти культуры распространились на территории Европы, Азии и Северной Африки. Существует предположение, что распространение первых аграрных сообществ было тесно связано с интродукцией культурных растений, которые послужили основой для формирования и эволюции сельскохозяйственной деятельности. Археологические и документальные источники свидетельствуют о том, что в древних цивилизациях, таких как Шумер, Ассирия, Древний Египет, Китай и Индия, интродукция растений играла важную роль в развитии сельского хозяйства, садоводства и ритуальных практик. Процессы интродукции также рассматриваются в контексте античных цивилизаций Греции и Рима. Римские аграрные специалисты, вероятно, первыми акцентировали внимание на значении акклиматизации растений, что внесло значительный вклад в развитие аграрной науки того времени.

Список литературы

1. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews // *Syst Rev*. 2021. Vol. 10 (1). P. 89. DOI: 10.1186/s13643-021-01626-4.
2. Базилевская Н. А. Теории и методы интродукции растений. М.: Издательство Московского университета, 1964. 131 с.
3. Zohary D., Hopf M., Weiss E. Domestication of Plants in the Old World. The origin and spread of domesticated plants in southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Fourth Edition. Oxford.: Oxford University Press. 2012. 243 p. DOI: 10.1093/acprof:osobl/9780199549061.001.0001.
4. Крамер С. Н. Шумер. М.: Ломоносовъ, 2025. 216 с. ISBN 978-5-91678-849-5.
5. Гамалей Е. Н. Интродукция и акклиматизация растений в странах Древнего мира // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры: Сборник международной конференции, посвященной 80-летию Центрального ботанического сада Национальной

академии наук Беларуси: В 2 ч. Ч. 1. Минск: ОДО Нова-Принт, 2012. С. 63–66. EDN: YQNJPR.

6. Флавий Иосиф. Иудейские древности. Иудейская война. Против Апиона. О древности еврейского народа. М.: Альфа книга, 2021. 1279 с. ISBN 978-5-519-87308-6.
7. Рандхава М. Сады через века. М.: Знание, 1981. 320 с.
8. Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений // *Hortus botanicus*. 2004. № 2. С. 17–32. EDN: SJQUNX.
9. Mahfouz E-S. New Perspectives on the expeditions to the land of Punt // *Shedet Is*. 2023. № 10. P. 143–165. DOI: 10.21608/shedet.2023.291531.
10. Хомутовский М. И. Сикомор и инжир в Древнем Египте – символика и практическое применение // *Ландшафтная архитектура в эпоху глобализации*. 2024. № 3. С. 30–44. DOI: 10.37770/2712-7656-2024-3-30-44.
11. Wu S., Wei Y., Head B., et al. The development of ancient Chinese agricultural and water technology from 8000 BC to 1911 AD. // *Palgrave Commun*. 2019. Vol. 5. P. 77. DOI: 10.1057/s41599-019-0282-1.
12. Сыма Цянь. Исторические записки: Ши цзи: В 9 т. Т. 9. М.: Восточная литература, 2010. 623 с. ISBN 978-5-02-036460-8.
13. Белоусов П. В. Культурные растения в китайской медицине: в 3 т. Алматы: ИП Белоусов В. П., 2017. Т. 2. 270 с. ISBN 978-601-06-3959-1.
14. Белоусов П. В. Культурные растения в китайской медицине: в 3 т. Алматы: ИП Белоусов В. П. 2017. Т. 3. 234 с. ISBN 978-601-06-3957-7.
15. Fuller D., Korisettar R., Venkatasubbaiah P. C., Jones M. K. Early plant domestications in southern India: some preliminary archaeobotanical results // *Veget Hist Archaeobot*. 2004. Vol. 13. P. 115–129. DOI: 10.1007/s00334-004-0036-9.
16. Singh B., Arya L., Singh M., Malav P. K., Pandey Ch. D., Pandey S., Shekhawat N., Singh A. K. History, Origin, Botany, and Taxonomy of Minor Millets. In: Joshi D. C., Singh A. K., Sood S., Prasad M. Minor Millets. Singapore.: Springer, 2025. P. 1–34. DOI: 10.1007/978-981-96-4265-6_1.
17. Economou E. M. L., Kyriazis N. C. Ancient Greek Hospitality, Food Habits, and Grain Supply. In: *Daily Life in Classical Athens* // *Frontiers in Economic History*. Cham.: Springer, 2024. С. 131–138. DOI: 10.1007/978-3-031-58541-8_9.
18. Valamoti S. M., Gkatzogia E., Ntinou M. Did Greek colonisation bring olive growing to the north? An integrated archaeobotanical investigation of the spread of *Olea europaea* in Greece from the 7th to the 1st millennium bc. // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2018. Vol. 27. P. 177–195. DOI: 10.1007/s00334-017-0631-1.
19. Катон, Варрон, Колумелла, Плиний. О сельском хозяйстве. М.: ЕЕ Медиа, 2025. 306 с. ISBN 978-5-458-49503-5.
20. Fiorentino G., Caldara M., De Santis V., D'Oronzo C., et al. Climate changes and human–environment interactions in the Apulia region of southeastern Italy during the Neolithic period // *The Holocene*. 2013. Vol. 23. P. 1297–1316. DOI: 10.1177/0959683613486942.
21. Caracuta V. Olive growing in Puglia (southeastern Italy): a review of the evidence from the Mesolithic to the Middle Ages // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2020. Vol. 29. P. 595–620. DOI: 10.1007/s00334-019-00765-y.
22. Dong Y., Duan Ch., Xia Q., Liang Zh. Dual domestications and origin of traits in grapevine evolution // *Science*. 2023. Vol. 379 (6635). P. 892–901. DOI: 10.1126/science.add8655.
23. Breglia F., Bouby L., Wales N., Ivorra S., Fiorentino G. Disentangling the origins of viticulture in the western Mediterranean // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13:17284. DOI: 10.1038/s41598-023-44445-4.
24. Вавилов Н. И. Учение о происхождении культурных растений после Дарвина // *Советская наука*. 1940. № 2. С. 55–75.

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.



ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ

¹Лебедев В. Н. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,

¹Кондрат С. В. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,

²Ураев Г. А. ORCID ID 0000-0002-2800-5108

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В статье рассматриваются результаты вегетационного опыта по оценке влияния биопрепаратов на основе ассоциативных эндофитных ризобактерий в условиях разной степени засоленности почвы (1% NaCl, 2% NaCl и 3% NaCl). Опыты проводились на базе АБС «Вырица» в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. Объектом исследования служила горчица сарептская (**Brassica juncea** (L.) Czern) сорта Люкс (к-2643). В качестве стимулирующих рост микроорганизмов использовали неспорообразующую и спорообразующую формы: **Arthrobacter mysorens**, штамм 7 (Мизорин), и **Bacillus subtilis**, штамм 26Д (Фитоспорин-М), соответственно. Анализ проводился на основании изменений всхожести, высоты, численности листьев, боковых побегов и продуктивности сухой массы надземных частей растений. Показано, что инокуляция семян в нормальных почвенных условиях стимулировала все рассмотренные морфофизиологические параметры, засоление почвы хлоридом натрия привело к их резкому угнетению, которое нарастало с увеличением натриево-хлоридного фона. Под влиянием натриево-хлоридного засоления накопление сухой массы надземных органов растений снижалось практически вдвое: на 46% при 1% NaCl, на 49% при 2% NaCl и на 54% при 3% NaCl относительно абсолютного контроля. Применение Мизорина и Фитоспорина-М в условиях разной степени засоления (1–3% NaCl) способствовало некоторому снижению угнетения изученных авторами морфофизиологических показателей горчицы. В среднем солеустойчивость растений повышалась на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl) по отношению к опытным вариантам, с засолением без инокуляции семян ризобактериальными штаммами. При этом оба препарата по эффективности существенно не отличались. Проведённая оценка экономического эффекта показывает, что экономический эффект может быть достигнут за счет следующих факторов: повышение всхожести и сохранности растений в условиях солевого стресса; интенсификация ростовых процессов, увеличение накопления биомассы вегетативных органов и стабилизация физиологического статуса растений при осмотическом стрессе.

Ключевые слова: горчица сарептская, вегетационный опыт, засоление, солевой стресс, ассоциативные эндофитные ризобактерии, PGPR-бактерии, инокуляция, ростовые процессы, хлорид натрия, продуктивность, солеустойчивость, экономический эффект

FEATURES OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON PLANTS IN CONDITIONS OF SOIL SALINIZATION

¹Lebedev V. N. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,

¹Kondrat S. V. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,

²Uraev G. A. ORCID ID 0000-0002-2800-5108

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Herzen Russian State Pedagogical University”, Saint Petersburg, Russian Federation;
² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University”, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

This study evaluates the effect of biopreparations based on associative endophytic rhizobacteria under varying soil salinity levels (1%, 2%, and 3% NaCl). Pot experiments were conducted at the Vyritsa Agricultural Biological Station in a mesh pot house under natural lighting and controlled irrigation. Indian mustard (**Brassica juncea** (L.) Czern., cv. Lux) served as the study object. Non-spore-forming **Arthrobacter mysorens** (strain 7, Mizorin) and spore-forming **Bacillus subtilis** (strain 26D, Fitosporin-M) were applied for seed inoculation. Under normal soil conditions, seed inoculation stimulated all studied morphophysiological parameters. Conversely, sodium chloride salinization induced severe, dose-dependent growth suppression. In non-inoculated saline treatments, aboveground dry matter accumulated nearly twofold less, decreasing by 46% (1% NaCl), 49% (2% NaCl), and 54% (3% NaCl). Seed inoculation with both Mizorin and Fitosporin-M partially alleviated this salt-induced inhibition. On average, bacterial inoculation enhanced plant salt tolerance by 15% (1% NaCl), 16% (2% NaCl), and 18% (3% NaCl) compared to non-inoculated saline controls, with no significant differences in efficacy between the two strains. Economic analysis confirms that seed inoculation under salinity stress ensures the accumulation of an additional 1.1–1.3 t/ha of aboveground dry matter, generating an increased revenue of 11,000–13,000 RUR/ha. Accounting for inoculation costs, the net additional income reaches 10,500–12,500 RUR/ha, with an agronomic profitability of 17.1–20.3%, rendering this biotechnological practice highly cost-effective for saline soil management.

Keywords: Indian mustard (**Brassica juncea** L.), pot experiment, salinization, sodium chloride, salt stress, associative endophytic rhizobacteria, PGPR, inoculation, productivity, salt tolerance, economic effect

Введение

Одним из наиболее серьёзных абиотических стрессов, наряду с засухой, является засоление, ингибирующее физиологические процессы и приводящее к снижению роста и продуктивности растений. На долю сельскохозяйственных почв, подверженных в той или иной степени засолению, по данным FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), относится 11%, а в РФ – 1,8% площади [1, р. 46]. Расширение площадей засоленных почв в неаридных районах происходит по техногенным причинам, таким как применение антигололедных реагентов, складирование отходов промышленных производств и других факторов. Засоление хлоридом натрия сопровождается избыточным содержанием в почве ионов натрия и хлора, что приводит к осмотическому стрессу, затруднению поступления других элементов минерального питания, таких как калий и кальций. Снижение продуктивности растений в результате такого нарушения метаболических процессов может достигать 60-80% [2].

Современный экологический подход к земледелию приводит к поиску новых путей решения данной проблемы. Поэтому в последние годы [3] наравне с селекционным созданием солеустойчивых сортов активное распространение получило применение бактериальных препаратов на основе эндофитных микроорганизмов из числа бактерий, стимулирующих рост и развитие растений (PGPR). Данные микроорганизмы также способны выступать в качестве протекторов при воздействии негативных факторов, способствуя в некоторой степени нивелированию последствий стрессового воздействия у культурных растений за счет сохранения и восстановления их физиологических процессов.

Многочисленные исследования показали влияние эндофитных бактерий на повышение толерантности аграрных культур к стрессам абиотического и биотического происхождения: к почвенной засухе, тяжёлым металлам, кратковременным заморозкам, солевому стрессу, фитопатогенам и сельскохозяйственным вредителям [4]. При этом установлено, что PGPR-бактерии способны оказывать ярко выраженное протекторное действие при натриево-хлоридном засолении почвы [5]. Отдельные ассоциативные штаммы нивелировали данный стресс-фактор, стимулируя рост и развитие растений даже при 2% NaCl [6].

Целью данного исследования был анализ эффективности влияния инокуляции семян на рост и продуктивность растений при различной степени почвенного засоления.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служила горчица сарептская (**Brassica juncea** (L.) Czern) широко районированного сорта Люкс (к-2643). Это относительно галорезистентная ценная кормовая культура. В высоких широтах северного полушария она способна к интенсивному формированию фитомассы. Кроме того [7], выявлено, что ее галорезистентность не утрачивается даже в условиях интенсивного засоления почвы хлоридом натрия (более 1–2%). В последние годы горчица сарептская вместе с другими однолетними капустными растениями получила относительно широкое распространение на зеленую массу в скандинавских странах и Беларуси. Однако в северных и северо-западных регионах нашей страны она все еще остается мало распространенной культурой [8, с. 114].

Исследование выполнялось на протяжении трех лет (2022–2024 гг.) в условиях Ленинградской области на базе АБС «Вырица». Опыты были заложены в вегетационных пластиковых сосудах с дерново-подзолистой слабокислой почвой массой 5 кг в соответствии с общепринятой методикой [9, с. 62]. Как показал лабораторный анализ агрохимических свойств образцов почвы, использованной в вегетационном опыте, она в средней степени обеспечена легкогидролизуемыми формами фосфора и калия. Почва характеризовалась фоновым содержанием растворимых хлоридов, равным 1,5 мг/кг. Сосуды размещались в сетчатом вегетационном домике с естественным освещением и почвенной влажностью 70% от валовой влагоёмкости, которая поддерживалась регулярным поливом. В почву вносилась азотфоска – комплексное минеральное удобрение, исходя из нормы $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ в пересчёте на действующие вещества на 1 кг почвы. Солевые фоны моделировали внесением NaCl из расчёта 1%, 2% и 3% на 1 кг почвы. В каждый сосуд высевалось по 20 семян, а в фазу всходов их количество выравнивалось – в каждом сосуде оставлялось строго по 10 однородных растений. Повторность каждого варианта опыта – четырёхкратная.

Для инокуляции было отобрано два штамма ассоциативных ризобактерий: непорообразующий **Arthrobacter mysoresis**, штамм 7 (Мизорин) и спорообразующий **Bacillus subtilis**, штамм 26Д (Фитоспорин-М). Обработка семян проводилась бак-

териальными препаратами непосредственно в процессе посева, путем нанесения бактериальной суспензии со стандартными титрами клеток: 1×10^9 КОЕ/мл для **Arthrobacter mysores** (Мизорин) и 1×10^8 КОЕ/мл для **Bacillus subtilis** (Фитоспорин-М), которые рекомендованы разработчиками данных биопрепаратов (лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов ФГБОУ «ВНИИСХМ») для инокуляции семян данного размера [10, с. 24]. В контроле семена поливались водой в объеме, равном количеству бактериальной суспензии с ассоциативным ризобактериальным штаммом.

Всхожесть в сосудах анализировалась на 10-й день после посева. Ростовые процессы (высота, число листьев, боковых побегов) и продуктивность сухой надземной массы растений – в фазу массового цветения. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа [11, с. 18]. Оценку значимости эффектов и их взаимодействий осуществляли по (F)-критерию Фишера при уровне значимости ($p \leq 0,05$). Ввиду отсутствия статистически значимых межгодовых различий в полученных результатах за 2022–2024 гг., в работе представлены усредненные данные за три года.

В исследованиях на других культурах авторами уже было показано и подробно рас-

смотрено, что использование ассоциативных ризобактериальных штаммов приводит к увеличению экономического эффекта [12]. В данной работе была проведена оценка экономического эффекта, обусловленного предотвращением потерь урожая при инокуляции семян в условиях засоления.

Результаты исследования и их обсуждение

Ростовые реакции растений являются одними из основных индикаторов адаптаций к неблагоприятным условиям внешней среды. Всхожесть обычно отражает физиологическое состояние растительного организма на самом раннем этапе органогенеза, что в дальнейшем отражается на формировании остальных морфологических структур и дальнейших обменных процессов.

Следует отметить, что при выборе объекта изучения в ходе проведения предварительного лабораторного скрининга семенного материала горчицы сорта Люкс удалось установить его высокую всхожесть, которая сохранилась и при посеве семян в почву. Показано, что при выращивании растений на почве без внесения соли, но с обработкой семян Мизорином и Фитоспорином-М всхожесть семян составляла 100%, что не превышало данные по контролю, где наблюдался аналогичный результат (табл. 1).

Таблица 1

Влияние ризобактерий на всхожесть и ростовые процессы горчицы сарептской на фоне засоления почвы (в среднем за 2022–2024 гг.)

Вариант	Всхожесть		Высота		Количество листьев		Количество боковых побегов	
	%	$\Delta\%$	см	%	шт.	%	шт.	%
Контроль	100	–	61,7	100	6,3	100	5,0	100
Мизорин	100	–	68,7	111	8,3	132	6,0	120
Фитоспорин-М	100	–	69,0	112	8,0	127	7,0	140
1% NaCl	70	-30	53,5	87	5,4	86	4,0	80
2% NaCl	65	-35	50,3	82	5,0	79	3,0	60
3% NaCl	43	-57	48,0	78	4,0	64	3,0	60
1% NaCl + Мизорин	88	-12	59,0	96	5,7	90	5,0	100
2% NaCl + Мизорин	85	-15	58,0	94	5,6	89	4,0	80
3% NaCl + Мизорин	53	-47	56,0	91	5,6	89	4,0	80
1% NaCl + Фитоспорин-М	74	-26	59,3	96	5,8	92	5,0	100
2% NaCl + Фитоспорин-М	72	-28	57,0	92	5,7	90	4,0	80
3% NaCl + Фитоспорин-М	50	-50	55,3	90	5,0	79	4,0	80
HCP ₀₅	9,1	–	3,5	–	0,4	–	0,8	–

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Одновременно с этим внесение в почву хлорида натрия от 1% до 3% приводило к резкому снижению всхожести относительно контроля в вегетационных сосудах на 30% (1% NaCl), 35% (2% NaCl) и 57% (3% NaCl) соответственно.

В проведенных опытах протекторный эффект эндофитных бактерий проявился уже в период прорастания семян на всех засоленных почвах. Всхожесть горчицы сарептской при инокуляции семян Мизорином снижалась менее интенсивно – на 12% (1% NaCl), 15% (2% NaCl) и 47% (3% NaCl). При этом использование Фитоспорина-М, на данном фоне возрастания засоления, было менее эффективным, и всхожесть снижалась до 74–50%, что всё равно было выше, чем в условиях соответствующих доз хлорида натрия и отсутствии инокуляции (70–43%).

Изменение параметров линейного роста относительно контроля отмечалось во всех вариантах опыта. Так, если инокуляция Мизорином и Фитоспорином-М стимулировала рост растений на 11% и 12%, соответственно, то натриево-хлоридное засоление ингибировало высоту растений с возрастанием концентрации соли на 13–22%. Предпосевная бактериализация семян Мизорином на фоне возрастающего солевого стресса, способствовала постепенному снижению этого показателя только на 4–9%, а Фитоспорином-М на 4–10%.

Применение биопрепаратов на основе ассоциативных эндофитных бактерий, которое сопровождалось увеличением высоты, приводило к некоторому увеличению среднего числа листовых узлов и сохранению нижних листьев на 32% (Мизорин) и 27% (Фитоспорин-М) – до 8,3 и 8,0 шт. по сравнению с контролем (6,3 шт.). В опытных вариантах с солевым стрессом количество листьев снижалось достаточно резко с возрастанием хлорида натрия на 14–36% (5,4–4,0 шт.). Использование ризобактериальных штаммов в данных условиях засоления способствовало сокращению разницы к контролю (без засоления и биопрепаратов) на 10–11% (1–3% NaCl + Мизорин) и 8–21% (1–3% NaCl + Фитоспорин-М). Разница в изменении числа листьев при использовании биопрепаратов достоверно отличалась от контроля, хотя между самими опытными вариантами эти отличия нельзя считать статистически достоверными.

Обработка семян эндофитными PGPR-бактериями стимулировала не только рост в высоту, но и повлияла на образова-

ние боковых побегов на 40% (7,0 шт.) и 20% (6,0 шт.), по отношению к контрольному варианту без инокуляции и засоления (5,0 шт.). При засолении 1% NaCl это значение достоверно снижалось на один побег, а при 2–3% NaCl – на два побега. В вариантах с применением Мизорина, как и Фитоспорина-М, на фоне 1% NaCl этот показатель достигал уровня контрольного варианта, а в условиях 2–3% число боковых побегов соответствовало дозе внесения 1% NaCl при отсутствии семенной инокуляции – 4,0 шт.

Эндофитные ризобактерии способны влиять не только на рост вегетативных органов, но и оказывать регулирующее действие на развитие растительного организма [13], что обычно сопровождается увеличением числа листьев как ведущих ассимиляционных органов [14]. В результате это способствует более интенсивному накоплению сухого вещества в вегетативной массе таких растений по сравнению с контролем, где при отсутствии использования PGPR-бактерий наблюдается значительное снижение продуктивности надземных органов [15].

Как показали результаты исследований (табл. 2), продуктивность сухой массы надземных органов горчицы в условиях сильного натриево-хлоридного засоления снижалась почти вдвое (на 46–54%) относительно контрольных значений (10,3 г/сосуд) и составляла 5,6 г/сосуд (1% NaCl), 5,0 г/сосуд (2% NaCl), 4,7 г/сосуд (3% NaCl). По продуктивности растения, семена которых в процессе посева обрабатывались Мизорином, а затем росли на засоленной почве, накапливали на 23–32% меньше сухого вещества, чем при нормальном солевом фоне. В аналогичных условиях предпосевная инокуляция Фитоспорином-М также замедляла ингибирующий эффект от присутствия хлорида натрия в почве, и солеустойчивость растений повышалась на 20–29%. При этом достоверные отличия между действиями эндофитных бактерий **A. mysorens**, шт. 7 и **B. subtilis**, шт. 26Д на засоленных почвах не отмечались. При инокуляции на почвах без избытка ионов натрия и хлора продуктивность была достоверно выше контроля на 7% (11,0 г/сосуд) и 4% (10,7 г/сосуд).

В некоторых исследованиях [16; 17], посвященных выявлению протекторного действия PGPR-бактерий при выращивании сельскохозяйственных культур на почвах с избыточным содержанием хлорида натрия, указывают на высокую эффективность применения эндофитных бактерий **B. subtilis**, шт. 26Д в основе Фитоспорина-М.

Таблица 2

Продуктивность растений и оценка экономической эффективности инокуляции семян горчицы сарептской на засоленных почвах

Вариант	Продуктивность сухой массы		Затраты, руб./га	Дополнительная выручка*, руб./га	Чистый доход**, руб./га	Рентабельность***, %
	г/сосуд	кг/га				
Контроль	10,3	2 060	61 030	—	—	—
Мизорин	11,0	2 200	61 100	—	—	—
Фитоспорин-М	10,7	2 140	61 070	—	—	—
1% NaCl	5,6	1 120	60 560	—	—	—
1% NaCl + Мизорин	7,9	1 580	61 290	7 820	7 090	11,6
1% NaCl + Фитоспорин-М	8,2	1 640	61 320	8 840	8 080	13,2
2% NaCl	5,0	1 000	60 500	—	—	—
2% NaCl + Мизорин	7,7	1 540	61 270	9 180	8 410	13,7
2% NaCl + Фитоспорин-М	7,7	1 540	61 270	9 180	8 410	13,7
3% NaCl	4,7	940	60 470	—	—	—
3% NaCl + Мизорин	7,0	1 400	61 200	7 820	7 090	11,6
3% NaCl + Фитоспорин-М	7,3	1 460	61 230	8 840	8 080	13,2

Примечание: * за счет прибавки урожая сухой надземной массы горчицы в условиях солевого стресса; ** за вычетом затрат на инокуляцию; *** рассчитана только для условий солевого стресса как отношение чистого дохода к затратам (затраты по традиционной технологии с учётом издержек на инокуляцию). Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Однако следует отметить, что в проведенных опытах оба биопрепарата оказались эффективными в условиях сильного засоления. Достоверной разницы между результатами применения Мизорина и Фитоспорина-М при выращивании растений на фоне 1–3% NaCl не было выявлено. При этом отмечалось только незначительное превышение Фитоспорина-М в сравнении с Мизорином по таким показателям, как линейный рост и продуктивность сухой биомассы. В результате солеустойчивость к натриево-хлоридному засолению при использовании данных препаратов повышалась на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl). Полученные сведения подлежат дальнейшему изучению.

Для оценки экономической эффективности инокуляции затраты разделены на условно-постоянные (60 000 руб./га) и переменные (500 руб./т сухой массы). Цена реализации сухой массы горчицы принята на уровне 17 000 руб./т, что соответствует среднерыночной стоимости высокобелковых кормовых культур. Пересчёт с сосуда на гектар выполнен по коэффициенту 200 кг/га на 1 г/сосуд. Инокуляция в условиях засоления (1–3% NaCl) обеспечила прирост урожайности на 0,46–0,54 т/га. Дополнительная выручка от реализации прибавки составила 7,8–9,2 тыс. руб./га. С учётом дополнительных переменных затрат на при-

бавку (500 руб./т) и затрат на биопрепараты (500 руб./га) чистый дополнительный доход от инокуляции достиг 7,1–8,4 тыс. руб./га при рентабельности агроприёма 11,6–13,7%. Это подтверждает, что даже в условиях сильного хлоридного засоления, когда базовая технология без инокуляции экономически неэффективна, применение биопрепаратов обеспечивает положительный экономический эффект и повышает устойчивость агроэкосистемы.

Выводы

Таким образом, результаты проведённого вегетационного опыта выявили, что предпосевная инокуляция семян горчицы сарептской (*Brassica juncea** (L.) Czern) сорта Люкс (к-2643) неспорообразующими (*Arthrobacter mysorens**, шт. 7 – Мизорин) и спорообразующими (*Bacillus subtilis**, шт. 26Д – Фитоспорин-М) ассоциативными штаммами ризобактерий повышает ее солеустойчивость. В среднем солеустойчивость опытных растений к натриево-хлоридному засолению возрастала на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl) по отношению к вариантам без бактериализации. В результате это способствует нивелированию угнетения целого ряда морфофизиологических характеристик данной культуры в условиях сильного натриево-хлоридного засоления: 1% NaCl, 2%

NaCl и 3% NaCl. Показано, что бактериальные препараты на основе PGPR-бактерий способствуют менее резкому снижению всхожести, высоты растений, а также числа листьев, боковых побегов и продуктивности сухих надземных органов.

Засоление отрицательно сказалось на всех морфофизиологических процессах горчицы сарептской. При этом угнетение усиливалось с возрастанием солевого фона и приводило к снижению некоторых изучаемых параметров почти вдвое от контрольных данных. Особенно остро это ингибирование, относительно контроля (10,3 г/сосуд), отразилось на накоплении сухого вещества в надземных органах, где этот показатель снижался на 46% до 5,6 г/сосуд (1% NaCl), на 49% до 5,0 г/сосуд (2% NaCl) и на 54% до 4,7 г/сосуд (3% NaCl). Инокуляция Мизорином позволила снизить этот ингибирующий эффект, удерживая продуктивность на уровне 7,9–7,0 г/сосуд, а Фитоспорин-М повысил солеустойчивость по сухому веществу на 20–29% (до 8,2–7,3 г/сосуд).

В условиях солевого стресса препараты также существенно уменьшили снижение других параметров. Всхожесть, которая снижалась в условиях засоления на 30–57% (до 70–43%), при использовании Мизорина составляла 88–53% (снижение лишь на 12–47%), а при использовании Фитоспорины-М – 74–50%. Линейный рост после инокуляции Мизорином снижался только на 4–9% (59,0–56,0 см), а Фитоспорин-М – на 4–10% (59,3–55,3 см). Бактеризация сократила разницу с контролем по числу листьев на 10–11% (Мизорин) и 8–21% (Фитоспорин-М). Число боковых побегов на фоне 1% NaCl при использовании обоих препаратов полностью возвращалось к контрольному уровню – 5,0 шт. (против 4,0 шт. при засолении почвы).

Ассоциативные штаммы ризобактерий при отсутствии почвенного засоления стимулировали морфофизиологические процессы. По всем изученным параметрам наблюдалось превышение контрольных показателей, за исключением всхожести, где при использовании обоих биопрепаратов были отмечены максимальные значения, равные контрольным – 100%. При инокуляции семян горчицы Мизорином и Фитоспорин-М максимальные превышения составляли около 1/3 относительно контрольного варианта. Выраженная стимуляция отмечалась в отношении таких параметров, как листья (на 27–32% до 8,3–8,0 шт.) и боковые побеги (на 20–40% до 6,0–7,0 шт.) (табл. 1). Продуктивность сухой массы на нормаль-

ном агрофоне достоверно превысила контроль на 7% при обработке Мизорином (11,0 г/сосуд) и на 4% при обработке Фитоспорином-М (10,7 г/сосуд) (табл. 2).

Таким образом, применение биопрепаратов при возделывании горчицы сарептской на почвах, подверженных хлоридному засолению, является экономически оправданным агроприёмом, позволяющим существенно снизить потери урожая и получить дополнительный доход. За счёт сохранения от 0,46 до 0,54 т/га сухой массы надземных органов обеспечивается прирост дополнительной выручки на 7,8–9,2 тыс. руб./га. С учётом издержек на инокуляцию чистый дополнительный доход предприятия составляет от 7,1 до 8,4 тыс. руб./га при рентабельности агроприёма 11,6–13,7%.

Список литературы

1. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022 / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome: FAO, 2022. 382 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/fc06bd1-b7e9-4b94-a6a7-9ba45352976b>. (дата обращения: 26.02.2026). ISBN: 978-92-5-136930-2.
2. Shah A. N., Tanveer M., Abbas A., Fahad S., Baloch M. S., Ahmad M. I., Saud S., Song Y. Targeting salt stress coping mechanisms for stress tolerance in **Brassica**: a research perspective // Plant Physiol. Biochem. 2021. Vol. 158. P. 53-64. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.044.
3. Воробейков Г. А., Лебедев В. Н., Ураев Г. А. Сравнительная оценка влияния биопрепаратов и минеральных удобрений на рост и продуктивность горчицы сарептской (**Brassica juncea** Czern.) // Пермский аграрный вестник. 2022. № 1 (37). С. 14-21. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_37_14.
4. Лебедев В. Н., Кондрат С. В., Ураев Г. А. Формирование структурных элементов продуктивности злаковых и капустных культур при использовании ризобактерий // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 13-19. DOI: 10.17513/use.37679.
5. Ha-Tran D. M., Nguyen T. T. M., Hung S.-H., Huang E., Huang C.-C. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. № 6. P. 3154. DOI: 10.3390/ijms22063154.
6. Воеводина Л. А., Балакай Г. Т. Обзор новых направлений исследований по использованию микроорганизмов для повышения биопроductивности засоленных земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2017. № 4 (28). С. 154-169. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=337>. EDN: ZRWITN.
7. Boostani H. R., Chorom M., Moezzi A. A., Enayatizamir N. Mechanisms of plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) and mycorrhizae fungi to enhancement of plant growth under salinity stress // Sci. J. Biol. Sci. 2014. Vol. 3 (11). P. 98-107. DOI: 10.14196/sjbs.v3i11.1262.
8. Цыбулин В. В. Технология возделывания горчицы сарептской в системе рисовых севооборотов: дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2014. 208 с. URL: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/11486/14210620540.pdf> (дата обращения: 26.02.2026).
9. Царенко В. П., Воробейков Г. А., Ефремова М. А. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии. СПб: Лань, 2023. 192 с. ISBN: 978-5-507-48170-5.
10. Ибатуллина Р. П., Алимова Ф. К., Кожемяков А. П., Кропачкина И. Ю., Менликиев Ф. М. Рекомендации по при-

менению биологических препаратов ООО «НПИ «Биопрепараты» в растениеводстве, кормопроизводстве и животноводстве. Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2017. 136 с. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35323376_24733712.pdf (дата обращения: 26.06.2026). ISBN: 978-5-93962-856-3.

11. Лебедев В. Н., Ураев Г. А. Статистический анализ в биологии с использованием Excel. Часть 1. СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2017. 51 с. ISBN: 978-5-8064-1478-7. EDN: YOFOEX.

12. Лебедев В. Н., Воробейков Г. А., Ураев Г. А. Влияние инокуляции эндофитными ризобактериями на морфофизиологические особенности луковичных культур // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 5-10. DOI: 10.17513/use.38009.

13. Chu T. N., Tran H. B. T., Bui L. V., Hoang M. T. T. Plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas* PS01 induces salt tolerance in *Arabidopsis thaliana* // BMC Res. Notes. 2019. Vol. 12. Art. 11. DOI: 10.1186/s13104-019-4046-1.

14. Pan J., Peng F., Xue X., You Q., Zhang W., Wang T., Huang C. The growth promotion of two salt-tolerant plant groups with PGPR inoculation: a meta-analysis // Sustainability. 2019. Vol. 11. Art. 378. DOI: 10.3390/su11020378.

15. Khan V., Umar S., Iqbal N. Palliating salt stress in mustard through plant-growth-promoting rhizobacteria: regulation of secondary metabolites, osmolytes, antioxidative enzymes and stress ethylene // Plants. 2023. Vol. 12. № 4 Art. 705. DOI: 10.3390/plants12040705.

16. Кузьмина Л. Ю., Архипова Т. Н., Актуганов Г. Э., Галимзянова Н. Ф., Четвериков С. П., Мелентьев А. И. Бактерии родов *Advenella**, *Bacillus** и *Pseudomonas** – перспективная основа биопрепаратов для растениеводства // Биомика. 2018. Т.10. № 1. С. 16-19. EDN: XRLWPB.

17. Arkhipova T., Martynenko E., Sharipova G., Kuzmina L., Ivanov I., Garipova M., Kudoyarova G. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Content of Abscissic Acid and Salt Resistance of Wheat Plants // Plants. 2020. Vol. 9. № 11. Art. 1429. DOI: 10.3390/plants9111429.

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.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 633.1:631.14(470+571)(470.313)
DOI 10.17513/use.38532



CC BY 4.0

ЗЕРНОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В СИСТЕМЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Ступин А. С.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»,
Рязань, Российская Федерация, e-mail: stupin32@yandex.ru*

В статье рассматривается современный уровень зернового производства России и оцениваются перспективы данной отрасли. Проанализирована динамика посевных площадей, урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур в России и Рязанской области. Цель работы заключается в оценке параметров зернового производства России в 2011–2025 гг. с подробным анализом посевных площадей, урожайности и валового сбора зерновых культур в Рязанской области в течение 2016–2025 гг. Источниками данных являлись материалы Федеральной службы государственной статистики. В ходе исследования использовались сравнительный анализ, аналитическое сопоставление и анализ динамических временных рядов. Зерновое производство России обладает потенциалом, который определяется земельными и климатическими ресурсами. Выявлена тенденция увеличения посевных площадей и валового сбора зерновых культур в стране. Проведен детальный анализ посевных площадей, урожайности и валового сбора основных зерновых и зернобобовых культур в Рязанской области. Выявлены особенности динамики посевных площадей, значительные колебания урожайности, зависящие от погодных условий, и устойчивый рост валового сбора зерна. Проведенное исследование подчеркивает важность зернового производства для агропромышленного комплекса России и Рязанской области, выявляя как положительные тенденции, так и проблемные аспекты, требующие дальнейшего изучения и управленческих решений.

Ключевые слова: зерновое производство, агропромышленный комплекс, Россия, Рязанская область, посевные площади, урожайность, валовой сбор, динамика

GRAIN PRODUCTION IN THE RUSSIAN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Stupin A. S.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”,
Ryazan, Russian Federation, e-mail: stupin32@yandex.ru*

The article examines the current level of grain production in Russia and assesses the prospects of this industry. The dynamics of acreage, yield and gross harvest of grain and leguminous crops in Russia and the Ryazan region are analyzed. The purpose of the work is to assess the parameters of Russian grain production in the period 2011–2025 with a detailed analysis of the acreage, yield and gross harvest of grain crops in the Ryazan region during 2016–2025. The data sources were materials from the Federal State Statistics Service. The study used comparative analysis, analytical comparison, and dynamic time series analysis. Russia's grain production has potential, which is determined by land and climate resources. The trend of increasing the acreage and gross harvest of grain crops in the country has been revealed. A detailed analysis of the acreage, yield and gross harvest of the main grain and leguminous crops in the Ryazan region has been carried out. The features of the dynamics of acreage, significant fluctuations in yield, depending on weather conditions, and a steady increase in gross grain harvest are revealed. The study highlights the importance of grain production for the agro-industrial complex of Russia and the Ryazan region, identifying both positive trends and problematic aspects that require further study and management decisions.

Keywords: grain production, agro-industrial complex, Russia, Ryazan Region, sown areas, yield, gross harvest, dynamics

Введение

Основой агропромышленного комплекса России традиционно считается зерновое производство, обеспечивающее продовольственную безопасность страны, снабжение населения продуктами питания, экспортный потенциал и финансовое состояние сельскохозяйственных товаропроизводителей [1–3]. Зерновое производство служит источником сырья для многих отраслей

промышленности, в частности масложировой, мукомольной, крахмальной, хлебобулочной, кондитерской, макаронной, комбикормовой и некоторых других. Кроме того, оно является кормом для большинства видов сельскохозяйственных животных, продукция от которых формирует значимую долю продуктовой корзины населения [4, 5]. Развитие этой отрасли обеспечивается обширными земельными ресурсами, благо-

приятными климатическими условиями, а также опытом аграриев в ведении земледельческих работ. В последние десятилетия зерновое хозяйство России характеризуется устойчивым ростом, оно превращается из импортера в одного из ведущих мировых экспортеров зерна [6].

Перспективы развития зернового производства связаны с внедрением инновационных технологий, цифровых решений, углублением переработки зерна и повышением ресурсной эффективности. Комплексное решение существующих проблем, включающее совершенствование государственной политики и инвестирование в научные разработки, позволит укрепить позиции России как мирового лидера в производстве и экспорте зерна [7, 8].

Цель исследования – оценка динамики посевных площадей и валового сбора зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации за 2011–2025 гг., а также анализ посевных площадей, урожайности и валового сбора зерновых культур Рязанской области за 2016–2025 гг.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования проанализированы посевные площади и валовый сбор зерна зерновых и зернобобовых культур в России в 2011–2025 гг., а также посевные площади, урожайность и валовый сбор зерна зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах Рязанской области за 2016–2025 гг. Использовались сравнительный анализ, метод аналитического сопоставления и анализ динамических временных рядов. Сравнительный анализ применялся для выявления сходств и различий. Метод аналитического сопоставления позволил детально разобрать компоненты по каждой группе показателей и установить их взаимосвязи. Анализ динамических временных рядов использовался для отслеживания изменения показателей во времени и выявления тенденций. Источниками данных служили официальные статистические материалы Росстата и территориального органа Росстата по Рязанской области.

Результаты исследования и их обсуждение

Территория России характеризуется разнообразием почвенно-климатических зон, что определяет размещение озимых и яровых зерновых культур. Они представлены сортами и гибридами озимой или яровой биологических разновидностей, каждая

из которых адаптирована к определенным региональным особенностям [9].

Среди озимых культур доминируют пшеница и рожь. Для роста и развития им требуются прохладная, но не чрезмерно суровая зима с достаточным снежным покровом, служащим естественным утеплителем для всходов. Их начальный рост и развитие приходится на весенние месяцы, а созревание происходит в летний период, когда достаточное количество влаги и тепла способствует формированию урожая. Основные районы выращивания озимых сосредоточены на юге европейской части России, где климат смягчен, а почвы, представленные преимущественно черноземами, отличаются высокой плодородностью [10].

Яровые же зерновые, к которым относятся пшеница, ячмень, овес, просо, гречиха и кукуруза, отличаются иной биологической стратегией. Яровые культуры проходят полный цикл развития от весеннего сева до уборки урожая и используются в регионах, где выращивание озимых ограничено риском зимнего повреждения. Разнообразие яровых позволяет эффективно использовать потенциал различных агроклиматических зон России, обеспечивая продовольственную безопасность страны.

Динамика посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в России за 2011–2025 гг. представлена на рис. 1 [11, 12].

Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что в период с 2011 по 2017 г. наблюдается стабильный рост посевных площадей зерновых культур с 43,5 млн га в 2011 г. до 47,7 млн га в 2017 г. После 2017 г. динамика становится более волатильной. В 2018 г. зафиксировано снижение до 46,3 млн га. В 2019 г. отмечается незначительное увеличение посевных площадей на 0,3 млн га. Период с 2020 по 2023 г. характеризуется относительной стабильностью посевных площадей зернобобовых культур в Российской Федерации, диапазон которых составил 47,0–47,9 млн га. Максимальное значение было зафиксировано в 2020 г. (47,9 млн га), что свидетельствует о расширении посевных площадей. Указанное значение не является снижением, а напротив, отражает положительную динамику посевных площадей в этот период. Дальнейшее снижение в 2021 г. могло быть связано с экономическими факторами, изменением климатических условий, государственной политики в области сельского хозяйства или сокращением рентабельности производства определенных видов зерновых.

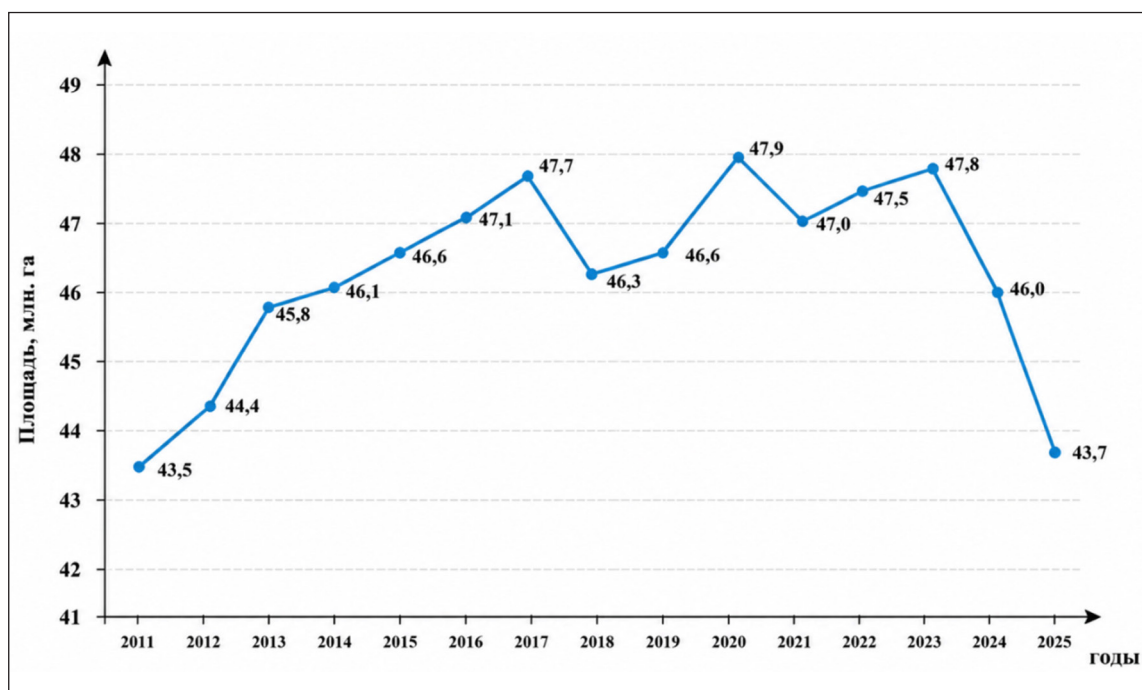


Рис. 1. Площади зерновых и зернобобовых культур в России в 2011–2025 гг.
Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 1

Посевные площади зерновых и зернобобовых культур
в хозяйствах Рязанской области, тыс. га

Культура [ЕМИСС]	Посевная площадь по годам, тыс. га									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Зерновые и зернобобовые культуры	575,7	596,6	576,6	630,5	681,3	702,8	725,0	724,6	719,3	719,2
В том числе: озимые зерновые культуры	270,4	278,9	288,2	321,9	324,1	298,7	350,0	156,5	329,4	333,8
Из них: пшеница	263,1	269,7	279,7	314,6	312,7	288,3	339,2	145,4	317,4	320,1
рожь	6,1	7,4	6,6	5,9	8,6	9,3	8,9	10,2	11,3	12,6
ячмень	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0
тритикале	1,2	1,8	1,9	1,3	2,1	1,1	1,8	0,9	0,7	1,1
Яровые зерновые и зернобобовые культуры	305,3	317,7	288,4	308,6	357,2	404,1	375,1	568,1	389,9	385,3
Из них: пшеница	39,8	51,1	51,6	57,5	81,8	154,0	123,0	248,7	143,9	122,7
ячмень	165,0	153,9	157,6	172,1	186,0	161,1	153,5	184,9	105,7	108,9
тритикале	—	—	—	—	—	0,2	0,4	—	0,2	—
овес	16,5	16,4	15,5	14,4	17,2	14,3	14,6	16,0	10,7	9,8
Кукуруза на зерно	23,8	22,1	12,8	20,8	28,9	27,6	33,0	40,4	32,4	36,9
просо	0,0	0,1	—	0,0	0,1	—	—	—	—	—
гречиха	2,2	7,0	3,9	1,2	4,2	1,9	3,3	6,2	4,6	0,9
Зернобобовые культуры	58,0	67,1	47,0	42,6	39,0	44,9	47,3	71,3	92,4	105,9

Примечание: составлена автором на основе данных Росстата.

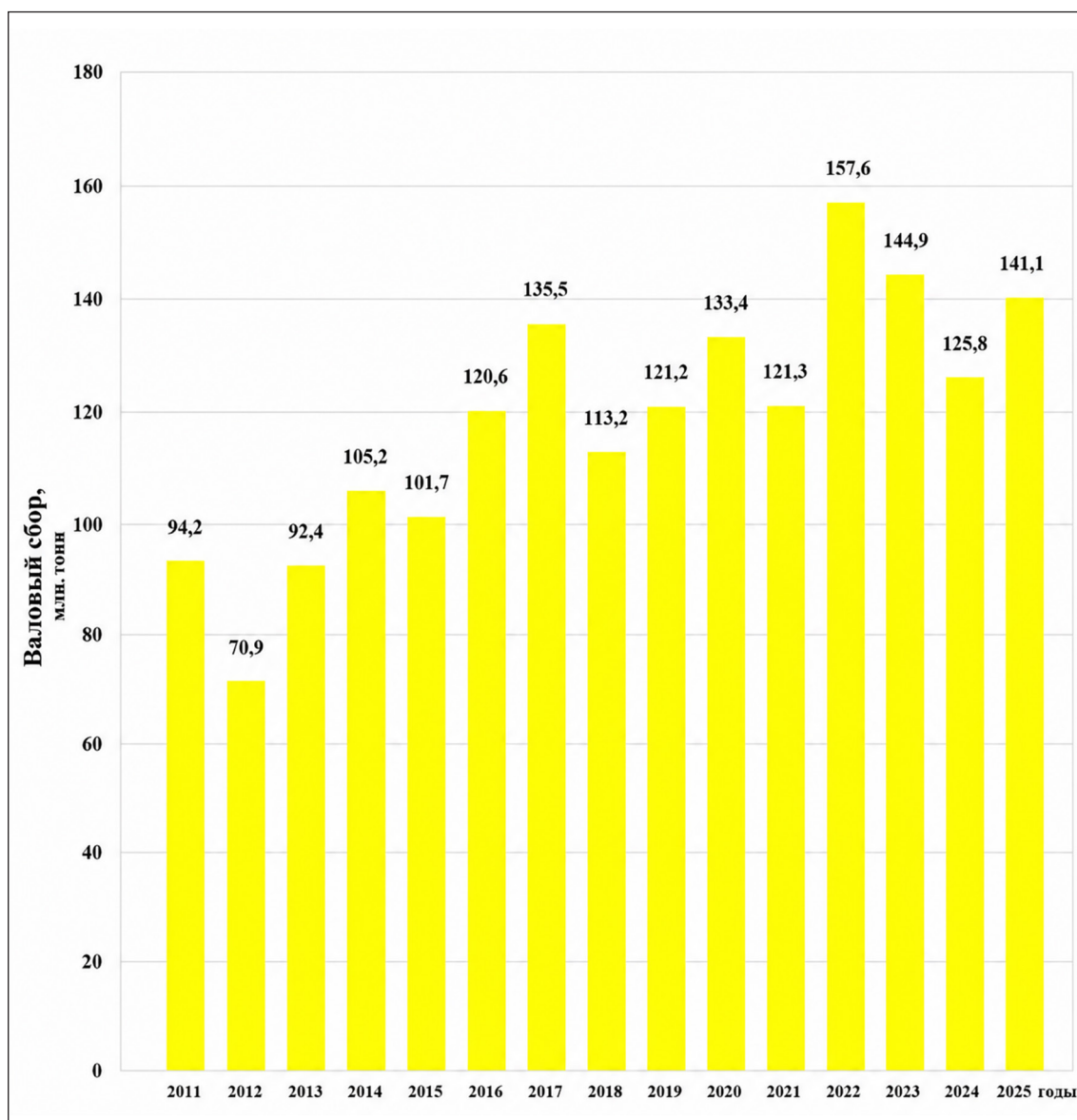


Рис. 2. Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в России в 2011–2025 гг., млн т.
Примечание: составлен автором на основе данных Росстата

Снижение площади обрабатываемых земель зафиксировано в период с 2024 по 2025 г. Если в 2024 г. этот показатель составлял 46,0 млн га, то к 2025 г. он сократился до 43,7 млн га, что является наиболее существенным падением за весь рассматриваемый период. Одной из причин сокращения посевных площадей под зерновыми культурами является перераспределение пашни в пользу более доходных масличных и зернобобовых культур.

Одним из основных производственных показателей зернового производства является валовой сбор зерновых и зернобобовых культур (рис. 2) [13].

С 2011 по 2012 г. наблюдалось снижение валового сбора зерна с 94,2 млн до 70,9 млн т, что могло быть вызвано неблагоприятными погодными условиями или сокращением посевных площадей. С 2013 г. начался устойчивый рост. Максимальный валовой сбор зафиксирован в 2022 г. (157,6 млн тонн), с последующим снижением до 125,8 млн т в 2024 г.

Рязанская область является одним из регионов Центральной России, где зерновые культуры занимают значимое место в структуре растениеводства. Регион обладает плодородными черноземными и серыми лесостепными почвами, а также умеренно

континентальным климатом. Эти природно-климатические особенности создают благоприятные условия для развития как озимых, так и яровых зерновых культур, делая регион значимым участником аграрного сектора России [14, 15]. Динамика посевных площадей в Рязанской области (табл. 1) характеризует общие тенденции развития сельского хозяйства с учетом специфических региональных особенностей.

Площади под озимыми зерновыми культурами характеризуются колебаниями. Увеличение посевов зернобобовых культур до 105,9 тыс. га к 2025 г. может свидетельствовать о диверсификации структуры посевов, однако влияние на экономическую эффективность требует дополнительного анализа. Посевы яровых зерновых и зернобобовых культур демонстрировали более устойчивую динамику роста, достигнув 568,1 тыс. га к 2023 г. [16]. Увеличение посевов зернобобовых культур, до 105,9 тыс. га к 2025 г., свидетельствует о тренде к диверсификации севооборотов и повышении экономической эффективности аграрного сектора Рязанской области.

В табл. 2 представлена урожайность зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах Рязанской области, которая связана с площадью посевов, продуктивностью культур и погодными условиями вегетационного периода [17, 18]. Данные табл. 2 показывают, что урожайность большинства зерновых

культур в Рязанской области существенно варьировала по годам. Это может быть связано с погодными условиями, однако для подтверждения такой зависимости необходим анализ метеорологических данных. Озимая пшеница, являясь одной из ключевых культур, обладает стабильно высокой урожайностью, превышающей 3,0 т/га в большинстве лет, с максимальными значениями в 2020 (4,5 т/га), и 2022 (4,7 т/га) и 2025 (4,8 т/га) гг.

Яровая пшеница показывает аналогичную картину. Кукуруза характеризуется высокой урожайностью, которая превосходит 5,0 т/га и достигает 8,5 т/га в 2025 г. Гречиха и просо, напротив, обладают относительно низкими и нестабильными показателями урожайности [19].

Важным показателем развития зернового хозяйства Рязанской области является валовой сбор сельскохозяйственных культур. Он зависит от посевной площади и урожайности, на которые могут влиять метеорологические условия вегетационного периода. Анализ валового сбора, в отличие от динамики посевных площадей и урожайности, дает более полную картину производительности аграрного сектора [20].

Общий валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в Рязанской области демонстрирует выраженный рост в рассматриваемый период, с 1554,8 тыс. т в 2016 г. до 3106,0 тыс. т в 2025 г. (табл. 3).

Таблица 2

Урожайность зерновых и зернобобовых культур
в хозяйствах Рязанской области, т/га

Культура [Рязаньстат]	Годы									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Пшеница озимая	3,4	4,2	3,2	3,2	4,5	3,3	4,7	3,8	4,2	4,8
Пшеница яровая	2,7	3,7	2,7	3,8	4,5	3,2	4,2	4,1	3,2	4,3
Рожь озимая	2,4	2,6	2,7	2,6	3,6	3,0	3,3	3,9	2,8	3,7
Рожь яровая	—	—	—	—	—	—	—	6,5	—	—
Ячмень озимый	—	2,6	2,5	2,8	3,5	2,6	3,5	3,2	3,0	3,6
Ячмень яровой	2,1	3,1	2,6	3,2	3,5	3,0	3,9	3,7	3,3	4,1
Тритикале озимая	2,8	3,2	3,0	2,8	4,0	2,1	4,2	3,7	2,8	3,1
Тритикале яровая	—	—	—	—	—	2,1	2,9	3,2	2,1	2,2
Кукуруза на зерно	6,0	4,9	4,3	6,7	5,9	5,2	5,3	7,5	6,3	8,5
Овес	1,8	2,6	2,1	2,2	2,7	2,2	2,7	2,6	2,3	2,8
Просо	0,6	0,5	—	1,5	1,8	—	—	—	—	—
Гречиха	0,9	0,8	0,6	1,2	1,0	1,3	1,5	1,8	1,0	0,9
Зернобобовые культуры	2,1	2,8	1,8	2,1	3,0	2,5	2,8	3,1	2,4	2,8

Примечание: составлена автором на основе данных Рязаньстата.

Таблица 3

Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур
в хозяйствах Рязанской области, тыс. т

Культура [Рязаньстат]	Годы									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Зерновые и зернобобовые культуры (в весе после доработки)	1554,8	2083,3	1609,1	2047,6	2793,7	2236,5	3065,6	2780,3	2658,0	3106,0
Пшеница озимая и яровая	977,0	1291,0	1016,5	1229,0	1776,2	1436,3	2117,4	1560,5	1783,8	2038,3
Рожь озимая и яровая	14,2	19,5	18,0	15,1	31,2	28,0	29,1	39,7	31,2	42,1
Ячмень озимый и яровой	295,4	471,3	404,1	541,4	645,0	483,3	587,3	681,5	344,9	443,7
Тритикале озимая и яровая	3,3	5,6	5,8	3,7	8,5	2,5	8,6	4,4	2,5	3,8
Кукуруза на зерно	134,2	77,6	55,6	137,8	168,0	142,3	146,1	223,0	251,0	261,9
Овес	24,1	42,2	31,0	31,7	45,5	30,6	39,1	41,5	24,8	27,8
Просо	–	–	–	–	0,1	–	–	–	–	–
Гречиха	1,9	4,8	1,7	1,3	4,0	2,2	4,8	9,8	4,2	0,7
Зернобобовые культуры	104,7	171,3	76,4	87,6	115,2	111,2	133,0	219,9	215,5	287,3

Примечание: составлена автором на основе данных Рязаньстата.

По данным табл. 3 видно, что валовой сбор озимой и яровой пшеницы в целом увеличился. Максимальный показатель общего валового сбора зафиксирован в 2025 г. Валовой сбор озимого и ярового ячменя обладает колебательными тенденциями, при этом максимальные показатели наблюдались в 2023 г. Кукуруза на зерно демонстрирует стабильно высокую урожайность. Зернобобовые культуры также показывают стабильное увеличение валового сбора, особенно в 2025 г.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют об общей положительной динамике валового сбора зерновых и зернобобовых культур при значительной межгодовой вариативности урожайности. Практические выводы о продовольственной безопасности и экспортном потенциале требуют дополнительного экономического анализа. В Российской Федерации отмечается волатильность посевных площадей, в 2025 г. наблюдалось их сокращение до 43,7 млн га. При этом в Рязанской области зафиксирован устойчивый рост площадей – до 719,2 тыс. га. Валовой сбор зерновых в стране достиг максимума в 2022 г. (157,6 млн т), но к 2024 г. отмечается его снижение, в то время как в Рязанской

области объем производства стабильно увеличивался и к 2025 г. составил 3106,0 тыс. т. Высокие и растущие показатели урожайности в регионе (в том числе 8,5 т/га по кукурузе и 4,8 т/га по озимой пшенице в 2025 г.) свидетельствуют о повышении эффективности земледелия. Особого внимания заслуживает активное расширение посевов зернобобовых культур в Рязанской области: их площадь в 2025 г. составила 105,9 тыс. га, а валовой сбор – 287,3 тыс. т, что отражает структурные изменения в региональной агрополитике.

Список литературы

1. Яркова Т. М. Проблемы и перспективы развития зернового хозяйства России в условиях мировой торговли // Экономика, предпринимательство и право. 2024. Т. 14. № 7. С. 3861–3872. DOI: 10.18334/epp.14.7.121388.
2. Губанова Е. В., Кочергина Т. В., Хохолуш М. С. Пространственная организация зернового производства в РФ // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). С. 113–122. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-8-113-122.
3. Сидоренко О. В., Ильина И. В. Устойчивость производства зерна в регионах Российской Федерации // Вестник аграрной науки. 2020. № 1 (82). С. 135–144. DOI: 15217/48484.
4. Ариничев И. В., Сидоров В. А. Инновационное развитие АПК: цифровые технологии в управлении бизнес-процессами производства зерна // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 187–192. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_65427602_76479318.pdf (дата обращения: 27.06.2026).

5. Широков С. Н., Кузнецова А. Р., Трушкина И. Р. Анализ тенденций мирового производства зерна // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67. № 1 (397). С. 37–42. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_1_37.
6. Кумратова А. М. Теоретические аспекты определения продуктивности зернового производства России // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2021. № 3 (285). С. 35–42. DOI: 10.53598 / 2410-3683-2021-3-285-35-42.
7. Яркова Т. М. Кризис перепроизводства зерновых культур в России // Продовольственная политика и безопасность. 2025. Т. 12. № 2. С. 467–482. DOI: 10.18334/ppib.12.2.122726.
8. Зюкин Д. А., Святлова О. В., Беляев С. А., Репринцева Е. В. География и перспективы российского экспорта зерновых культур // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1 (391). С. 106–110. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_106.
9. Смоленцева Е. В. Экономика и размещение производства зерновых культур в Российской Федерации // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 6 (36). С. 125–128. URL: [https://scienceproblems.ru/images/PDF/ПЧО%206%20\(36\)%20сайт.pdf](https://scienceproblems.ru/images/PDF/ПЧО%206%20(36)%20сайт.pdf). (дата обращения: 09.06.2026).
10. Хрипунов А. И., Община Е. Н., Морозов Н. А. Влияние агрометеорологических условий осеннего периода на начальный рост, развитие и урожайность озимой пшеницы по различным предшественникам в засушливой зоне Ставрополя // Известия ОГАУ. 2019. № 3 (77). С. 64–67. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-agrometeorologicheskikh-usloviy-osennogo-perioda-na-nachalnyy-rost-razvitiye-i-urozhaynost-ozimoy-pshenitsy-po-razlichnym/viewer>. (дата обращения: 09.06.2026).
11. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 09.06.2026).
12. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru> (дата обращения: 09.06.2026).
13. Российская Федерация. Министерство сельского хозяйства (Минсельхоз). [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.gov.ru/> (дата обращения: 09.06.2026).
14. Пашканг Н. Н., Мартынушкин А. Б., Романова Л. В., Стоян М. В. Состояние зернового хозяйства в Рязанской области: основные проблемы и пути их решения // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. № 2. С. 35–50. DOI: 10.36718/2500-1825-2022-2-35-50.
15. Левакова О. В., Сокол В. Ю. Сравнительная характеристика урожайности и элементов продуктивности новых сортов ячменя ярового в условиях Рязанской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4 (52). С. 189–196. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-189-196.
16. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Рязанской области (Рязаньстат). [Электронный ресурс]. URL: <https://62.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 29.06.2026).
17. Гаспарян С. В. Материально-техническая база зернопроизводителей Рязанской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 3 (78). С. 134–138. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/materialno-tehnicheskaya-baza-zernoproizvoditeley-ryazanskoj-oblasti> (дата обращения: 30.06.2026).
18. Ступин А. С. Современные аспекты развития зернового производства Рязанской области // Успехи современного естествознания. 2025. № 5. С. 6–12. URL: 10.17513/use.38390 (дата обращения: 30.06.2026).
19. Рязанская область. Министерство сельского хозяйства и продовольствия. [Электронный ресурс]. URL: <https://agro.ryazan.gov.ru> (дата обращения: 29.06.2026).
20. Гравшина И. Н., Денисова Н. И. Аналитический обзор показателей развития растениеводства в Рязанской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 26–33. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29880271_12345254.pdf (дата обращения: 29.06.2026).

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.

СТАТЬИ

УДК 551.4.08:502.3:796.57(571.56)
DOI 10.17513/use.38533



CC BY 4.0

ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРНОГО УЛУСА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СПЛАВНОГО ТУРИЗМА В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Николаев А. А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова», Якутск,
Российская Федерация, e-mail: cd051@mail.ru*

Целью статьи является эколого-геоморфологическая оценка Горного улуса Республики Саха (Якутия) для организации сплавного туризма в особо охраняемых природных территориях данного муниципального образования. Материалом исследования явились полевые работы, проведенные летом 2025 года, применялись геоморфологические, геологические, климатические, архивные методы изучения района исследований. В геоморфологическом отношении территория представляет собой переходную зону от Среднесибирского плоскогорья к Верхоянской горной системе с абсолютными средними высотами 250–300 м от уровня моря. Это обуславливает сочетание выровненных платообразных поверхностей с отдельными останцовыми массивами и эрозионными формами рельефа. Для нее характерен полого-увалистый рельеф с абсолютными отметками, постепенно повышающимися в южном и восточном направлениях при переходе к передовым хребтам мезозойской складчатости. Процессы денудации и аккумуляции здесь тесно взаимосвязаны, формируя сложный рисунок речных долин и водоразделов. В ходе изучения района исследований выявлено, что рельеф формирует спокойный характер рек, берега сложены песчаниками, отмелями песков, небольшими галечниками – это условия, благоприятные для развития сплавного туризма. Реки замерзают в октябре и освобождаются ото льда в конце мая. Пригодность сплавного туризма по рекам с июня по сентябрь. Помимо сплавного туризма, в особо охраняемых природных территориях улуса возможна организация нескольких видов экологического туризма: хайкинг, трекинг, велотуризм, конный, научный, спелеотуризм, агротуризм.

Ключевые слова: горный улус, равнинный туризм, экологический туризм, природный парк «Синяя», гидрологический режим рек Горного улуса, сплавные виды туризма, Синские Столбы

ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF A GORNY ULUS FOR ORGANIZING RIVER-FLOATING TOURISM IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

Nikolaev A. A.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov»,
Yakutsk, Russian Federation, e-mail: cd051@mail.ru*

The aim of this article is to conduct an ecological and geomorphological assessment of the Gorny Ulus in the Republic of Sakha (Yakutia) for the purpose of organizing river-floating tourism in the municipality's specially protected natural areas. The study was conducted during the summer of 2025, using geomorphological, geological, climatic, and archival methods to study the study area. Geomorphologically, the territory constitutes a transitional zone between the Central Siberian Plateau and the Verkhoyansk mountain system, with average elevations of 250–300 meters above sea level. This results in a combination of leveled, plateau-like surfaces with isolated residual massifs and erosional landforms. It is characterized by gently rolling topography with absolute elevations gradually rising to the south and east as they transition to the advanced ridges of the Mesozoic folding system. Denudation and accumulation processes are closely interrelated here, creating a complex pattern of river valleys and watersheds. During the study of the research area, it was discovered that the topography creates a calm riverbed, with banks composed of sandstone, sandbars, and small pebbles, which are favorable for rafting tourism. The rivers freeze over in October and are free of ice in late May. Rafting tourism is suitable from June to September. In addition to river-based tourism within the *ulus's* specially protected natural areas, it is possible to organize several other types of ecotourism: hiking, trekking, cycling, horseback riding, scientific tourism, caving, and agritourism.

Keywords: Gorny Ulus, plains tourism, ecotourism, «Sinyaya» Nature Park, hydrological regime of Gorny Ulus rivers, river-based tourism activities, Sinskie Pillars

Введение

Горный улус Республики Саха (Якутия) расположен в центральной части Якутии, в обширном Лено-Вилуйском междуречье. Площадь территории улуса составляет 45,6 тыс. км². Общая численность населе-

ния на 1 января 2025 года – 11 958 человек. В состав Горного улуса входят 9 наслегов (муниципальных образований), объединяющих 16 сельских населённых пунктов. Административным центром является село Бердигестях. Улус является сельскохозяй-

ственным, развито скотоводство и коневодство, сенокосение, точечное земледелие и овощеводство. На территории улуса действуют три особо охраняемые природные территории (ООПТ): природный парк «Синяя» и два ресурсных резервата республиканского значения – «Харыялахский» и «Бэс-Кюель»¹. Они удобно расположены к городу Якутску (с ним связывает современная автомобильная магистраль «Виллюй»), что делает их весьма перспективными объектами ООПТ для развития туризма. В настоящее время эколого-геоморфологическая оценка пригодности улуса для сплавного вида туризма до сих пор не изучена, между тем в природном парке «Синяя» уже проводятся сплавные туры туристическими операторами и компаниями. Горный улус уделяет большое внимание развитию туризма. Так, в последние годы там строятся туристические базы, кемпинги, места отдыха, которые пользуются популярностью у населения, так как расположение и географическая близость с г. Якутском предопределяет их довольно быстрое развитие.

Целью исследования является эколого-геоморфологическая оценка Горного улуса Республики Саха (Якутия) для организации сплавного туризма в ООПТ.

В задачи исследования входят:

- геолого-геоморфологическая оценка территории Горного улуса;
- эколого-географическая и климатическая оценки Горного улуса;
- гидрологическая характеристика рек Горного улуса;
- разработка рекомендаций для развития экотуризма в Горном улусе и на территориях ООПТ.

Материалы и методы исследований

Эколого-геоморфологическая оценка Горного улуса для развития сплавных видов туризма до сих пор не дана, тогда как близкое географическое расположение улуса к городу Якутску является одним из актуальных вопросов в развитии туризма не только в улусе, но и в регионе.

Так, например, исследователи Аргунов А. И. и Пахомова Л. С. высказывают свои мнения: «Основной проблемой для организации сплавов является недостаток информационного обеспечения. Очень слабо изучена и описана тема сплавного туризма

в Якутии. Информация встречается в основном в коротких статьях, которые были написаны еще много лет назад» [1]. Исследования водного туризма выполнены в последние годы в России немногими исследователями и авторами [2-4], поэтому есть некоторые проблемы «скудости» в научно-методической части исследования. Авторы исследовали гидрологические особенности рек и сделали общую характеристику рек Горного улуса, руководствуясь такими методами, как изучение водного баланса по Бортновскому З. В. [4]. Эколого-геоморфологические исследования территорий отражены в работах авторов [5-7]. Интересная работа у авторов [8]. Авторами были сделаны в предыдущие годы такие исследования, как эколого-географические оценки ООПТ Республики Саха для различного использования [9-11]. Для анализа сплавного туризма территории улуса наиболее бы подошло эколого-геоморфологическое оценивание, так как необходимо обосновать не только ландшафты, но и рельеф, а также слагающие его породы. В ходе исследования были также использованы работы Зырянова А. И., Петрова Ю. В., Калущкова В. Н. [12-14]. Помимо сплавного туризма, авторами изучен потенциал развития других видов туризма в улусе, отчасти в ООПТ. Материалами исследования явились полевые геологические, геоморфологические, природные оценки участков и рельефа Горного улуса, долин рек, проведенные в июле-августе 2025 года на участках рр. Синяя, Матта, Кэнкэмэ, Ситте и Чыра.

Результаты исследования и их обсуждение

Горный улус расположен в центральной части Якутии и относится к категории зональных природных комплексов – средне-таёжных лиственных лесов в пределах Лено-Виллюйской аласно-таёжной равнины, Приленского и Лено-Алданского пластовых плато.

Горный улус – это область интенсивного сжатия и складчатости мезозойских осадочных пород, в то время как горы юга – это древние кристаллические блоки фундамента поднятия, улус находится в зоне сочленения двух крупнейших тектонических структур – Сибирской платформы и Верхояно-Колымской складчатой области. Это определяет сложность и неоднородность её геологического строения. Северная и центральная части улуса относятся к Сибирской платформе. Здесь фундамент зале-

¹ 130 ООПТ. Сайт ГБУ РС(Я) «Дирекция Биологических ресурсов, особо охраняемых природных территорий и природных парков». URL: <https://dbrsakh.ru/130-oopt> (дата обращения: 15.05.2026).

гает на различной глубине более 2000 метров, а платформенный чехол сложен осадочными породами.

Южная и восточная части района относятся к области мезозойской складчатости. Это зона интенсивных тектонических движений, где осадочные породы юрского и мелового периодов смяты в складки.

В пределах платформенной части район характеризуется как область древних кристаллических блоков фундамента, которые в рельефе выражены в виде поднятий. На территории Горного улуса платформенные магматические комплексы как трапповый магматизм практически отсутствуют или имеют ограниченное распространение. В геологическом разрезе района широко представлены отложения мезозойской эры, слагающие как платформенный чехол, так и складчатые области.

Юрская система представлена преимущественно морскими и прибрежно-морскими осадочными породами: песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Они участвуют в строении разрезов предгорных прогибов и складчатых зон. Породы мелового возраста также имеют широкое распространение. Они представлены как континентальными (пески, глины), так и морскими фациями, накопившимися в период завершения мезозойской складчатости.

Рельеф и поверхностные отложения Горного улуса сформировались под влиянием неотектонических движений и многократных изменений климата – оледенений и межледниковий в четвертичном периоде. Значительную роль в формировании современного облика территории сыграли также криогенные процессы, обусловленные широким распространением многолетнемерзлых пород².

В геоморфологическом отношении территория представляет собой переходную зону от Среднесибирского плоскогорья к Верхоянской горной системе с абсолютными средними высотами 250-300 м от уровня моря. Это обуславливает сочетание выровненных платообразных поверхностей с отдельными останцовыми массивами и эрозионными формами рельефа. Основные генетические типы четвертичных отложе-

ний: 1) элювиальные отложения (е III-IV). Возраст – верхний плейстоцен – голоцен. Образуются на месте в результате физического (морозного) и химического выветривания коренных пород. Представлены щебнем, дресвой, суглинками и супесями. Приурочены к водораздельным пространствам, вершинам и пологим склонам возвышенностей. В условиях сурового климата процессы морозного растрескивания способствуют активному накоплению крупнообломочного материала; 2) делювиально-солифлюкционные отложения (Ds III-IV). Возраст – верхний плейстоцен – голоцен. Формируются на склонах различной крутизны под совместным действием силы тяжести, плоскостного смыва дождевыми и тальными водами, а также процессов солифлюкции – медленного вязкопластичного течения переувлажненных тонкодисперсных грунтов, оттаивающих в теплый период. Это самый распространенный тип отложений на склонах в пределах Горного улуса. Литологический состав представлен суглинками, супесями, глинами с включениями обломочного материала, часто имеющими неясную слоистость; 3) аллювиальные отложения (а II). Возраст – средний плейстоцен. Связаны с деятельностью древних и современных рек (бассейн Вилюя, Синей и др.). Слагают поймы и надпойменные террасы речных долин. Представлены хорошо промытыми галечниками, песками и гравийниками, нередко содержащими линзы суглинков. В долинах крупных рек аллювий формирует мощные толщи, служащие источником строительных материалов; 4) озерно-аллювиальные и озерные отложения. Имеют локальное распространение, приурочены к участкам древних озерных котловин и выровненным днищам террас. Представлены тонкослоистыми суглинками, глинами и алевролитами с прослоями торфа.

Современные рельефообразующие процессы. В настоящее время на территории активно проявляются следующие процессы: криогенные (пучение грунтов, термокарст, солифлюкция, морозобойное растрескивание); эрозионные (речная – боковая и глубинная и овражная эрозия на склонах, особенно в зонах, нарушенных хозяйственной деятельностью или пожарами); гравитационные (осыпи и обвалы на крутых склонах останцовых гор и долин крупных рек).

В соответствии с геоморфологическим районированием территория Горного улуса относится к области платформенных

² Геологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:1500000. 1978 г. Главный редактор Л. И. Красный. Редакционная коллегия: Г. В. Бархатов, В. А. Биланенко, И. Д. Ворона / Министерство геологии СССР. Министерство геологии РСФСР. Якутское ордена Ленина территориальное геологическое управление. URL: http://neotec.ginras.ru/neomaps/M015_Yakutia_1978_Geology_Geologicheskaya-karta-yakutskoy-assr.html (дата обращения: 15.05.2026).

равнин, плоскогорий и плато с останцовыми горами. В частности, здесь выделяется денудационная возвышенная равнина. Это обширное выровненное пространство, сформировавшееся в результате длительной денудации древних кристаллических и осадочных пород в условиях континентального режима. Для территории характерен полого-увалистый рельеф с абсолютными отметками, постепенно повышающимися в южном и восточном направлениях при переходе к передовым хребтам мезозойской складчатости. Процессы денудации и аккумуляции здесь тесно взаимосвязаны, формируя сложный рисунок речных долин и водоразделов [15].

Главная водная артерия улуса – река Синяя (Сиинэ, по якут.) с притоком Матта³. Климат резко континентальный, характерный для всей Центральной Якутии. Снежный покров – с 12 октября по 30 апреля. В условиях Центральной Якутии устойчивый снежный покров держится в среднем 210–225 дней, т. е. около 7 месяцев. Снежный покров может устанавливаться раньше указанного срока. Обычно первый устойчивый снег ложится в конце октября. Сход снежного покрова завершается к 30 апреля – 14 мая. Максимальная высота снежного покрова в районе составляет около 37 см, что обусловлено влиянием Сибирского антициклона и малым количеством зимних осадков

С 20 мая начинается ледоход. Ледоход на реках Горного улуса (Синяя, Матта) напрямую зависит от вскрытия Лены, так как Синяя является ее крупным левым притоком. Вскрытие рек происходит в третьей декаде мая. Средняя многолетняя дата начала ледохода на реке Лена – 23 мая. Для горных и полугорных рек улуса характерны весенние половодья, возникающие за счет таяния снега, снеговое питание составляет 50–70% годового стока. Из-за наличия вечной мерзлоты, которая служит водопором, вода во время ледохода поднимается быстро и резко. В узких участках долины реки Синей, в районе Синских столбов возможны заторы льда⁴.

Вегетационный период длится с 13 мая по 19 сентября. Вегетационный период в

улусе короче, чем в европейской части России, и характеризуется высокой вероятностью возвратных заморозков. Безморозный период в центральной Якутии длится в среднем 95–100 дней. Таким образом, активная вегетация (температура выше +5 °С) часто начинается не с 13 мая, а чуть позже – после полного схода снега и спада половодья. Заморозки возможны в течение всего лета. В отдельные годы при вторжении холодных масс с севера они случаются даже в июле, что критично для сельского хозяйства (скотоводства и коневодства). Вегетационный период завершается в сентябре. Первые серьезные снегопады, способные прекратить вегетацию, могут идти уже во второй половине сентября, как это было в 2025 году.

С 1 ноября происходит начало ледостава. Для малых и средних рек Горного улуса (рр. Матта, Кэнкэмэ, Ситтэ) характерны особенности, связанные с суровостью климата и вечной мерзлотой. Реки начинают замерзать в конце октября – начале ноября. Однако из-за малой глубины и слабого подземного питания (всего 7% от стока) многие малые реки и перекаты промерзают зимой до дна. В зимний период, когда температура воздуха опускается до -50 °С и ниже, ледовый покров достигает максимальной толщины. Ледостав является устойчивым и длится до мая. Для территории характерно образование наледей (тарынов) в местах выхода грунтовых вод на поверхность, что отличает горные и предгорные районы Якутии от равнинных.

Годовая амплитуда температур в улусе достигает экстремальных значений. Средняя температура января составляет -41,3 °С, абсолютный минимум может опускаться ниже 60 °С, тогда как в июле воздух прогревается до +35...+37 °С. Это влияет на глубину промерзания грунта и режим рек⁵.

Территория улуса находится в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты. Наибольшая мощность криолитозоны достигает 400–700 метров. Мерзлота является ключевым фактором, формирующим рельеф (аласы и булгунняхы) и гидрологию (быстрый спад воды после паводков, промерзание малых рек)⁶.

³ Государственный водный реестр. Сайт Федерального агентства водных ресурсов. URL: <http://voda.gov.ru/activities/gosudarstvennyy-vodnyy-reestr/> (дата обращения: 15.05.2026).

⁴ Реки Якутии. Обзор состояния водных объектов на территории Республики Саха (Якутия). Сайт ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <https://ykuthydromet.ru/reki/> (дата обращения: 15.05.2026).

⁵ О погоде. Сайт ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <https://ykuthydromet.ru/o-pogode/> (дата обращения: 15.05.2026).

⁶ Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А. Н., Торговкин Я. И., Шестакова А. А., Васильев Н. Ф., Макаров В. С. и др.; гл. ред. М. Н. Железняк. Якутск. ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л. URL: <http://mpi.ysn.ru/ru> (дата обращения: 15.05.2026).



Рис. 1. Синские столбы на р. Синяя (фото автора, 15.07.2025)

Анализ сезонных явлений для Горного улуса Республики Саха (Якутия) показывает, что исходные календарные сроки требуют корректировки с учетом резко континентального климата и криолитозоны. Устойчивый снежный покров держится дольше (около 7 месяцев) и может устанавливаться уже в сентябре. Ледоход на реках Синяя и Матта начинается в среднем 23 мая. Vegetационный период длится около 100 дней и подвержен риску заморозков в течение всего лета. Ледостав на малых реках наступает в начале ноября, однако многие водотоки промерзают до дна зимой. Хозяйственная деятельность населения (табунное коневодство, скотоводство) строго подчинена этим природным ритмам и особенностям вечной мерзлоты.

Территория улуса находится в подзоне среднетаежных лесов. Преобладают полосы гибридных форм лиственницы – лиственницы Гмелина и лиственницы Каяндера. Значительные площади заняты сосновыми лесами. В долинах рек, на наиболее увлажненных участках, встречается ель сибирская.

Синские столбы – это уникальный природный объект улуса (рис. 1). Встречаются древние наскальные рисунки и рунические письмена на скалах. Много не исследованных карстовых пещер. Река Синяя на этом участке сильно петляет, и ледовые явления здесь проходят иначе, чем на равнинных участках. Затопы во время ледохода

более мощные, а зимой из-за быстрого течения могут сохраняться полыньи.

Все реки улуса относятся к бассейну реки Лены. Основные характеристики рек улуса представлены в таблице 1. На территории улуса имеются многочисленные озера различной формы и происхождения и преимущественно аласного типа – термокарстовые котловины, характерные для Центральной Якутии. Пойменные – в долинах рек Синей, Матты и Чыры. Ледниково-тектонические на Приленском плато. Наиболее известные и крупные озера улуса – оз. Арбанда и оз. Тюгюэне.

Густота речной сети улуса 0.3-0.5 км/км². Объем речного стока улуса – менее 1-2 л/с с 1 км². Типы речных русел – свободно меандрирующие, в нижнем течении – с выраженной поймой. В жаркое лето река мелеет и представляет собой цепь плесов и перекатов.

Особенности гидрологического режима рек Горного улуса следующие. Зимняя межень (январь–апрель) – реки либо промерзают до дна, либо имеют крайне низкий подледный сток из-за вечной мерзлоты. Весеннее половодье (май) – основной источник питания (снеговое), подъем воды резкий и высокий. Летне-осенние паводки (июль–сентябрь) – связаны с дождевым питанием, наблюдаются два пика (конец июля и сентябрь). Ледостав (октябрь–ноябрь) – устойчивый ледовый покров, на малых реках промерзание до дна (табл. 2).

Таблица 1

Характеристика основных рек Горного улуса

Параметры и характеристика	р. Синяя	р. Матта	р. Чыра	р. Кэнкэмэ	р. Ситте
Длина, км	597	195	181	589	431
Площадь бассейна, км ²	30900	4110	3310	10 000	8250
Устье	Впадает в реку Лена в 1716 км от ее устья	Впадает в р. Синяя в 118 км от ее устья	Впадает в р. Синяя в 177 км от ее устья (левый приток)	Образуется от слияния рек Ыагас-Ыйаабыт и Елэнг-Юрэгэ, впадает в Лену в 1275 км от ее устья (левый приток)	Впадает в протоку р. Суордах (система Лены) в 1157 км от устья Лены
Расход воды среднегодовой, м ³ /с	42 (в нижнем течении)	1,19 (у с. Бердигестях)	1,15	Нет данных	Нет данных
Питание	Снеговое и дождевое				
Замерзание	С первой половины октября по вторую половину мая	С октября по май	С октября по май	С первой половины октября по вторую половину мая	С октября по май
Особенности	В низовьях – памятник природы «Синские столбы» (скалы высотой 70–100 м причудливых форм), рунические письмена в скалах, карстовые неизученные пещеры	По течению расположено с. Бердигестях (административный центр улуса) – на правом берегу, на реке расположено Маттинское водохранилище	Нет данных	Протекает по Горному, Хангаласкому, Намскому, Кобайскому улусам и городскому округу Якутск	Протекает по Горному и Кобайскому улусам
Основные притоки	р. Матта (левый приток) – главная река улуса, на которой расположен административный центр с. Бердигестях; р. Чыра (левый приток); р. Мэхэлэ (левый приток); р. Нуоралдьыма (левый приток); р. Хандарыма (правый приток); р. Аппайа (правый приток); р. Чына (правый приток)	р. Матта (слева) р. Дугда (слева)	р. Сёрёс (52 км, левый); р. Харыа-Юрях (38 км, правый); р. Хар-Балаган (44 км, левый)	Нет данных	Нет данных

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в ходе исследования, с использованием источника: Реки Якутии. Обзор состояния водных объектов на территории Республики Саха (Якутия). Сайт ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <https://yktuhydromet.ru/reki/> (дата обращения: 15.05.2026).

Таблица 2

Гидрологический режим и расходы воды рек Горного улуса

Месяц/период	Расход воды (м³/с)	Характеристика
Январь – апрель	0	Реки перемерзают или имеют очень низкий зимний сток (подледный)
Начало мая	Резкий подъем до 450	Весеннее половодье (снеготаяние)
Конец мая	Спад до 280	Пик половодья пройден
Июль	Спад до 30	Межень (минимальный летний сток)
Конец июля	Рост до 330	Дождевой паводок
Середина августа	Спад до 50	Спад водотока
Сентябрь	Повышение до 170	Осенний паводок
Октябрь – декабрь	Спад	Ледостав, сток минимальный

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в ходе исследования, с использованием источника: Реки Якутии. Обзор состояния водных объектов на территории Республики Саха (Якутия). Сайт ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <https://ykuthydromet.ru/reki/> (дата обращения: 15.05.2026).



Рис. 2. Картограмма Горного улуса и ООПТ – Природный парк «Синяя», ресурсные резерваты «Харылахский», «Бэс-Кюель»

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в ходе исследования, с использованием источника: Горный улус. Карта Горного улуса Республики Саха (Якутия). URL: http://yakutia-map.ru/map1265363_0_0.htm (дата обращения: 15.05.2026).

Горный улус находится в равнинной местности обширной Центрально-якутской равнины, где расположены 3 ООПТ: природный парк «Синяя», ресурсные резерваты «Бэс-Кю-

ель» и «Харылахский» (рис. 2). Принадлежность к равнинной местности улуса предопределяет иные формы развития туризма, нежели в горных и приморских участках.

Таблица 3

Особо охраняемые природные территории Горного улуса,
характеристика транспортной доступности и рекомендуемые виды туризма

№	ООПТ	Площадь (га)	Ближайший наслег/населенный пункт	Транспортная доступность	Рекомендуемые виды экологического туризма
1	Природный парк «Синяя»	1 470 000	Шологонский наслег (с. Ерп) / Малтанинский наслег	По автодороге федерального значения «Виллой» до населенных пунктов, затем – по сезонным дорогам (зимникам) или водным путям (по реке Синяя). От Якутска расстояние около 184 км до центра улуса, далее на юго-запад	Сплавной, рыболовный, пеший (трекинг), конный, велотуризм, агротуризм, научный, спелеотуризм
2	Ресурсный резерват «Харыйалахский»	58 500	Одунунский наслег (с. Магарас)	Расположен в междуречье рек Синяя и Лена. Связь через село Магарас (автодорогой от Бердигестяха), далее – полевые дороги и тропы	Сплавной, рыболовный, пеший (трекинг, хайкинг), конный, велотуризм, научный
3	Ресурсный резерват «Бэс-Кюель»	106 957	Агамайский наслег (с. Бясь-Кюэль)	Находится вблизи села Бясь-Кюэль, доступ по региональной дороге «Кобяй»	Пеший (трекинг), конный, научный, велотуризм, агротуризм

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в ходе исследования, с использованием источника: Подведомственные дороги. Сайт ФКУ «Упрдор «Виллой». URL: <https://vl.rosavtodor.gov.ru/department/set-obslyzhivaemykh-dorog/roads> (дата обращения: 15.05.2026).

Так, авторы Зырянов А. И., Емельянова Н. А. выдвигают идею совершенно иного туризма на равнинных местностях: «Если речь идет в основном о природно ориентированном туризме на равнине, то можно применить термин «равнинный туризм». В содержание равнинного туризма включаются спортивные (самодеятельные) пешеходные, водные (сплавы по рекам), лыжные, спелеопутешествия, велопутешествия, промысловые туристские мероприятия (рыболовные, охотничьи, ягодно-грибные и другие промысловые туры), маршруты экологического туризма, широкий спектр экскурсионного дела во внегородской среде в равнинной местности». Авторы обращают особое внимание на организацию и возрождению самодеятельных видов туризма, которые были весьма развиты в советское время. Вот что они пишут: «Разрабатывая систему организации и технологию развития туризма на равнинах, следует обратиться к богатому опыту самодеятельных путешествий Советского Союза. В каждой области и автономной республике в это время были разработаны маршруты выходного дня и категорийные маршруты в пешеходном и водном видах туризма. Некоторые маршруты были очень популярны и достаточно массовы. Развивались и другие виды туризма в зависимости от возможностей территории:

лыжный, спелеологический, велосипедный. Туристские маршруты были классифицированы по категориям сложности, из них выделены эталонные маршруты» [12].

В советские годы самодеятельный туризм мог развиваться в любом регионе Советского Союза, так как не было частного владения земельных угодий, как в настоящее время. «Островками свободных участков» в настоящее время остались преимущественно участки ООПТ России, где на туристско-рекреационных зонах разрешается пребывание и отдых туристов. В особо охраняемых природных территориях пойдёт не массовый вид туризма, а более средосберегающий вид – экологический туризм, сравнительно небольшими группами.

Экологический туризм – это форма путешествий, при которой отдых на природе сочетается с соблюдением установленных правил посещения территорий и минимальным воздействием на экосистемы. Термин ввел в 1980 г. Э. Себальос-Ласкурайну [16].

Помимо сплавного туризма, для равнинного туризма в ООПТ Горного улуса можно организовать несколько видов экологического туризма: хайкинг (туры выходного дня), трекинг – длительные походы с ночевками и привалами, велотуризм, конный туризм, научный – наблюдение за птицами, чтение древних наскальных рунических пи-

санин на скалах, агротуризм – знакомство с традиционными видами хозяйства народа саха (коневодство, скотоводство, народные промыслы и др.), туристические миссии и волонтерство – помощь в уборке территории, кормление диких животных и т. д. [13].

Основной транспортной артерией, обеспечивающей связь Горного улуса с соседними районами и республиканским центром, являются автомобильные дороги «Вилюй» (федерального значения) и «Кобяй» (регионального значения). Эти дороги в настоящее время являются основными связующими путями с участками ООПТ Горного улуса. Также в таблице добавлена строка с рекомендуемыми видами туризма в определенных ООПТ (табл. 3). Доступность сравнительно легкая на автотранспорте, дороги до участков ООПТ представляют собой грунтовые покрытия с хорошей проходимостью⁷. Для урегулирования туристско-рекреационной нагрузки на ООПТ желательно в определенных местах на берегу, а также на экологических тропах устраивать специально оборудованные стояночные биваки с костровой, палаточной зонами, столами, навесом и туалетом. В сплавно туризме необходимо учитывать безопасность режима рек, особенно во время сильных и продолжительных дождей, в основном в августе, когда уровень воды рек повышается, обязательно должны быть спасательные жилеты, каски не обязательны, так как это равнинная река, более спокойная. В последнее время внедряется приобретение билетов на посещение особо охраняемых природных территорий России туристами по госуслуге, в онлайн-ресурсах. В будущем такая услуга будет развиваться, что подразумевает повышение числа туристов в ООПТ. Особо охраняемые природные территории, таким образом, должны быть готовы к этому, обустроивая свои участки для туристов.

Заключение

Таким образом, Горный улус представляет собой типичный для Центральной Якутии регион с резко континентальным климатом, сплошным распространением многолетней мерзлоты и преобладанием таежных ландшафтов. Горный улус представляет собой регион со сложным геологическим строением на стыке древней платформы и молодого складчатого пояса, что определяет разнообразие его рельефа,

широкое развитие криогенных процессов и набор потенциальных полезных ископаемых. Основу экономики составляет сельское хозяйство, ориентированное на традиционные для якутов отрасли – скотоводство и коневодство. Улус обладает значительным туристическим потенциалом благодаря уникальным природным объектам – Синским столбам и богатому культурному наследию в виде древних наскальных рисунков и рунических надписей. Геоморфологический анализ всего улуса выявил, что реки в основном покрыты аллювиальными отложениями – песчаниками, отмелями песков, небольшими галечниками, что благоприятно для сплавно вида туризма, а также для безопасности самих туристов. Все реки улуса относятся к равнинным, которые обладают небольшим течением, что также является положительным моментом для тихого сплавно туризма. Сплавной вид туризма может вестись на байдарках, катамаранах, каяках, пакрафтах и сапах.

Изучение климатического состояния улуса показало, что организация сплавно вида туризма возможна в основном в летнее время года, когда вскрываются реки. Число дней для сплава составляет более 100 дней, средняя температура тёплого времени сезона составляет +16 °С, температура воды +20 °С, что соответствует требованиям для туристско-рекреационной деятельности в виде сплавно туризма. Помимо сплавных видов туризма, в ООПТ «Харылаха-ский», «Синяя» и «Бэс-Кюель» можно развить такие виды экологического туризма, как пешие (трекинг и хайкинг), конный, научный (много рунических писаниц), спелеотуризм в Синских столбах, так как там много пещер, агротуризм в сайылыках и др. Транспортная доступность Горного улуса хорошая. Основные перевозки осуществляются наземным автомобильным транспортом, связывающим улус как с региональной столицей (г. Якутск), так и внутри района. Безопасность в сплавно туризме требует осторожности во время сильных и продолжительных дождей, когда уровень воды на реках может повыситься. Рекреационная нагрузка в ООПТ должна быть соблюдена обустройством специально оборудованных стояночных мест для туристов как в туристских тропах, так и по берегам рек в ходе сплава. Для развития сплавно туризма, а также различных видов экологического туризма в ООПТ и в реках Горного улуса необходимо разработать целевую Программу развития этих видов туризма по месяцам,

⁷ Подведомственные дороги. Сайт ФКУ «Упрдор «Вилюй». URL: <https://vl.rosavtodor.gov.ru/departament/set-obs-luzhivaemykh-dorog/roads> (âàðà íáðäüâíëý: 15.05.2026).

дням и по конкретным природным объектам и профинансировать из разных источников финансирования по развитию туризма в регионе, в улусе, в данном природном объекте. Таким образом, реки и участки ООПТ Горного улуса потенциально пригодны для туризма при условии дополнительной гидрологической, рекреационной и природоохранной оценки.

Список литературы

1. Аргунов А. И., Пахомова Л. С. Рекреационные возможности реки «Кэнкэм» // География и краеведение в Якутии и сопредельных территориях Сибири и Дальнего Востока: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Якутской Автономной Советской Социалистической Республики (ЯАССР). Редколлегия: Л. С. Пахомова, А. Н. Саввинова, О. М. Кривошапкина, Т. П. Трофимова (Якутск, 25–26 марта 2022 года). Якутск: Изд-во СВФУ им М. К. Аммосова, 2022. С. 166–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49227965> (дата обращения 30.06.2026).
2. Старкова И. И., Крыласова Е. А., Доржиева Л. Г. Водный туризм как одно из направлений в рекреации // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2020. № 2. С. 34–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43029896> (дата обращения 30.06.2026).
3. Куликова Е. Н., Ротанова И. Н. Эколого-геоморфологические условия Восточного Казахстана как рекреационный ресурс для развития экстремального туризма // Информационная система «Кейс» Алтайского государственного университета. URL: https://case.asu.ru/files/form_312-43651.pdf (дата обращения: 18.06.2026).
4. Бортновский З. В. Водный сток как индикатор ландшафтно-экологических условий бассейнов малых рек // Географическая среда и живые системы. 2021. №1. С. 42–52. DOI: 10.18384/2712-7621-2021-1-42-52. URL: <https://www.geocosreda.ru/jour/article/view/102> (дата обращения: 18.06.2026).
5. Еременко Е. А., Беляев Ю. Р., Болысов С. И., Бредихин А. В., Битюкова В. Р. Комплексная оценка эколого-геоморфологической опасности земель Байкальской природной территории, нарушенных при горнопромышленном освоении // Известия Русского географического общества. 2023. Т. 155. № 3–4. С. 30–46. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=izvrgo&y=2023&v=155&n=3-4> (дата обращения: 10.06.2026).
6. Кузьмин С. Б. Районирование Байкальского региона по опасным геоморфологическим процессам для стратегического планирования в Российской Федерации и Республике Монголия // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 6. С. 18–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raionirovanie-baykalskogo-regiona-po-opasnym-geomorfologicheskim-protsessam-dlya-strategicheskogo-planirovaniya-v-rossijskoy> (дата обращения: 29.06.2026). DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-18-35.
7. Лихачева Э. А., Локшин Г. П., Просунцова Н. С., Тимофеев Д. А. Эколого-геоморфологическая оценка территории г. Москвы // Геоморфология и палеогеография. 2000. № 1. С. 48–55. URL: <https://geomorphology.igras.ru/jour/article/view/2043> (дата обращения: 29.06.2026).
8. Моляренко В. Л. Эколого-геоморфологические особенности природопользования на примере рельефа Республики Беларусь // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: XII Межрегиональная научно-практическая конференция. (Уфа 21–23 мая 2018 г.). СПб.: Свое издательство, 2018. С. 393–394. URL: http://ig.ufaras.ru/File/conf2018/Conf_2018_71.pdf (дата обращения: 18.06.2026).
9. Николаев А. А. Эколого-географическая оценка ресурсного резервата «Туостях» для туристско-рекреационной деятельности // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 140–145. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38184> (дата обращения: 26.06.2026). DOI: 10.17513/use.38184.
10. Николаев А. А. Эколого-географическая оценка устойчивости ландшафтов особо охраняемых природных территорий на примере ресурсного резервата “Куолума-Чаппанда” // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 89–94. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38148> (дата обращения: 29.06.2026). DOI: 10.17513/use.38148.
11. Николаев А. А. Комплексный эколого-географический анализ территории ресурсного резервата “Тобуйа” Лено-Вилейского междуречья // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 42–47. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38101> (дата обращения: 29.06.2026). DOI: 10.17513/use.38101.
12. Зырянов А. И., Емельянова Н. А. Равнинный туризм // Географический вестник. Туризм и краеведение. 2012. № 4 (23). С. 85–88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ravninnyy-turizm> (дата обращения 30.06.2026).
13. Петров Ю. В. Оценка природоохранной ценности, значимости и эффективности особо охраняемой природной территории «Карташовский бор» в Тюменской области // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. Вып. 2 (62). С. 167–177. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-prirodoohrannoy-tsennosti-znachimosti-i-effektivnosti-osobo-ohranyaemoy-prirodnoy-territorii-kartashovskiy-bor-v-tyumenskoj> (дата обращения: 29.06.2026).
14. Калущков В. Н. Система охраняемых природных территорий как ресурс регионального развития Тюменской области // Наследие и современность. 2021. № 4 (1). С. 44–67. URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F280092502/1.pdf> (дата обращения: 29.06.2026).
15. Алексеев М. Н., Гриненко О. В., Камалетдинов В. А. и др. Неогеновые и четвертичные отложения Нижнеалданской впадины и средней Лены (Центральная Якутия). Путеводитель геол. экскурсии. Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 1990, 42 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_309086/ (дата обращения: 30.06.2026).
16. Макарова К. А. Проблемы организации новых национальных парков в России и оценка эффективного развития экологического туризма на их территории // Вестник ТГУ. Т. 18. Вып. 2. 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-organizatsii-novykh-natsionalnyh-parkov-v-rossii-i-otsenka-effektivnogo-razvitiya-ekologicheskogo-turizma-na-ih-territorii> (дата обращения: 30.06.2026).

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.



К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ДАТА-ЦЕНТРОВ ПО СТРАНАМ И РЕГИОНАМ МИРА

Пятанов А. В. ORCID ID 0009-0009-6999-6460,

Семина И. А. ORCID ID 0000-0002-7468-3102

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
Саранск, Российская Федерация, e-mail: isemina@mail.ru*

Целью исследования является анализ влияния энергетического сектора стран на развитие информационных технологий в части формирования и функционирования дата-центров. В основе работы лежат теоретические и практические положения о размещении систем центров обработки данных. Значительное их количество находится в странах с цифровой экономикой, в России прежде всего в городских агломерациях. Авторами рассматривается взаимосвязь дата-центров с развитием энергетической отрасли ведущих стран мира. Развитие энергетического сектора способствует экономическому росту государства, и это требует учета доступности электроэнергетических ресурсов, развитой инфраструктуры и коммуникаций, наличия высококвалифицированных специалистов, высокого уровня инновационной и инвестиционной активности. Центры обработки данных являются основополагающими системами развития искусственного интеллекта. Для работы дата-центрам необходимо бесперебойное и надежное энергоснабжение. Дефицит выработки электроэнергии для них привел к активному разворачиванию электростанций, работающих на природном газе и угле. Государственное участие способствует ускорению роста рынка центров обработки данных за счет вложения крупных финансовых инвестиций и субсидий. Генеральная схема размещения объектов энергетики до 2042 года учитывает внедрение точечных мощностей для развития центров обработки данных, важно серийное производство малых атомных станций для энергоснабжения дата-центров. Выявлены устойчивые темпы роста распространения дата-центров в мире. Инвестиции в данную отрасль впервые превысили объем инвестиций в нефтяной сектор.

Ключевые слова: центр обработки данных, дата-центр, энергетический дефицит, инфраструктура, инвестиции, электроэнергетика

ON THE IMPACT OF ENERGY SUPPLY ON THE DEVELOPMENT OF DATA CENTERS IN COUNTRIES AND REGIONS OF THE WORLD

Pyatanov A.V. ORCID ID 0009-0009-6999-6460,

Semina I. A. ORCID ID 0000-0002-7468-3102

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev”,
Saransk, Russian Federation, e-mail: isemina@mail.ru*

The purpose of the study is to consider and geographically analyze the impact of the energy sector of a country on the development of information technology in terms of the formation and operation of data centers. The work is based on theoretical and practical considerations regarding the placement of data center systems. A significant number of these systems are located in countries with digital economies, primarily in urban agglomerations in Russia. The authors examine the relationship between data centers and the development of the energy sector in leading countries. Energy sector development contributes to national economic growth, and this requires consideration of the availability of electricity resources, developed infrastructure and communications, the availability of highly qualified specialists, and a high level of innovation and investment activity. Data centers are fundamental systems of the sixth technological paradigm. To operate, data centers require an uninterrupted and reliable power supply. The shortage of electricity generation for them has led to the active deployment of power plants fueled by natural gas and coal. Government participation facilitates accelerated growth of the data center market through significant financial investments and subsidies. The general plan for the deployment of energy facilities through 2042 takes into account the deployment of point-based capacity for the development of data centers, and the importance of mass production of small nuclear power plants to power data centers. Sustainable growth rates in the spread of data centers worldwide have been identified. Investment in this sector has exceeded investment in the oil sector for the first time.

Keywords: data processing center, data center, energy shortage, infrastructure, investment, electric energy industry

Введение

Процессы информатизации общества неминуемо ведут к накоплению и обработке значительного количества информации. Для данных целей создаются центры обработки данных (ЦОД) – дата-центры. Эти специализированные комплексы обеспечивают надеж-

ное хранение и высокопроизводительную обработку данных. Используя современные языковые модели (программные алгоритмы), ЦОД эффективно работают с огромным массивом данных разного назначения – от коммерческих до государственных.

Центры обработки данных являются основополагающими системами развития

искусственного интеллекта. Для работы дата-центрам необходимо бесперебойное и надежное энергоснабжение. Инвестиции в данную отрасль впервые превысили объем инвестиций в нефтяной сектор.

Цель исследования – экономико-географический анализ влияния энергетического сектора страны (группы стран) на развитие информационных технологий в части формирования и функционирования центров обработки данных.

Материалы и методы исследования

В основе настоящей работы – теоретические и практические положения о размещении и эксплуатации систем центров обработки данных. Для изучения энергоснабжения на национальном уровне была использована Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. Зарубежные аналитические отчеты позволили оценить современное состояние энергетической отрасли ряда стран и регионов мира, а также спрогнозировать дальнейший рост мирового энергопотребления центров обработки данных. Применялись системный, структурно-отраслевой и проблемный подходы к исследованию. Важно ответить на вопрос, будут ли активно развиваться дата-центры в России и современном мире.

Результаты исследования и их обсуждение

Первый дата-центр¹ был создан в 1945 году в Университете Пенсильвании, США. Первоначально он создавался для военных задач, в него записывались данные расчетов дальности стрельбы артиллерийских орудий. По мере развития микроэлектроники центры обработки данных меняли свой внешний вид, но их главное предназначение всегда оставалось неизменным – хранение и обработка данных. Массовое развитие Интернета, начавшееся с конца 1990-х – начала 2000-х гг., повлекло за собой внедрение новых услуг, оказываемых с помощью центров обработки данных: хостинг, аренда сервера и др.

Активный спрос со стороны государственных учреждений и коммерческих предприятий, а также развитие высоких скоростей передачи данных вызвали бурный рост развития дата-центров по всему миру [1]. Однако этот рост спровоцировал возникновение ряда наиболее острых проблем, которые не удается решить до сих пор.

Одной из них является необходимость энергообеспечения дата-центров в условиях постоянно растущего спроса. Несмотря на то, что ЦОД включает в себя дорогостоящие системы защиты, отказоустойчивости, резервного хранения, специализированное IT-оборудование, которое также амортизируется со временем, затраты на электроэнергию являются первостепенными и основными. Значительная часть электроэнергии уходит не на работу самих серверов, а на их охлаждение (табл. 1).

Такое соотношение энергопотребления ЦОД говорит о том, что рост числа стойко-мест увеличивает суммарную электрическую нагрузку ЦОД. Закономерно вырастут и финансовые издержки за счет энергопотребления.

Наиболее распространенная ситуация состоит в том, что активно растущему дата-центру просто неоткуда взять дополнительную энергию для своего снабжения. Рядом нет дополнительных источников электрогенерации, а существующие мощности работают почти на 100%. Концентрация большого количества вычислительных центров в любом случае создает определенный энергетический дисбаланс для энергосистемы, растет неравномерная нагрузка [2].

Во избежание критической ситуации с перебоями электроснабжения неотъемлемой частью центров обработки данных становятся системы накопления энергии [3]. Данные установки представляют собой встроенные в систему электроснабжения ЦОД источники бесперебойного питания большой мощности [4, с. 289-294]. В случае длительного отключения основного источника питания важно обеспечить бесперебойную работу инфраструктуры дата-центров [5; 6].

На конец 2025 года в России действовали порядка 200 центров обработки данных. Основная часть ЦОД сосредоточена в европейской части России, в ее городских агломерациях. В ТОП-5 городов лидеров входят Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Новосибирск и Самара. Развитию отечественного рынка центров обработки данных способствует положительная динамика роста количества стойко-мест некоторых крупных российских компаний, таких как «РТК-ЦОД», ГК «Росатом» и IXcelerate [7]. Тем не менее 2025 год охарактеризовался как наиболее сложный для развития дата-центров. Общий прирост по стране составил около 5 тыс. стойко-мест. Это минимальный показатель за последние 10 лет, и он почти вдвое меньше, чем аналогичный в 2024 году (табл. 2).

¹ Enconnex. The History of Data Centers: An Exponential Evolution // Blog Enconnex. 2024. URL: <https://blog.enconnex.com/data-center-history-and-evolution> (дата обращения: 17.02.2026).

Таблица 1

Структура энергопотребления ЦОД

Инфраструктура	Доля от общего потребления, в %	От чего зависит
Серверное оборудование	40–60	Загрузка и плотность размещения стоек
Системы охлаждения (HVAC)	30–40	Площадь ЦОДа, необходимая температура
Источники бесперебойного питания, трансформаторы	10–15	Потери при передаче и преобразовании энергии
Системы охраны и защиты	1–5	Степень и масштаб защиты

Примечание: составлено на основании: RUVDS. Почему в бюджете ЦОДа лидирует статья «электричество» // Хабр. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/920100/> (дата обращения: 16.02.2026).

Таблица 2

Динамика прироста количества стойко-мест лидеров отрасли 2022-2025 гг.

Компания	Количество стойко-мест, шт.			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
РТК-ЦОД	15 461	20 510	27 154	27 823
IXcellerate	5 443	6 279	8 269	10 329
ГК Росатом	1 680	1 680	6 570	6 570
DataPro	6 553	6 553	6 553	6 553

Примечание: составлено на основании [7].

Общая тенденция указывает на замедление темпов роста количества стойко-мест. Основную роль в развитии центров обработки данных сыграл государственный сектор и подконтрольные ему компании. В 2024 году госсектор направил около 60 млрд рублей, что составило 50% от общего числа инвестиций в развитие данной отрасли².

Высокая вовлеченность государства в развитие ЦОД вполне оправдана и связана со следующими причинами. Во-первых, для развития подобных проектов нужны серьезные финансовые вложения, которые, как правило, отсутствуют у частных компаний. Во-вторых, в связи с цифровизацией государственных услуг государство заинтересовано в контроле над огромными массивами данных для исключения утечки персональной информации граждан [8]. В-третьих, в условиях нестабильной геополитической ситуации и санкционных ограничений работа с такого типа информацией должна вестись исключительно на программном обеспечении отечественного производства. В-четвертых, как уже было отмечено выше, развитие дата-центров напрямую связано

с развитием электроэнергетического сектора. В этой связи государству проще, чем частным организациям, принимать решение о строительстве новых объектов генерации энергии и дата-центров. Несмотря на повышенный спрос к данной отрасли, некоторые компании сталкиваются при этом с большими трудностями [9]. Были отложены и перенесены запуски новых проектов в ожидании улучшения внешней конъюнктуры.

К основным проблемам можно отнести высокую стоимость заемных финансовых средств, дефицит энерго мощностей, сложности в поставках вычислительного оборудования, а также дефицит подходящих земельных участков [10]. Последняя проблема намного серьезнее, чем кажется на первый взгляд. Помимо длительной бюрократической процедуры (получения разрешения на использование земельного участка для строительства ЦОД), эксплуатация дата-центра приводит к созданию дисбаланса в энергоснабжении.

Таким образом, дата-центры в Российской Федерации размещены крайне неравномерно, занимая в основном территорию крупных агломераций, что в свою очередь создает неравномерную нагрузку на энергетические объекты. Более 85% всех существующих ЦОД в Российской Федерации приходится на территории Москвы и Санкт-Петербурга [7].

² Росконгресс. ИИ-бум и трансформация глобальной энергетики: как дата-центры превращаются в ключевого потребителя // Roscongress.org. 2025. [Электронный ресурс]. URL: https://cdnweb.roscongress.org/upload/medialibrary/fte/Электроэнергия_и_дата-центры.pdf?17483718437560179 (дата обращения: 19.02.2026).



Рис. 1. Энергодостаточность (производство/потребление) регионов Российской Федерации [7]

В этой связи нельзя не отметить поручение Президента РФ по итогам Международного форума «Российская энергетическая неделя – 2025»³ рассмотреть строительство новых дата-центров в энергопрофицитных регионах страны (рис. 1).

Проблема энергодефицитности регионов может тормозить развитие российских центров обработки данных. Согласно «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года»⁴, в России будут введены новые мощности в размере 88,1 ГВт. Основная доля внедрения новых мощностей придется на атомную и газовую генерацию электроэнергии [11]. Строительство новых объектов генерации энергии придется преимущественно на районы с локальным дефицитом мощности: объединенные энергосистемы Юга, Сибири и Востока.

Пространственная картина условной энергодостаточности отражена на рисунке 1, откуда видно, что восточные регионы России в целом профицитные, то есть производство энергии в них выше, чем потребление, и возможно именно там размещать дата-центры.

Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года нацелена на перспективное развитие регионов Сибири и Дальнего Востока. Это в свою очередь усилит экономическую целесообразность и привлекательность строительства новых дата-центров в этих регионах [12; 13].

Глобальный рынок центров обработки данных растет стремительными темпами. Аналитики связывают фазу ускоренного роста с активным инвестированием крупных технологических корпораций для обучения своих языковых моделей искусственного интеллекта (ИИ) [14]. Более 80% мировых мощностей ЦОД расположены в США, Китае и Европе. Активное развитие отрасли также фиксируется в Индии и Австралии, Японии, Бразилии. Доклад Международного энергетического агентства (МЭА) показывает, что инвестиции в дата-центры в 2025 году составили 580 млрд долл., что превысило инвестиции во всю мировую нефтяную отрасль (ее оценили в 540 млрд долл.) [15]. При этом дальнейший рост спроса на электроэнергию для ЦОД в Китае и Европе оценивают в 6-10% к 2030 году, а в США – 50%.

В странах Запада для активного развертывания новых источников электроэнергии для ЦОД в основном используются газовые и угольные электростанции [16]. Использование электростанций на возобновляемых источниках энергии также возможно, но при условии развертывания системы накопления энергии (СНЭ).

³ Росконгресс. Утвержден перечень поручений по итогам Международного форума «Российская энергетическая неделя – 2025» // Roscongress.org. 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://roscongress.org/news/utverzhdn-perechen-poruchenij-po-itogam-mezhdunarodnogo-foruma-rossijskaja-energeticheskaja-nedelja/> (дата обращения: 20.02.2026).

⁴ Российская Федерация. Правительство. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года: распоряжение от 30 декабря 2024 г. № 4153-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310847116> (дата обращения: 22.11.2025).

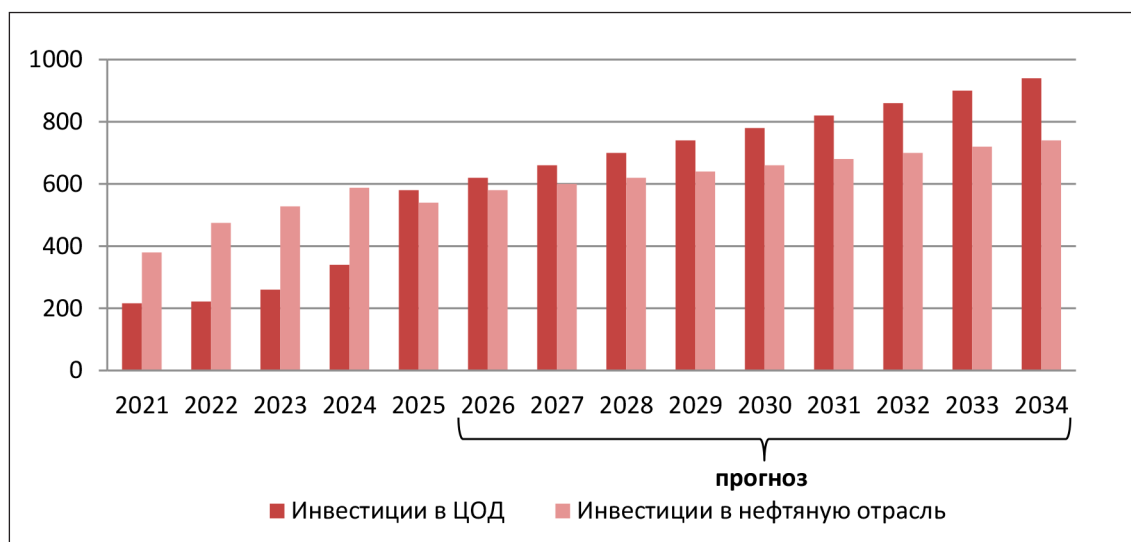


Рис. 2. Динамика и прогноз мировых инвестиций в ЦОД и нефтяную отрасль, млрд долл. [13; 15]

В свою очередь СНЭ позволили бы на определенное время обеспечить бесперебойную работу ЦОД на случай временной или полной потери производственных мощностей электростанций, работающих на ВИЭ.

Объем мирового рынка энергоснабжения дата-центров в 2025 году составил 23 млрд долл. По прогнозам аналитиков, среднегодовые темпа роста составят 13% и к 2034 году превысят отметку в 70 млрд долл. [17]. Общие вложения в ЦОД впервые превысили инвестиции в мировой нефтяной сектор и составили 580 млрд долл. (рис. 2) [15]. Динамика и прогноз мировых инвестиций в ЦОД и нефтяную отрасль показывают устойчивую тенденцию роста и превышения инвестиций в ЦОД.

Основные затраты на энергоснабжение дата-центров заключаются в необходимости обеспечения достаточного охлаждения серверного оборудования. Чтобы снизить затраты на охлаждение, компании размещают дата-центры непосредственно под водой или под землей. Так, в октябре 2025 года у побережья Линьган в Китае завершили строительство подводного ЦОД. Для охлаждения серверов используется морская вода, циркулирующая через радиаторные модули. Эффективность и экономическую целесообразность такого решения еще предстоит оценить специалистам. Тем временем ведущие специалисты пытаются не только найти способы, как удешевить охлаждение серверов, но и как рационально воспользоваться тем количеством тепла, которое вырабатывается в результате работы серверного оборудования дата-центров [18].

Развитие искусственного интеллекта – основная причина взрывного роста энергопотребления дата-центров. При этом в результате интеграции систем энергоснабжения и ИИ ожидается повышение энергоэффективности центров обработки данных. Искусственный интеллект с помощью анализа больших данных будет выявлять неисправности оборудования, оптимизировать нагрузки и повышать производительность всей энергетической инфраструктуры ЦОД [19].

В настоящее время Северная Америка лидирует на мировом рынке энергоснабжения ЦОД с показателем 39% (рис. 3). Крупные технологические компании США, такие как Amazon, Google, Microsoft и др., активно расширяют свои дата-центры, чтобы удовлетворить растущий спрос на цифровые услуги, облачные хранилища и работу с искусственным интеллектом.

Наибольшими темпами доля мирового потребления будет расти у Азиатско-Тихоокеанского региона. Основную роль в этом регионе играет Китай, энергетическое развитие которого растет с опережающим масштабом. При экономическом росте около 5% в год потребление электроэнергии в этой стране увеличилось на 7%. На начало 2026 года в Китае строится порядка 30 атомных станций. Прогнозируется дальнейший рост ядерных мощностей до 200 ГВт к 2040 году. Такой высокий темп внедрения атомных электростанций позволит Китаю обогнать США и стать крупнейшей в мире страной по выработке электроэнергии с помощью АЭС.

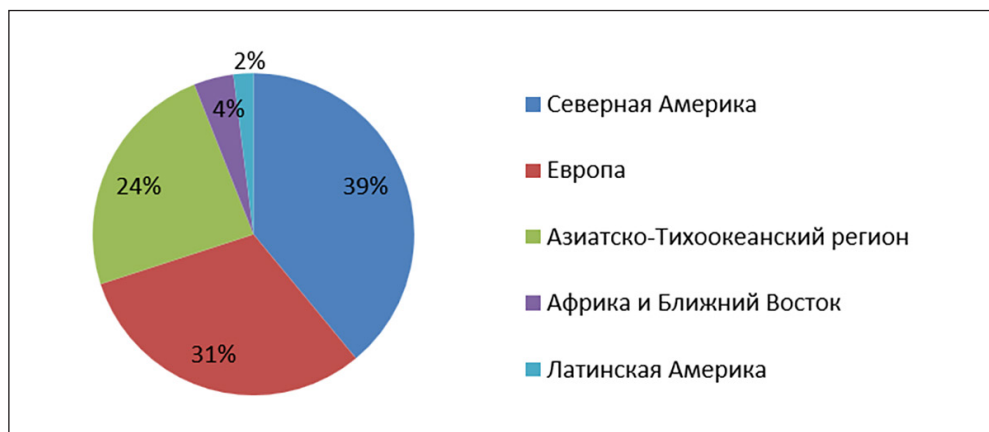


Рис. 3. Доля рынка электроэнергии ЦОД по регионам мира [17]

Электропотребление Евросоюза стагнирует из-за радикального энергетического перехода. За последний год рост электропотребления составил 2%. Резкий переход на возобновляемую энергетику добавил рисков и снизил конкурентоспособность европейского региона по сравнению с США и Китаем.

Возобновляемая энергетика имеет свои преимущества, которые в том числе продиктованы экономической целесообразностью. Но возобновляемая энергетика не рассчитана на резкий прирост выработки электроэнергии. Такой вид электростанций предназначен для развития долгосрочной стратегии развития энергетики. Таким образом, в условиях резкого и постоянного растущего спроса на электроэнергию оптимальным вариантом для снабжения ЦОД считаются тепловые и атомные электростанции.

Заключение

Энергетическая стабильность – важнейшее условие для развития дата-центров. Возведение новых энергетических мощностей напрямую влияет на развитие ЦОД. Однако центры обработки данных «тяготеют» к инфраструктуре крупного города, а не к отдаленной периферии с обильным доступом электроэнергетических ресурсов.

Важными факторами развития ЦОД становятся цифровизация экономики, инфраструктурная и инновационная составляющие регионального развития, технологичные производства и высокая квалификация труда. Так, например, крупные телекоммуникационные ТНК уже сегодня превращаются в глобальные энергетические корпорации, которые строят крупнейшие объекты выработки электроэнергии для обеспечения собственных дата-центров.

Территориальный анализ развития дата-центров показывает, что, помимо необходимости обеспечения основного источника энергии, важную роль в становлении ЦОД играет сопутствующая инфраструктура: наличие подходящих земельных участков, широкая и развитая система коммуникаций, наличие высококвалифицированных специалистов, высокий уровень инновационной и инвестиционной активности.

В России государственное участие способствует ускорению роста рынка ЦОД за счет вложения крупных финансовых инвестиций и субсидий. Однако проблема энергодефицитности регионов может тормозить пространственное развитие российских ЦОД. Помимо этого, к основным проблемам развития можно отнести высокую стоимость заемных финансовых средств и сложности в поставках вычислительного оборудования.

В странах Запада дефицит выработки электроэнергии для ЦОД привел к активному развертыванию тепловых электростанций. Прогнозируется устойчивый рост мирового рынка энергоснабжения дата-центров, и к 2034 году он составит более 70 млрд долл. Северная Америка лидирует на мировом рынке энергоснабжения дата-центров (39%). Доля Европы в этом показателе будет постепенно сокращаться. Самым быстрорастущим регионом с точки зрения энергопотребления прогнозируется Азиатско-Тихоокеанский регион.

Список литературы

1. Савина Н. П., Гольженикова Д. Ю., Зульфакарова Л. Ф. Электропотребление дата-центров и его влияние на экономику устойчивого развития // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 2. № 3 (156). С. 75-81. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2025.03.02.009. EDN: DDFTAC.

2. Кулагин М. О., Рашевская М. А. Электроснабжение центров обработки данных // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Материалы XVI международной научно-практической конференции. 2018. С. 69-72. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41598913_52606027.pdf (дата обращения: 16.06.2026). EDN: CIUQBL.
3. Пятанов А. В., Громов Д. В., Переточенкова О. У. Инновации в энергетике в регионах Приволжского федерального округа // Огарёв-online. 2022. № 2 (171). URL: <https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/273440> (дата обращения: 16.06.2026). EDN: QPMPDY.
4. Филин С. А., Богомолов В. В., Забелин Я. В., Серебряков А. В. Строительство и эксплуатация инженерных систем ЦОД. Хрестоматия. Москва: ООО «ТехноФрост», 2016. 679 с. URL: <https://kriofrost.academy/documents/10458> (дата обращения: 29.03.2026).
5. Соловьев А. Качественное энергообеспечение РА ЦОДа // Век качества. 2010. № 5. С. 65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvennoe-energoobespechenie-ra-tsoda> (дата обращения: 15.02.2026). EDN: NCIVRN.
6. Юдин А. К. Разработка энергетической модели дата-центра // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2025. № 27.(4) С. 147-156. DOI: 10.30724/1998-9903-2025-27-4-147-156.
7. IPG Research. Центры обработки данных. Состояние рынка на 2025 год. Россия [Электронный ресурс]. URL: <https://ipg-estate.ru/uploads/-/2025-otcet.pdf> (дата обращения: 16.06.2026).
8. Гальперова Е. В. Анализ перспектив применения цифровых технологий в секторах экономики и их влияния на энергопотребление // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4.(16). С. 20-30. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-02. EDN: XHGRVN.
9. Капустинский А. Ю. Обеспечение надежности электроснабжения центров обработки данных // Актуальные проблемы энергетики: материалы студенческой научно-технической конференции. 2018. С. 279-285. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/41992> (дата обращения: 06.06.2026).
10. Мурзакаев П. Электроснабжение дата-центров: эффективность и надежность для сохранения данных // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2016. № 7 (84). С. 20-24. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26231497_62463509.pdf (дата обращения: 06.07.2026). EDN: WCAPXH.
11. Самбурский И. Г. Центр обработки данных как фактор развития зеленой энергетики: предпосылки, вызовы, мировой опыт // Индустриальная экономика. 2026. № 2. С. 93-101. DOI: 10.47576/2949-1886.2026.2.2.013. EDN: DOBMZR.
12. Волхонская З. И. Оценка перспектив создания центров хранения и обработки данных в российской Арктике // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2023. № 4. URL: <https://humanities.fa.ru/jour/article/view/863> (дата обращения: 06.07.2026). DOI: 10.26794/2226-7867-2023-13-4-134-139.
13. Дымова О. О. Перспективы регионального развития за счет формирования информационно-телекоммуникационного ресурсного потенциала // Проблемы современной экономики. 2024. № 2 (90). С. 220-222. URL: <https://m-economy.ru/art.php?nArtId=7806> (дата обращения: 16.06.2026). EDN: MHSJNE.
14. Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J. Recalibrating global data center energy-use estimates // Science. Vol. 367. Is. 6481. P. 984-986. 2020. DOI: 10.1126/science.aba3758.
15. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025 // Paris: IEA. 2025. 517. p.. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9753df19-0a71-422a-b725-012c555763b3/WorldEnergyOutlook.pdf> (дата обращения: 06.05.2026).
16. International Energy Agency. Energy and AI // Paris: IEA. 2025. 138.p.. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3179f7f8-01f6-4dd6-bffa-c9f7b73f1dc9/KeyQuestionsonEnergyandAI.pdf> (дата обращения: 16.06.2026).
17. Zoting S. Global Data Center Power Market – Analysis and Forecast // PrecedenceResearch. 2025. URL: <https://www.precedenceresearch.com/data-center-power-market> (дата обращения: 16.06.2026).
18. Яковлев И. В., Авдокунин Н. В. Эффективность применения сбросного тепла центров обработки данных // Теплоэнергетика. 2023. № 10. С. 55-64. DOI: 10.56304/S0040363623100120. EDN: XJWZMG.
19. Митин И. А. Энергоэффективное стратегическое управление дата-центром с применением искусственного интеллекта // Вестник СибГУТИ. 2025. Т.19. № 3. С. 3-18. DOI: 10.55648/1998-6920-2025-19-3-3-18.

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 552.3

DOI 10.17513/use.38535



CC BY 4.0

**ПЕТРОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ БАЗИТОВ
И УСЛОВИЯ ИХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
НА ПРИМЕРЕ ГОРШЕЧЕНСКИХ ПЛУТОНОВ**¹Вахнин В. Д. ORCID ID 0009-0005-3920-5200, ²Базиков Н. С.¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*«Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук», Москва, Российская Федерация, e-mail: vakhnin.vitalik@mail.ru:*²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация

Процесс коллизии между Сарматией и Волго-Уралией привел к формированию Волго-Донского орогена. Особое значение приобретает этап палеопротерозойского базитового магматизма ~2,05-2,07 млрд лет, непосредственно следующий за главной коллизионной фазой. Цель исследований – установить условия кристаллизации базитов Горшеченских плутонов в зоне сочленения Курского блока Сарматии и Волго-Донского орогена по полученным петролого-минералогическим данным. В северо-западной части Хохольско-Репьевского батолита находятся Горшеченские плутоны габбро и диоритов, которые вскрыты скважинами 7593, К-19 и К-47. Контакты между габбро и диоритами четкие, диориты прорывают габброиды. Один из плутонов, вскрытый скважиной К-19, прорывает павловские гранитоиды Олымского батолита. Другие два интрузива, вскрытые скважинами 7593 и К-47, прорывают гнейсы и амфиболиты донской серии. Методики изучения включают в себя микрозондовый анализ минералов, измерение содержаний главных элементов с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра, содержания малых и редких элементов в породах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, параметры кристаллизации были рассчитаны с помощью методики Putirka. По результатам петрографических и минералогических исследований выделены следующие породы Горшеченских плутонов: габбро, монцогаббро, монцодиориты и диориты. По результатам рассчитанных параметров кристаллизации и моделирования получили возможность показать условия кристаллизации пород Горшеченских плутонов: габбро кристаллизуются при $T = 1248-742\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1,2-0,46\text{ ГПа}$; диориты кристаллизуются при $T = 1170-719\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,82-0,15\text{ ГПа}$. Полученные параметры позволяют охарактеризовать условия проявления базитового магматизма периода 2,05-2,07 млрд лет в зоне сочленения Курского блока Сарматии и Волго-Уралии.

Ключевые слова: палеопротерозой, параметры кристаллизации, габбро, монцогаббро, диориты, монцодиориты, Волго-Донской ороген

Благодарности. Авторы статьи выражают благодарности А. А. Носовой и А. В. Каргину за актуальные, качественные консультации по теме статьи; К. А. Савко и Р. А. Терентьеву за предоставленные образцы.

**PETROGRAPHY, MINERALOGY, GEOCHEMISTRY OF BASIC ROCKS,
AND CONDITIONS OF THEIR CRYSTALLIZATION: A CASE STUDY
OF THE GORSHECHENSKY PLUTONS**¹Vakhnin V.D. ORCID ID 0009-0005-3920-5200, ²Bazikov N. S¹Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Ore Deposits Geology, Petrography,
Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russian Federation, e-mail: vakhnin.vitalik@mail.ru:²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Voronezh State University”, Voronezh, Russian Federation

The collision between Sarmatia and the Volga-Urals led to the formation of the Volga-Don Orogen. The stage of Paleoproterozoic mafic magmatism ~2.05-2.07 billion years ago, immediately following the main collisional phase, is of particular importance. The objective of this research is to establish the crystallization conditions of the Gorshechensky plutons' mafic rocks in the junction zone of the Kursk block of Sarmatia and the Volga-Don Orogen based on the obtained petrological and mineralogical data. The Gorshechensky plutons of gabbro and diorite are located in the northwestern part of the Khokholsko-Repyevsky batholith, penetrated by boreholes 7593, K-19, and K-47. Contacts between the gabbro and diorite are distinct, with the diorites intruding the gabbroids. One of the plutons, penetrated by borehole K-19, intrudes the Pavlovka granitoids of the Olymsky batholith. The other two intrusions, penetrated by boreholes 7593 and K-47, intrudes gneisses and amphibolites of the Don Group. Study methods include microprobe analysis of minerals, major element measurements using an X-ray fluorescence spectrometer, trace and rare element contents in the rocks were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry, and crystallization parameters were calculated using the Putirka method. Based on the results of petrographic and mineralogical studies, the following rocks of the Gorshechensky plutons were distinguished: gabbro, monzogabbro, monzodiorite, and diorite. Based on the calculated crystallization parameters and modeling, it was possible to demonstrate the crystallization conditions of the Gorshechensky plutons: gabbro crystallizes at $T = 1248-742\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1.2-0.46\text{ GPa}$; diorite crystallizes at $T = 1170-719\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0.82-0.15\text{ GPa}$. The obtained parameters allow us to characterize the conditions of the manifestation of basic magmatism of the period 2.05-2.07 Ga in the junction zone of the Kursk block of Sarmatia and the Volga-Urals.

Keywords: paleoproterozoic, crystallization parameters, gabbro, monzogabbro, diorites, monzodiorites, Volga-Don orogen

Acknowledgments. The authors of the article express their gratitude to A. A. Nosova and A. V. Kargin for relevant and high-quality consultations on the topic of the article; to K. A. Savko and R. A. Terentyev for the provided samples.

Введение

Волго-Уралия рассматривается как отдельный кратонный блок или система микроконтинентов, которые в палеопротерозое двигались навстречу Сарматии [1; 2]. Процесс коллизии между Сарматией и Волго-Уралией привел к формированию Волго-Донского орогена [2]. Особое значение приобретает этап палеопротерозойского базитового магматизма ~2,05-2,07 млрд лет, непосредственно следующий за главной коллизионной фазой [3]. Возрастная привязка дана по региональным аналогам [4]. Изучение пространственно-временной эволюции, состава и источников этих магматических комплексов (таких, как Горшеченские плутоны) позволяет количественно оценить термическую эволюцию в зоне тектонического шва на постколлизиионной стадии.

Цель исследования – установить условия кристаллизации базитов Горшеченских плутонов в зоне сочленения Курского блока Сарматии и Волго-Донского орогена по впервые полученным петролого-минералогическим данным.

Материалы и методы исследований

Волго-Донской ороген (ВДО) – складчато-надвиговый пояс, возникший около 2,0 млрд лет тому назад, занимает площадь около 300 000 км² (~500 км в ширину и ~600 км в длину) и располагается между архейскими протократонными Сарматским и Волго-Уральским блоками Восточно-Европейского кратона (рис. 1). Ороген сложен преимущественно ювенильными метаосадками. В его составе выделяют: Донской террейн, Лосевский и Воронцовский террейны [5].

Донской террейн (ДТ) расположен в юго-западной части ВДО и сложен породами донской серии, которые представлены метавулканиитами от андезибазальтов до дацитов (амфиболиты и гнейсы), мраморами и известково-силикатными породами [6; 7]. Прорывают породы донской серии обширные объемы гранитоидов павловского комплекса, который представлен Павловским батолитом ($2076 \pm 3,1$ млн лет) на юге ДТ, Хохольско-Репьевским ($2068 \pm 5,7$ млн лет) и Олымским (2059 ± 8 млн лет) батолитами в северной части ДТ (рис. 2) [8].

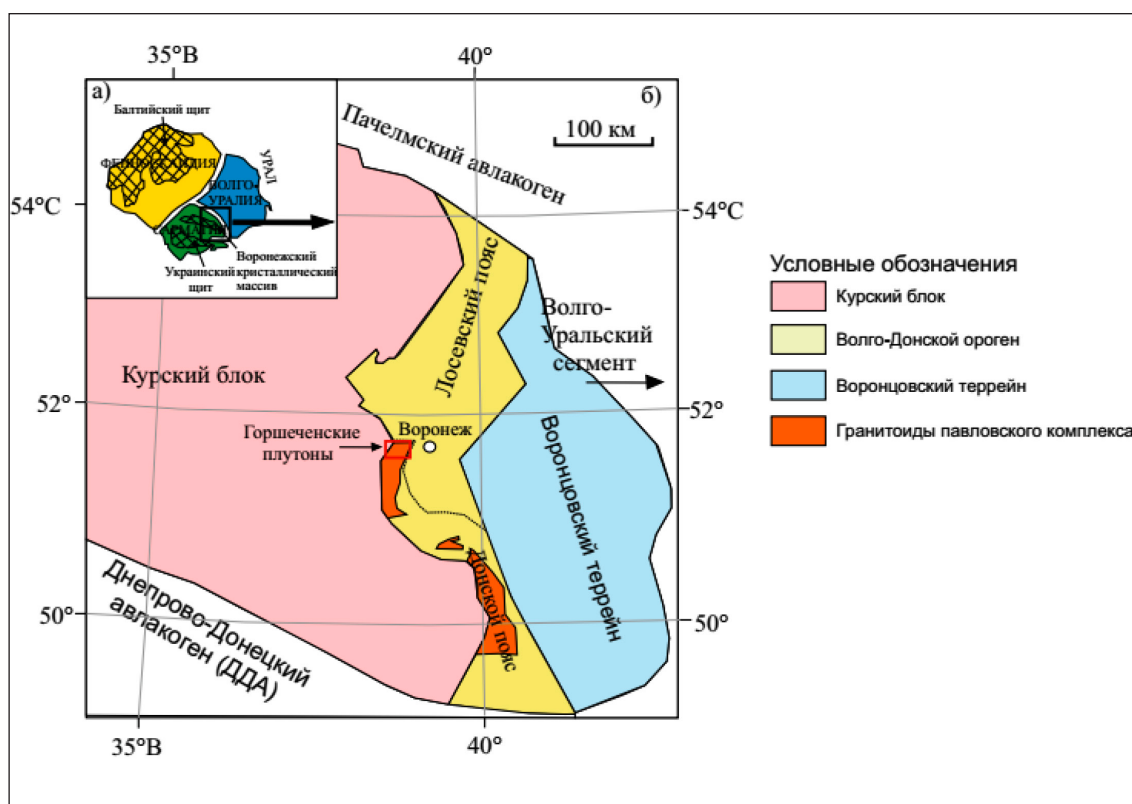


Рис. 1. Схематическая карта:

а) Восточно-Европейского кратона (составлено автором на основе источника [4; 6]);
б) Восточной Сарматии (составлено автором на основе источника [9])

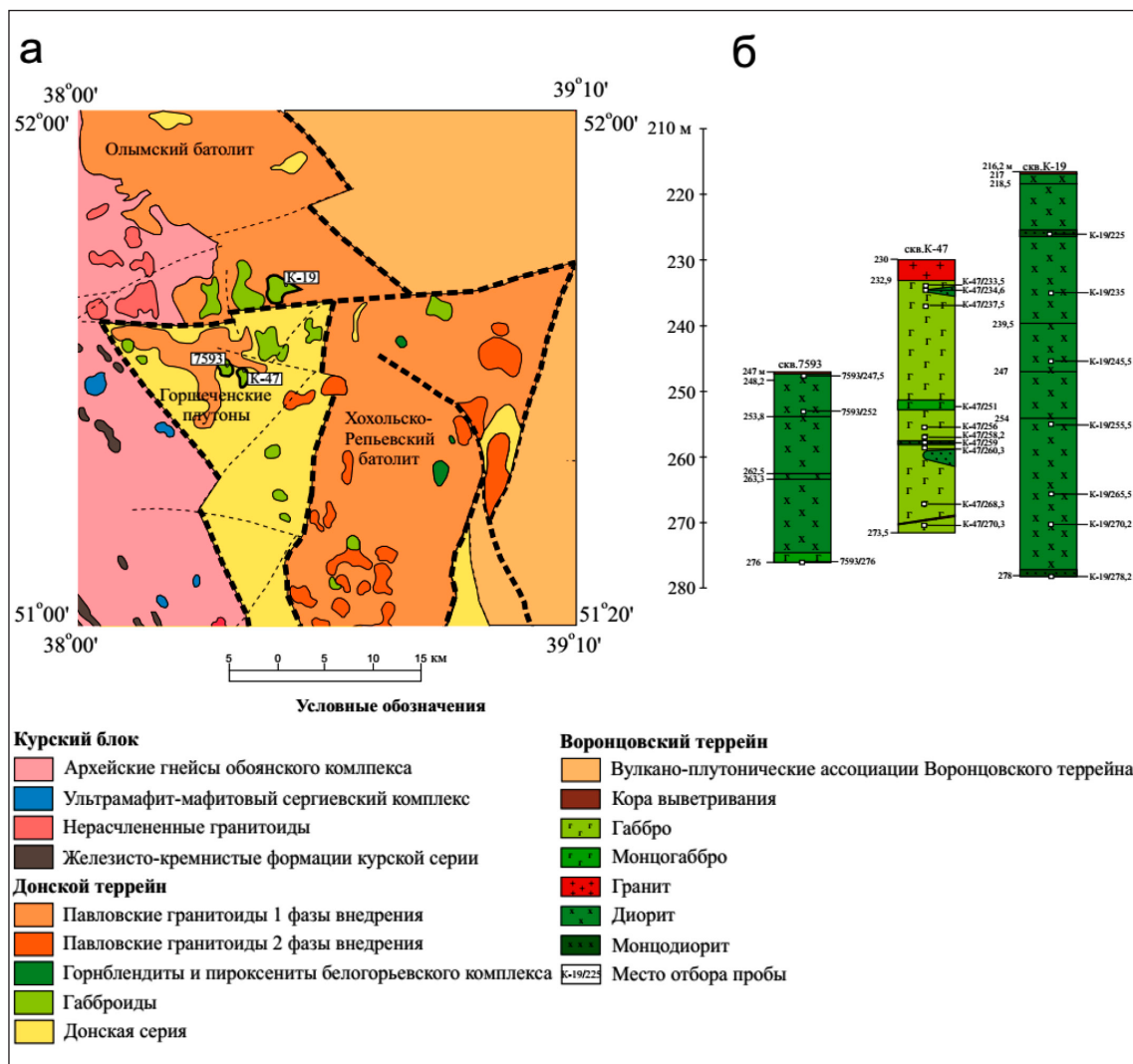


Рис. 2. Горшеченские плутоны: а) схематическая геологическая карта Горшеченских плутонов [9]; б) разрезы скважин, вскрывших породы Горшеченских плутонов (составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования)

В северо-западной части Хохольско-Репьёвского батолита находятся Горшеченские плутоны габбро и диоритов, которые вскрыты скважинами 7593, К-19 и К-47 (рис. 2). Контакты между габбро и диоритами четкие. Один из плутонов, вскрытый скважиной К-19, прорывает павловские гранитоиды Олымского батолита. Другие два интрузива, вскрытые скважинами 7593 и К-47, прорывают гнейсы и амфиболиты донской серии.

Микрозондовый анализ минералов габбро и диоритов Горшеченских плутонов проводился на растровом электронном микроскопе Jeol 6380 LV, оснащённом энергодисперсионным спектрометром INCA 250 (ЦКПНО ВГУ). Исследования выполнялись при следующих условиях: ускоряющее

напряжение 20 кВ, сила тока пучка 1,2 мА, длительность сбора спектра 70 секунд, диаметр электронного луча 1-3 мкм. Для расчета содержания оксидов применялась коррекция по методике ZAF, точность которой оценивалась с использованием программного обеспечения системы. Надежность результатов проверялась путем регулярного контроля с применением стандартных образцов природных и синтетических минералов.

Содержание главных элементов в породах определялось для двадцати образцов габбро и диоритов с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 Tiger производства компании Bruker AXS GmbH в Воронежском государственном университете. Подготовку проб осуществляли путём сплавления 0,5 г порошковой пробы с 2 г

тетрабората лития в муфельной печи, после чего формировался стекловидный диск. Калибровка прибора и контроль качества анализов производились с применением государственных стандартных образцов состава горных пород: ГСО № 8871–2007, ГСО № 3333–85, ГСО № 3191–85. Точность анализа составила 1-5% относительно измеряемого значения для элементов с концентрацией свыше 1-5% мас. и до 12% для элементов с концентрацией менее 0,5% мас.

Содержания малых и редких элементов в породах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИГЕМ РАН на XII ICP-MS Thermo Scientific масс-спектрометре. Калибровка чувствительности прибора по всей шкале масс осуществлялась с помощью стандартных 68-элементных растворов (ICP-MS-68A, HPS, растворы А и В), включающих все анализируемые в пробе элементы. Пределы обнаружения элементов составляли от 0,1 нг/г для тяжелых и средних по массе элементов до 1 нг/г для легких элементов. Погрешность анализа составляла 1-3 отн. %.

Параметры кристаллизации были рассчитаны с помощью методики Putirka [10; 11]. Использовались уравнения для расчета температур и давлений по ортопироксенам, клинопироксенам, плагиоклазам и амфиболам.

Результаты исследования и их обсуждение

Петрография и минералогия

Горшеченские плутоны сложены монцогаббро, габбро, диоритами и монцодиорита-

ми (рис. 3, табл. 1). Монцогаббро серо-зеленые, среднезернистые с массивной текстурой. Структура гипидиоморфнозернистая и габбровая. Габбро являются темно-серо-зелеными, мелкозернистыми и среднезернистыми породами массивной текстуры. Структура гипидиоморфнозернистая и аллотриоморфнозернистая, габбровая. Диориты – светлые зеленовато-серые породы массивной текстуры, мелко-среднезернистые, с гипидиоморфнозернистой структурой. Монцодиориты представлены темно-серо-зелеными породами, мелко-среднезернистыми, текстура массивная, структура гипидиоморфнозернистая.

Плагиоклаз в габбро образует идиоморфные и субидиоморфные полисинтетические сдвойникованные кристаллы (рис. 3). Выделяются зональные и незональные разности. В интерстициях незональных зерен плагиоклаза находится ксеноморфный калиевый полевой шпат (КПШ), а также есть включения эпидота. По размеру и форме зональные и незональные зерна не отличаются. Размер зерен плагиоклаза от 0,3 до 0,6 мм. В зональных и незональных зернах плагиоклаза наблюдается вторичный процесс мусковитизации. По данным микронзондового анализа незональные плагиоклазы относятся к олигоклазу ($An_{0,2-0,3}$). Зональные разности относятся к лабрадору ($An_{0,50-0,57}$) в центральных частях зерен, до андезина ($An_{0,4}$) в краевых (рис. 4, 5в). В диоритах плагиоклаз образует полисинтетически сдвойникованные идиоморфные и гипидиоморфные кристаллы (рис. 3).

Таблица 1

Минеральный состав пород Горшеченских плутонов

Порода/ минерал	Ортопироксен, мод. %	Клинопироксен, мод. %	Плагиоклаз, мод. %	Амфибол, мод. %	Биотит, мод. %	КПШ, мод. %	Кварц, мод. %	Рудные
Монцогаббро	–	10	50-55	30	10	–	–	Ильменит, магнетит, титанит, пирротин
Габбро	10	25-30	30-35	10-15	10-15	5	5	Пирротин, халькопирит, магнетит, титанит
Диориты	–	5	50-55	20-25	10-15	5	5-10	Пирротин, магнетит, титанит
Монцодиориты	–	–	60-65	15-20	10	5	–	Магнетит, титанит

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования.

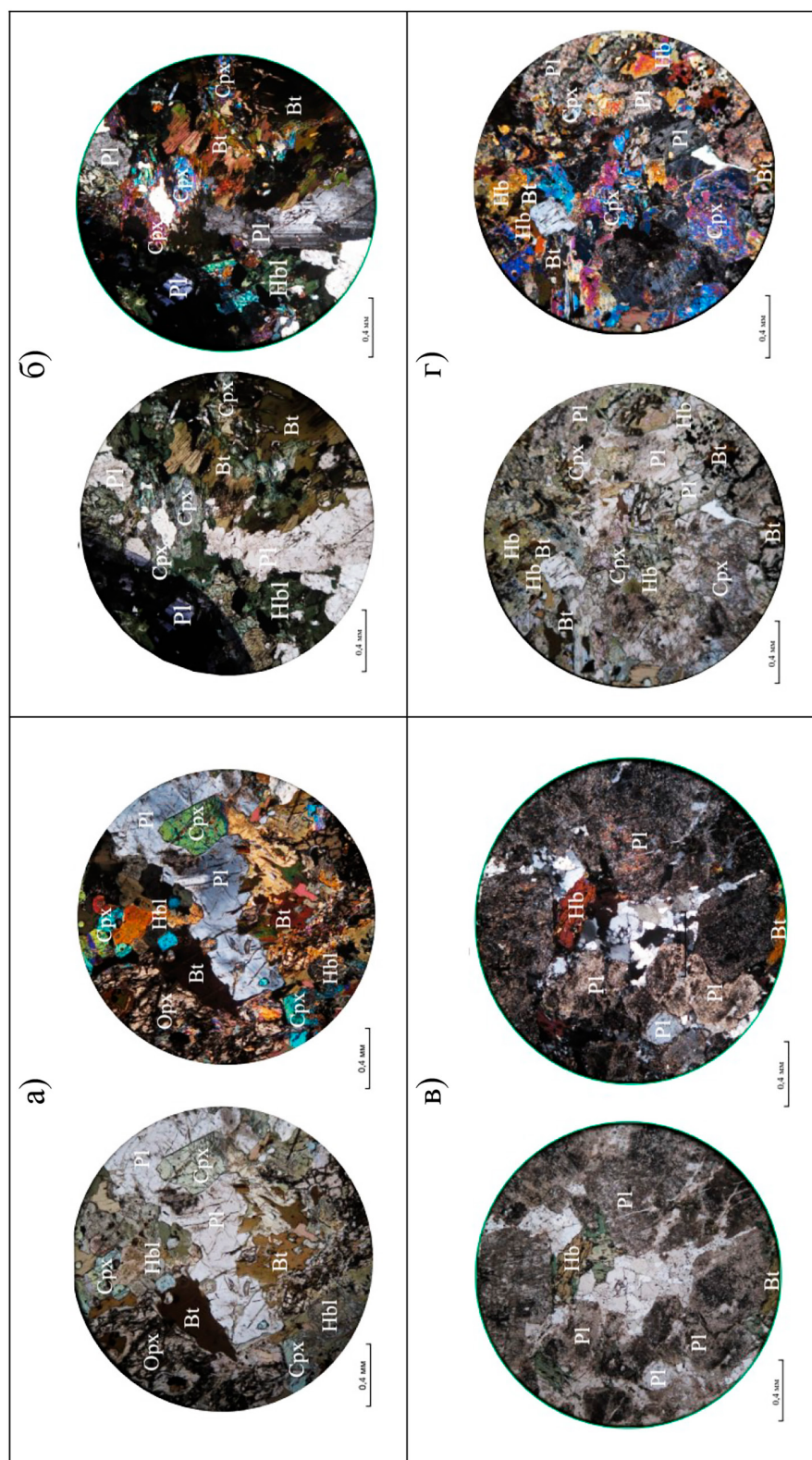


Рис. 3. Микрофотографии прозрачнополированных шлифов:

- а) габбро (обр. K-47/268,3; проходящий свет/скрещенные николи);
- б) диориты (обр. 7593/252; проходящий свет/скрещенные николи);
- в) монцодиориты (обр. K-19/278,2; проходящий свет/скрещенные николи);
- г) монцогаббро (обр. K-47/251; проходящий свет/скрещенные николи)

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования

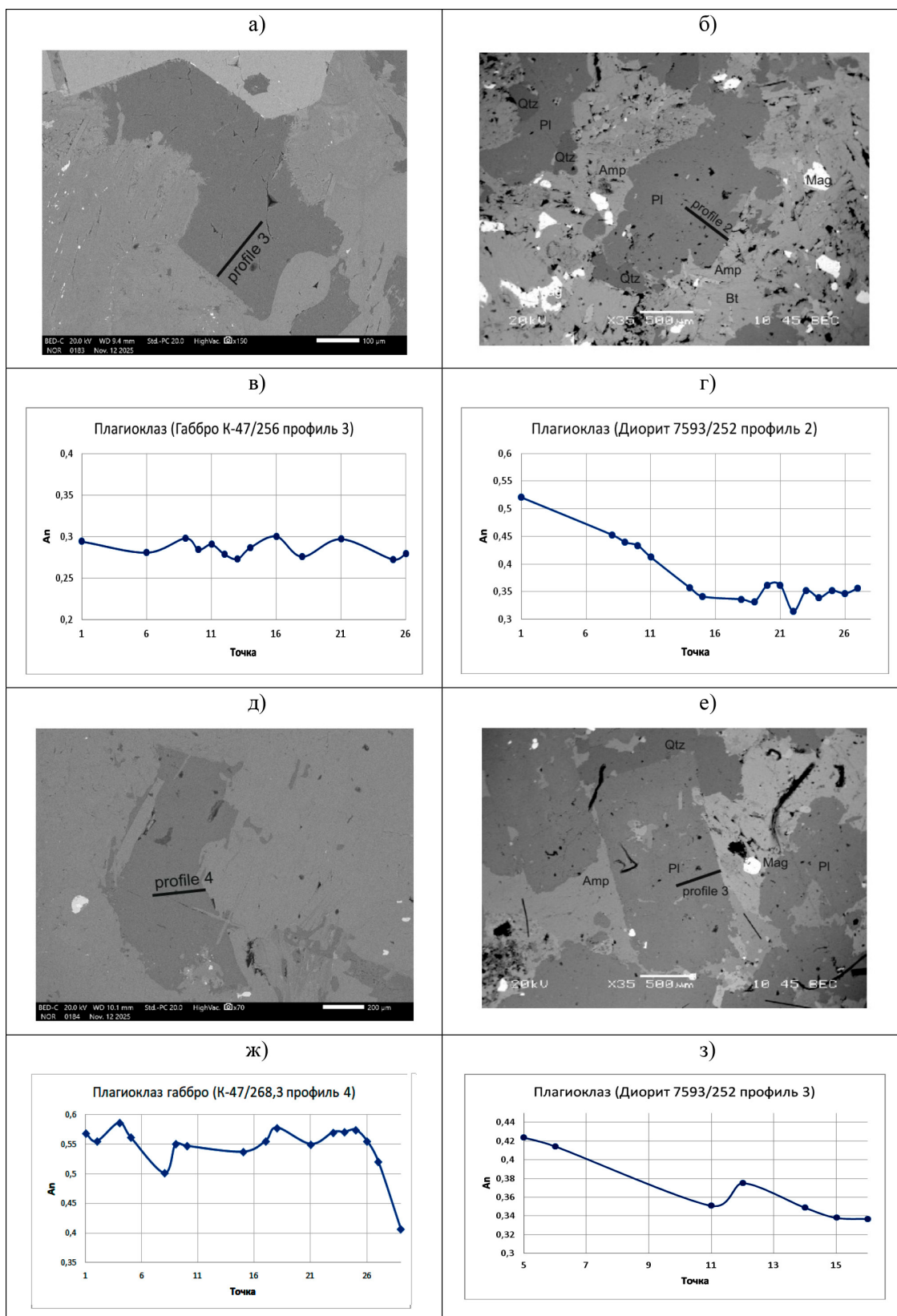


Рис. 4. Фотографии профилей плагиноклазов и графики распределения точек профилей для пород Горшеченских плутонов: габбро – а) и в) К-47/256 профиль 3; д) и ж) К-47/268,3 профиль 4; диориты – б) и г) 7593/252 профиль 2; е) и з) 7593/252 профиль 3. Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования

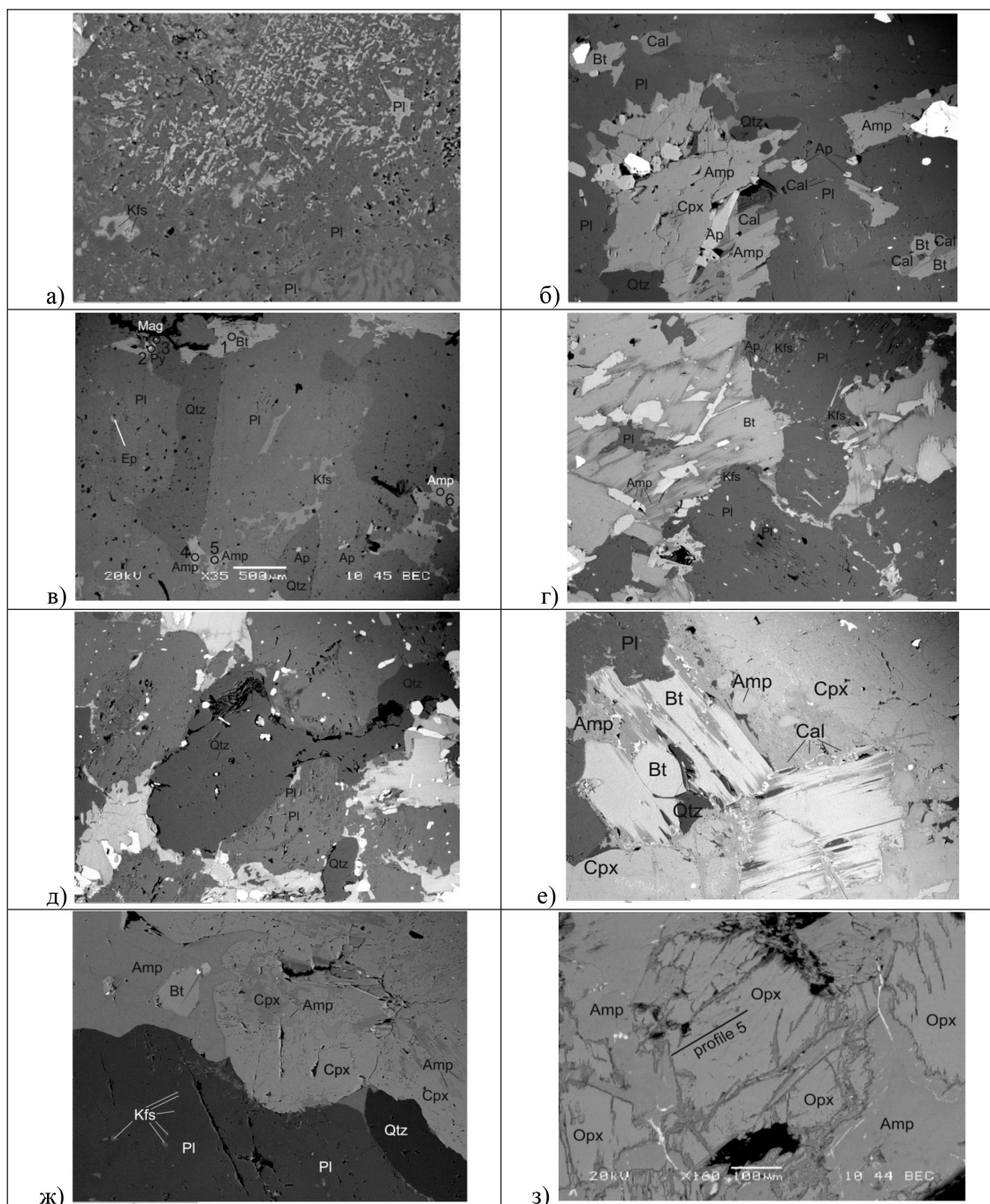


Рис. 5. Фотографии минералов в обратно отраженных электронах:

а) монцодиорит К-19/278,2; б) и в) диорит 7593/252;

г) и д) монцогаббро 7593/276; е) габбро К-47/256; ж) и з) габбро К-47/268,3

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования

Выделяются зональные и незональные их разности. Зональные и незональные зерна окружены амфиболом, кварцем. В незональных зернах есть включения эпидота и КФШ. По размеру и форме зональные и незональные зерна не отличаются. Размер зерен плагиоклаза от 0,1 до 0,4 мм. Зональные зерна

по составу отвечают лабрадору ($An_{0,52-0,57}$) в центральных частях зерен, до андезина ($An_{0,31-0,45}$) в краевых (рис. 4, 5в). Незональные зерна относятся к андезину ($An_{0,34-0,42}$). В монцогаббро и монцодиоритах плагиоклаз образует идиоморфные и гипидиоморфные незональные кристаллы (рис. 3).

Размер зерен в монцогаббро от 0,2 до 0,4 мм, в монцодиоритах – 0,4-0,8 мм. По химическому составу они относятся к андезину ($An_{0,30-0,37}$) и олигоклазу ($An_{0,15-0,29}$).

Ортопироксен в габбро встречается в виде единичных зерен округлой формы, сильно трещиноватых (рис. 3). По зернам ортопироксена развивается вторичный актинолит в виде волокнистых и игольчатых агрегатов. Размер зерен ортопироксена составляет от 0,3 до 0,4 мм, по химическому составу они магнезиальные ($X_{Mg} = 0,62-0,70$), по данным микронзондового анализа относятся к энстатитам (рис. 5, 6).

Бледно-зеленовато-серый клинопироксен в габбро встречается в виде субидiomорфных зерен, по периферии зёрна замещаются актинолитом (рис. 3). Иногда клинопироксен образует включения в плагиоклазе. Клиннопироксен представлен зональными и незональными субидiomорфными зернами. Вокруг незональных зерен клинопироксена находятся ксеноморфные зерна плагиоклаза. Клиннопироксен в габбро представлен зональными и незональными

разностями. Зональные зерна имеют состав от диопсида в центральной части до авгита в краевой части. Незональные зерна относятся к диопсиду (рис. 4-6). Клиннопироксен в диоритах образует гипидiomорфные незональные зерна вытянутой формы, окруженные плагиоклазом (рис. 3), встречается в виде мелких реликтов размером до 0,1 мм, замещается актинолитом, по химическому составу относится к авгиту. Клиннопироксен в монцогаббро образует субидiomорфные незональные зерна, которые замещаются актинолитом (рис. 3), размер зерен 0,2-0,4 мм, образует только незональные зерна. По химическому составу относится к диопсиду и авгиту.

Амфибол в габбро, монцогаббро и диоритах представлен эденитом (рис. 3), который только в габбро образует гипидiomорфные и ксеноморфные зерна размером от 0,1 до 0,4 мм, образует сростания с биотитом, по составу магнезиальный ($X_{Mg} = 0,62-0,85$), с умеренным содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 = 5,68-11,13$ % мас.), оксида титана ($TiO_2 = 0,79-1,79$ % мас.) (рис. 4-6).

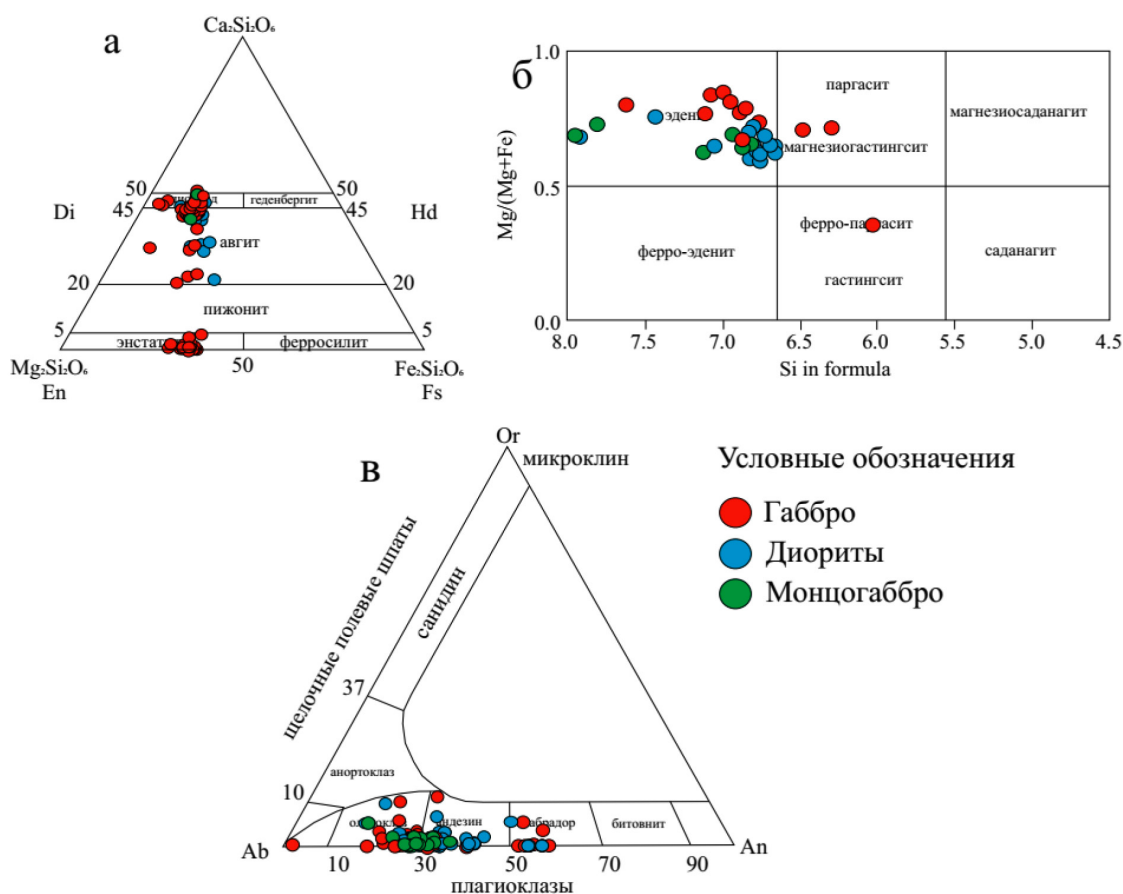


Рис. 6. Диаграммы: а) классификационная диаграмма Ca-Fe-Mg пироксенов Горшеченских плутонов; б) бинарная диаграмма MMA для классификации Са амфиболов; в) диаграмма составов полевых шпатов для пород Горшеченских плутонов
Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования [12; 13]

В монцогаббро эдениты представлены ксеноморфными зернами размером от 0,1 до 0,4 мм, по составу умеренно магнезиальные ($X_{Mg} = 0,62-0,69$), с умеренным содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 = 6,57-7,91$ % мас.), оксида титана ($TiO_2 = 0,48-1,42$ % мас.). В диоритах эдениты представлены ксеноморфными зернами размером от 0,2 до 0,7 мм, по составу умеренно магнезиальные ($X_{Mg} = 0,59-0,65$), с умеренным содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 = 6,84-8,52$ % мас.), оксида титана ($TiO_2 = 0,47-1,83$ % мас.) Местами развивается вторичный хлорит, присутствуют включения эпидота (рис. 4-6). В монцодиоритах эденит представлен гипидиоморфными зернами размером от 0,1 до 0,4 мм.

Биотит в габбро образует чешуйки коричневого цвета размером от 0,3 до 0,5 мм (рис. 3). Встречается в виде субидиоморфных и ксеноморфных зерен в сростании с плагиоклазом и кварцем и роговой обманкой. Биотит в диоритах образует крупные чешуйки, размером от 0,4 до 0,5 мм (рис. 3). В чешуйках биотита наблюдаются включения циркона (до 0,05 мм) и апатита и плеохроичные дворники. Биотит в монцогаббро образует чешуйки коричневого цвета. Встречается в виде ксеноморфных зерен между клинопироксенами. Размер чешуек от 0,2 до 0,4 мм. В монцодиоритах биотит встречается в виде единичных чешуек в сростании с плагиоклазом (рис. 3). Размер биотита от 0,2 до 0,3 мм.

Акцессорный апатит в габбро образует субидиоморфные зерна вытянутой формы размером 0,1-0,2 мм (рис. 3). В диоритах апатит встречается в форме мелких (0,01-0,05 мм) гипидиоморфных зерен в виде включений в биотите и плагиоклазе.

Среди рудных минералов в габбро преобладает пирротин. Пирротин представлен округлыми выделениями в роговой обманке и в клинопироксене с размером зерен 0,2-0,3 мм. В диоритах пирротин имеет ксеноморфные выделения вытянутой формы, образует включения в клинопироксене и биотите с размером зерен 0,05-0,1 мм.

Халькопирит встречается только в габбро в сростании с пирротинном, образует ксеноморфные выделения, размером 0,01-0,05 мм.

Магнетит в габбро образует зерна округлой формы, отмечен в виде включений в ортопироксене, размер зерен до 0,05 мм. В диоритах магнетит образует изометричные зерна округлой формы, отмечен в виде включений в биотите, размер зерен 0,02-0,05 мм.

Титанит в габбро образует кристаллы клиновидной формы, встречается в виде вростков в биотите, размер зерен до 0,05 мм. В диоритах титанит образует зерна вытянутой и неправильной формы, встречается в виде мелких включений в биотите, размер зерен 0,02-0,05 мм.

Геохимия

На диаграмме TAS породы Горшеченских плутонов попадают в поля пород нормального и субщелочного ряда (рис. 7а). Габбро, диориты и монцодиориты имеют нормальную щелочность, монцогаббро характеризуются более высокой щелочностью.

На диаграмме зависимости содержания кремнезема (SiO_2) от отношения общего железа (Fe_2O_3) к сумме магния и железа ($MgO + Fe_2O_3$) габбро, диориты и монцодиориты относятся к магнезиальным породам, монцогаббро относятся к железистым породам. Магнезиальность диоритов выше, чем у габбро (рис. 7б). Согласно классификации Irvine и Barragar (1971), габбро относятся к толеитовой серии, тогда как диориты и монцогаббро демонстрируют переход от толеитовой к известково-щелочной серии. Монцодиориты также относятся к известково-щелочной серии (рис. 7в). Габбро, диориты и монцодиориты принадлежат к высококалиевой серии. Монцогаббро имеют гораздо более высокие содержания K_2O и находятся в поле шошонитов, несколько отдельных точек попадают в поле высококалиевой серии (рис. 7г).

На диаграммах Харкера прослеживается явный обратный тренд между SiO_2 и MgO , CaO , причем видны четкие изменения от габбро к диоритам и монцогаббро, затем к монцодиоритам (рис. 8). Между SiO_2 и Fe_2O_3 наблюдается линейный обратный тренд. Положительные тренды отмечены между SiO_2 и Al_2O_3 , K_2O , Na_2O . При этом выделяются две линии трендов: первая от габбро к монцодиоритам, вторая от монцогаббро к диоритам. По отношению SiO_2 и P_2O_5 наблюдается положительный тренд от габбро к диоритам и отрицательный от монцогаббро к монцодиоритам. Для TiO_2 габбро и монцодиориты демонстрируют отрицательную корреляцию, а монцогаббро и диориты дают положительный тренд.

Габбро имеют умеренные содержания литофильных, крупноионных и высокозарядных элементов (рис. 9). Среди высокозарядных элементов только Nb и Ti характеризуются небольшими отрицательными аномалиями (рис. 9).

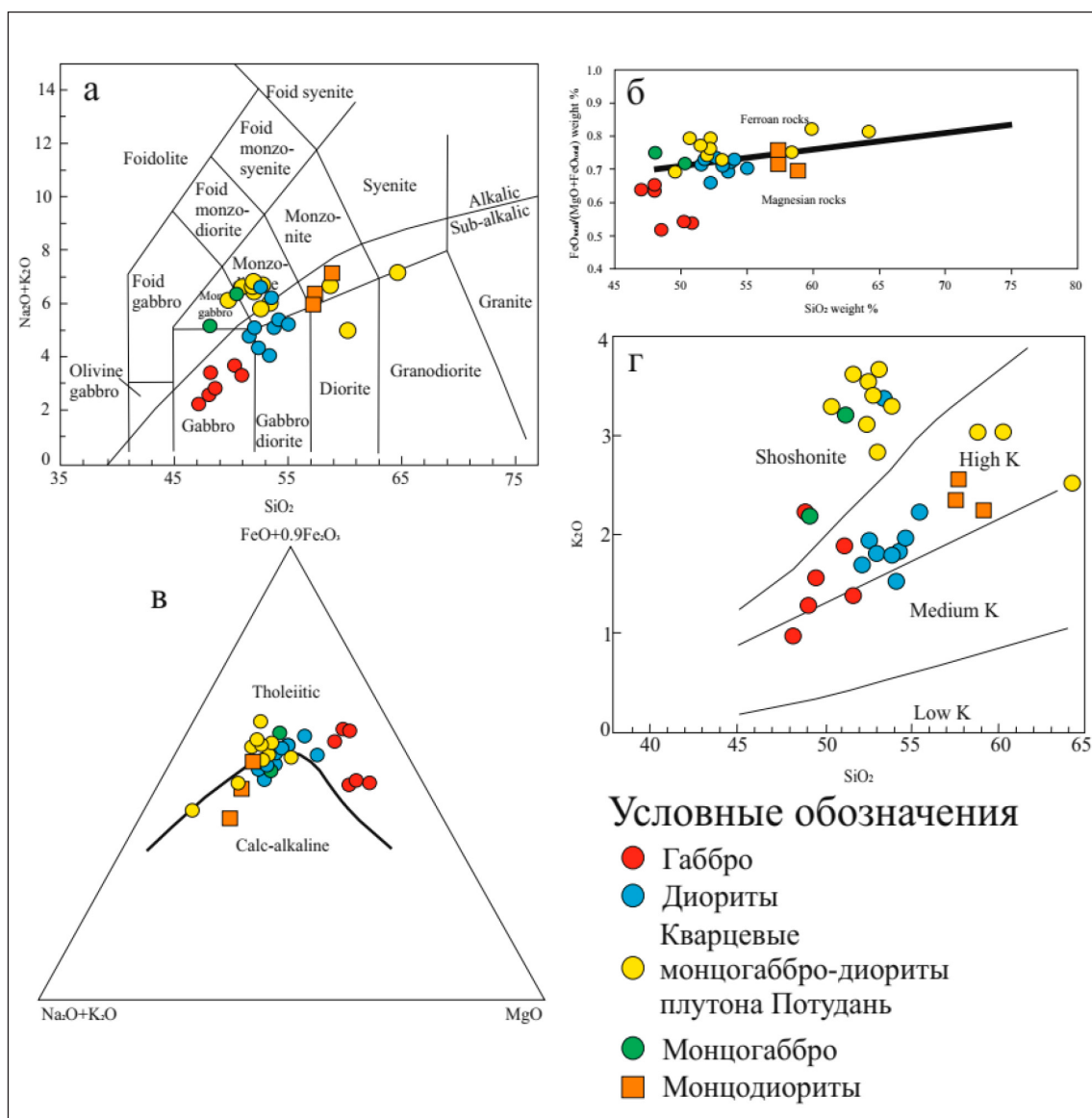


Рис. 7. Классификационные диаграммы: а) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$; б) $\text{SiO}_2-\text{FeO}_{\text{tot}}/(\text{MgO}+\text{FeO}_{\text{tot}})$; в) дискриминационная диаграмма $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-0,9*\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$; г) $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$.
Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования [14; 15]

В некоторых образцах выявлена положительная Ti аномалия. Линии редкоземельных элементов (РЗЭ) показывают сильное фракционирование

легкими $(\text{La}/\text{Sm})_n = 2,27-4,12$

и тяжелыми $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 2,03-3,06$

лантаноидами и слабой отрицательной Eu-аномалией $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,73-0,84)$ (рис. 9).

Диориты имеют повышенные содержания литофильных, крупноионных и высокозарядных элементов (рис. 9). Высокозарядные элементы характеризуются небольшими отрицательными Nb и Ti аномалиями (рис. 9). Редкоземельные элементы (РЗЭ)

характеризуются сильно фракционированными легкими $(\text{La}/\text{Sm})_n = 2,38-4,5$ и тяжелыми $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 2,31-3,75$ лантаноидами, а также отрицательной Eu-аномалией $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,62-0,95)$.

P-T параметры кристаллизации

Для выяснения условий образования пород Горшеченских плутонов были рассчитаны *P-T* параметры кристаллизации (табл. 2). Для расчетов использовали менее измененные зерна ортопироксена, клинопироксена, плагиоклаза и амфибола. В расчетах учитывались составы центров зерен.

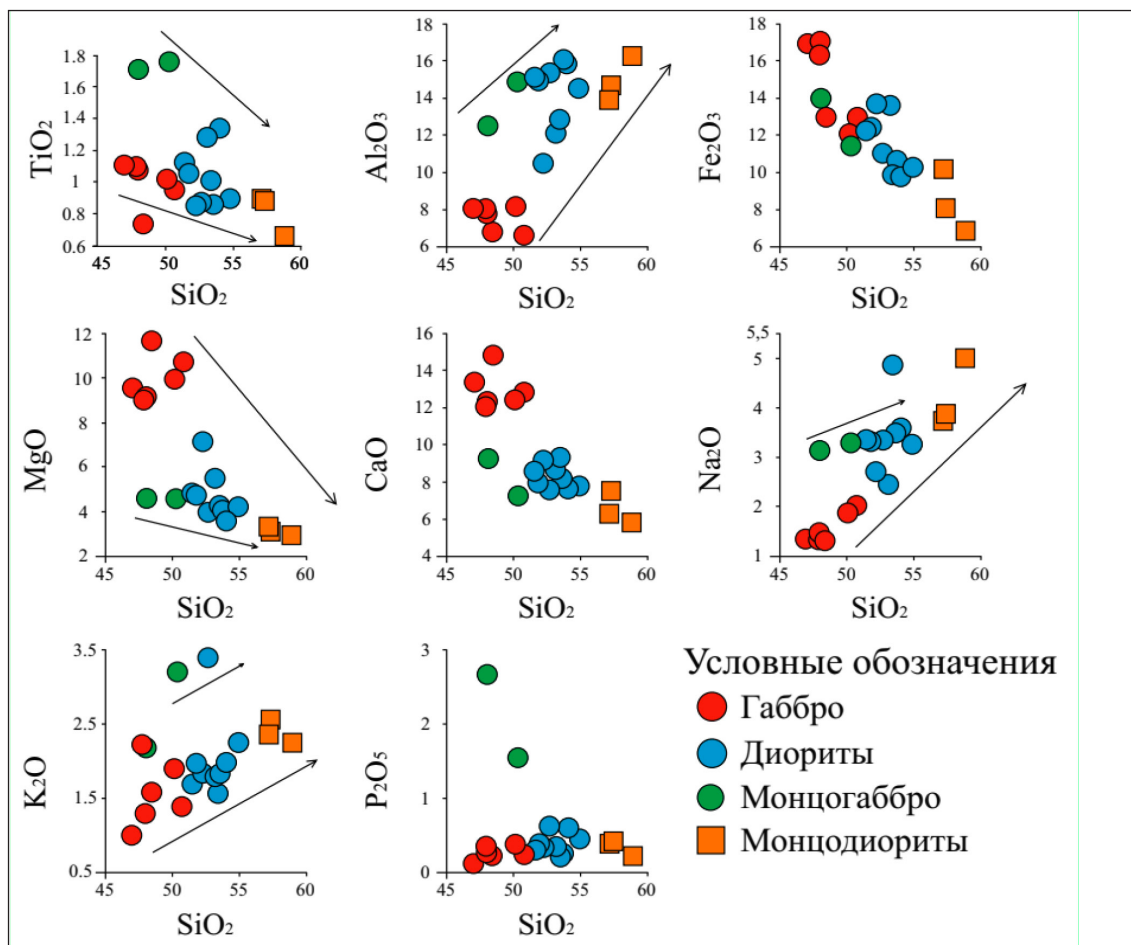


Рис. 8. Бинарные диаграммы для петрогенных оксидов (% мас.) в зависимости от содержания SiO_2 (% мас.)

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования [16]

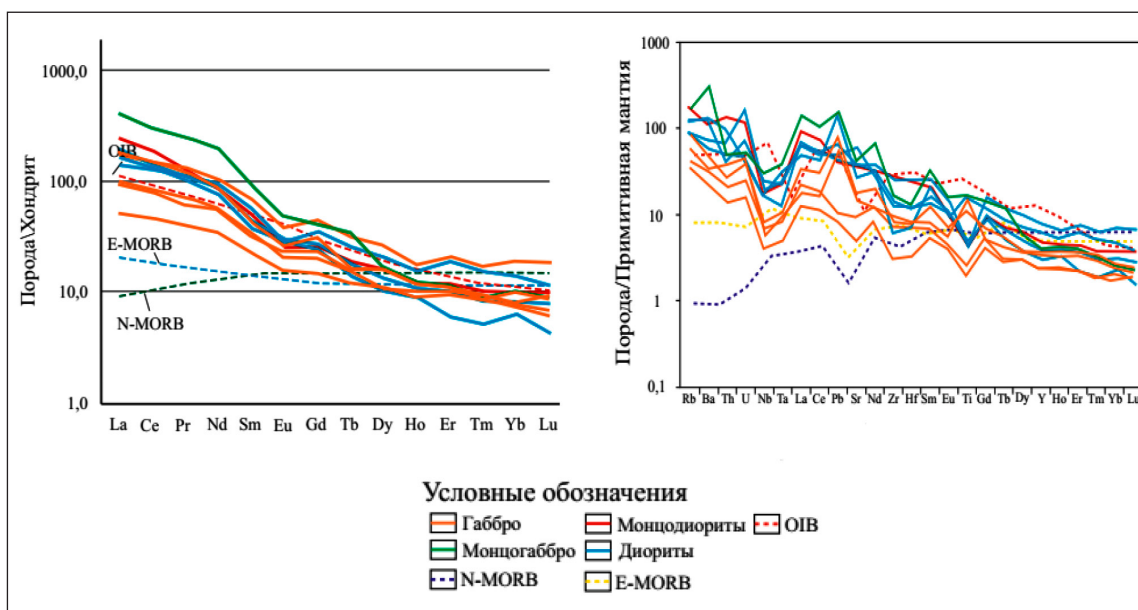


Рис. 9. Нормализованное к хондриту распределение редкоземельных (а) и нормализованное к примитивной мантии распределение малых и редких (б) элементов в породах Горшеченских плутонов

Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в процессе исследования [14]

Таблица 2

Параметры кристаллизации пород Горшеченских плутонов

Геобарометр, геотермометр	Габбро		Диориты	
Ортопироксен-расплав (Putirka K., 2008)	1290-1298±48 °C	0,8-1,2±0,26 ГПа	–	–
Клинопироксен (Putirka K., 2008)	1143-1169±59 °C	0,46-0,64±0,5 ГПа	1168-1170±59 °C	0,6-0,64±0,5 ГПа
Плаггиоклаз (Putirka K., 2008)	1015-1085±23 °C	0,49-0,78±0,38 ГПа	1134-1155±23 °C	0,5-0,82±0,38 ГПа
Амфибол (Putirka K., 2016; American Mineralogist)	742-785±23 °C	0,51-0,67±0,3 ГПа	719-792±23 °C	0,15-0,28±0,3 ГПа

Примечание: составлено автором на основе полученных расчетов в ходе исследования.

В исследованиях использовали: для габбро – 4 зерна ортопироксена, 8 зерен клинопироксена, 13 зерен плаггиоклаза, 11 зерен амфибола; для диоритов – 3 зерна клинопироксена, 6 зерен плаггиоклаза, 22 зерна амфиболов. Использовались уравнения для расчета температур и давлений по ортопироксенам, клинопироксенам, плаггиоклазам и амфиболам. Геобарометры по Anderson and Smith, 1995, Mutch et al., 2016, Hammarstrom and Zen, 1986, не использовались, потому что они применяются для гранитных систем. Геобарометр по Ridolfi et al., 2010, не применяли, потому что он дает завышенные значения. Геобарометры по Emslie et al., 1994, Charlier et al., 2010, авторам не подходят, потому что они разработаны для анортосит-мангерит-чарнокит-гранитных комплексов. Геотермометры по Wan et al., 2008, Loucks, 1996, не использовались, исследуемые породы образовывались при более высоких давлениях, и они не относятся к щелочным породам. Геотермометр по Henry and Medaris, 1980, не использовали, потому что он откалиброван для ультраосновных пород. В результате авторы остановились на методиках по Putirka (2008) и Putirka (2016; American Mineralogist) (табл. 2).

Петрологическое моделирование кристаллизации

С целью выяснения согласованности модельных параметров кристаллизации с рассчитанными параметрами по полученным минеральным составам пород Горшеченских плутонов проводилось петрологическое моделирование кристаллизации на основе программного пакета Comagmat 3.75, который позволяет задаться необходимыми

для наших пород условиями: открытая система (кислородные буферы), так как геохимические тренды пород демонстрируют обеднение высокочargedными элементами, характерное для эволюции с одновременной потерей межзернового расплава; основной кислородный буфер – QFM (постоянный), потому что является стандартным для известково-щелочной серии, к которой принадлежат изучаемые объекты, и занимает промежуточное положение между восстановительными и высокоокислительными условиями; содержание воды в модельной системе 0,4 % мас. отвечает минимальному порогу стабильности роговой обманки при заданном давлении; приращение кристаллизации от 1 до 75%. Для расчетов были взяты составы минералов из габбро и диоритов. Монцогаббро и монцодиориты не использовались, потому что петролого-минералогические исследования показали, что эти породы более сильно измененные. Для габбро (образец К-47/258,2) моделирование приводилось при следующих условиях: 1) вариант – декомпрессия от 1,5 до 0,1 ГПа; 2) вариант – декомпрессия от 1 до 0,05 ГПа. Для диоритов были выбраны два образца – К-47/234,6 и К-47/260,3, для которых моделирование приводилось при следующих условиях: декомпрессия от 1 до 0,05 ГПа.

Габбро – образец К-47/258,2: 1) вариант – плаггиоклазы формировались при $T = 1067-1041^{\circ}\text{C}$, $P = 1,19-0,96$ ГПа, а клинопироксены – при $T = 1314-1041^{\circ}\text{C}$, $P = 1,46-0,96$ ГПа; 2) вариант – плаггиоклазы формировались при $T = 1063-1043^{\circ}\text{C}$, $P = 0,32-0,25$ ГПа, а клинопироксены – при $T = 1270-1043^{\circ}\text{C}$, $P = 0,99-0,25$ ГПа. Диориты – образец К-47/234,6: плаггиоклазы форми-

ровались при $T = 1090-1057\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,05\text{ ГПа}$, а клинопироксены – при $T = 1221-1057\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,95-0,05\text{ ГПа}$; образец К-47/260,3: плагиоклазы формировались при $T = 1078-1037\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,51-0,29\text{ ГПа}$, а клинопироксены – при $T = 1243-1037\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,99-0,29\text{ ГПа}$.

Полученные модельные температуры и давления для пород Горшеченских плутонов соотносятся и совпадают в пределах ошибки с температурами и давлениями, рассчитанными по полученным химическим составам минералов.

Заключение

По результатам петрографических и минералогических исследований выделены следующие породы Горшеченских плутонов: габбро, монцогаббро, монцодиориты и диориты. Отличительными чертами монцогаббро являются повышенное содержание TiO_2 , которое объясняется высоким содержанием ильменита в породе, а также повышенное содержание P_2O_5 , которое обусловлено концентрацией апатита. Монцодиориты характеризуются отсутствием клинопироксена, повышенным содержанием плагиоклаза.

Исследования показали, что для плагиоклазов наблюдается четкий тренд от более кальциевых к более натриевым составам: габбро – (наиболее кальциевые составы, ядра: лабрадор, An_{50-57}) – диориты – (состав также широкий, но сдвинут в сторону натрия, есть кальциевые ядра: лабрадор, An_{52-57} , но края и незональные зерна – андезин An_{31-45}) – монцогаббро (представлен только незональными зернами андезина и олигоклаза An_{15-37} , это самый натриевый плагиоклаз из всех). Магнезиальность клинопироксенов уменьшается от габбро через монцогаббро к диоритам ($X_{\text{Mg}} = 0,59-0,93$). Амфиболы в габбро являются наиболее магнезиальными и имеют самый широкий диапазон составов, вплоть до 0,85 моль. Амфиболы в диоритах – наименее магнезиальные. Амфиболы в монцогаббро занимают промежуточное, но ближе к диоритам, положение. Хотя диапазоны сильно перекрываются, максимальные содержания TiO_2 выше в габбро и диоритах. При этом в диоритах и монцогаббро есть и очень низкие содержания титана (~0,47 % мас.). Для амфиболов во всех породах содержание Al_2O_3 характеризуется как «умеренное» и попадает в перекрывающийся диапазон (~5,7-11,1 % мас.). Биотиты во всех исследованных породах относятся к одному и тому же классу – умеренно магнезиальные ($X_{\text{Mg}} = 0,47-0,6$), местами замещаются хлоритом.

По результатам рассчитанных параметров кристаллизации и моделирования получили возможность показать условия кристаллизации пород Горшеченских плутонов в пределах погрешности: габбро кристаллизуются при $T = 1248-742\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1,2-0,46\text{ ГПа}$; диориты кристаллизуются при $T = 1170-719\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,82-0,15\text{ ГПа}$. Полученные результаты позволяют в дальнейшем охарактеризовать условия проявления базитового магматизма периода 2,05-2,07 млрд лет в зоне сочленения Курского блока Сарматии и Волго-Уралии.

Список литературы

1. Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L. The EUROBRIDGE: New insight into the geodynamic evolution of the East European Craton // Geological Society, London, Memoirs. 2006. № 32 (1). P. 599-628. URL: <https://lup.lub.lu.se/search/publication/590560> (дата обращения: 12.05.2026).
2. Кориш Е. Х., Савко К. А., Сальникова Е. Б., Самсонов А. В., Иванова А. А., Ларионов А. Н., Цыбуляев С. В. Палеопротерозойский диоритгранодиоритовый магматизм Курского блока Сарматии: расшифровка сближенных во времени геологических событий // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 60–63. DOI: 10.17076/geo1655.
3. Хераскова Т. Н., Волож Ю. А., Антипов М. П., Быкадоров В. А., Патина И. С., Сапожников Р. Б. Стрoение зоны сочленения микроконтинентов Сарматия, Волгоуралия и Фенноскандия в составе фундамента Восточно-Европейской платформы // Литосфера. 2023. № 23 (3). С. 309-324. DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-3-309-324.
4. Петракова М. Е., Терентьев Р. А. Петрографические и минералогические признаки взаимодействия гранитоидных и габброидных магм плутона Потудань, Воронежский кристаллический массив // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2018. № 1. С. 32-45. URL: http://www.vestnik.vsu.ru/index_ru.asp (дата обращения: 12.05.2026).
5. Bibikova E. V., Bogdanova S. V., Postnikov A. V., Popova L. P., Kirnozova T. I., Fugzan M. M., and Glushchenko V. V. Sarmatia-Volgo-Uralia junction zone: isotopic-geochronologic characteristic of supracrustal rocks and granitoids // Stratigraphy. Geol. Correlation. 2009. № 17 (6). С. 561–573. URL: <https://link.springer.com/journal/11506/volumes-and-issues/17-6> (дата обращения: 12.05.2026).
6. Петракова М. Е., Савко К. А., Балтыбаев Ш. К. Магматизм Донского террейна Волго-Донского орогена // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 107–110. DOI: 10.17076/geo1654.
7. Terentiev R. A., Savko K. A., Korish E. H., Chervyakovskaya M. V. Geochemistry and Age of the Paleoproterozoic Metavolcanic and Metasedimentary Rocks of the Don Terrane of the Volga-Don Orogen // Geochemistry International. 2024. № 62 (7). С. 675–695. DOI: 10.1134/S0016702924700368.
8. Terentiev R. A., Savko K. A., Petrakova M. E., Santosh M., Korish E. H. Paleoproterozoic granitoids of the Don terrane, East-Sarmatian Orogen: age, magma source and tectonic implications // Precambrian Research. 2020. № 346. P. 105790. DOI: 10.1016/j.precamres.2020.105790.
9. Петракова М. Е., Терентьев Р. А., Юрченко А. В., Савко К. А. Геохимия и геохронология палеопротерозойских кварцевых монцогаббро-монцодиорит-гранодиоритов плутона Потудань (Волго-Донской ороген) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67. № 1. С. 74-96. DOI: 10.21638/spbu07.2022.105.
10. Putirka K. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. In: Putirka K., Tepley F. (Eds.). Minerals, Inclusions

and Volcanic Processes, Reviews in Mineralogy and Geochemistry // Mineralogical Soc. Am. 2008. № 69. P. 61-120. URL: <https://www.mindat.org/reference.php?id=6702940> (дата обращения: 08.05.2026). DOI: 10.2138/rmg.2008.69.3.

11. Putirka K. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes // American Mineralogist. 2016. № 101 (4). P. 841-858. DOI: 10.2138/am-2016-5506.

12. Терентьев Р. А., Савко К. А., Стрик Ю. Н. Палеопротерозойские андезиты восточной части Воронежского кристаллического массива (Восточносарматский ороген): геохимия и петрогенезис // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 1. С. 66-75. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2016/01/2016-01-09.pdf> (дата обращения: 08.05.2026).

13. Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the Inter-

national Mineralogical Association's amphibole nomenclature // American Mineralogist. 2004. № 89. P. 883-887. DOI: 10.2138/am-2004-5-622.

14. Савко К. А., Самсонов А. В., Кориш Е. Х., Вахнин В. Д., Базиков Н. С., Ларионов А. Н., Цыбуляев С. В. Палеопротерозойские роговообманковые габбро Гнилушинского массива Курского блока Сарматии: геохронология, источники расплавов и тектоническая позиция // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2022. № 3. С. 4-19. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2022/3/4-19.

15. Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. 1971. № 8. 523-548. DOI: 10.1139/e71-055.

16. Дугарова Н. А., Гертнер И. Ф., Краснова Т. С. Геохимия и условия формирования базитов офиолитовой ассоциации северного склона Кузнецкого Алатау // Геосферные исследования. 2023. № 4. С. 6-20. DOI: 10.17223/25421379/29/1.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

СТАТЬИ

УДК 620.261:550.3
DOI 10.17513/use.38536



CC BY 4.0

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВЕЩЕСТВ И ИХ ОБЪЕМА ДЛЯ ТУШЕНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА

Курносков В. В. ORCID ID 0009-0000-0572-1278,
Андреева Е. С. ORCID ID 0000-0001-7087-1870

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация,
e-mail: Meteo0717@yandex.ru*

В статье осуществляется выбор и оценка количества взрывчатого вещества, необходимого для создания и безопасного использования эффективной ударно-воздушной волны в рамках реализации метода направленного взрыва, применяемого для тушения опасного неконтролируемого горения. Также исследуется механизм применения направленного взрыва, в частности его наиболее важные параметры: бризантность и фугасность. Подчеркивается, что данный метод наиболее приемлем для тушения ландшафтных пожаров. Для реализации цели исследования автором рассмотрены физические и химические свойства трех веществ – тринитротолуола, пироксилина и гексогена. Выбор наилучшего взрывчатого вещества основывался на расчетах с использованием формулы Д. И. Менделеева, позволившей вычислить теплосодержание продуктов горения, а также собственно температуру горения. По упомянутым показателям наилучшие результаты были зафиксированы для тринитротолуола. Однако финальные результаты расчетов, в частности оценка параметров давления взрыва, позволили выявить взрывчатое вещество с наименьшей температурой горения и наименьшим количеством молей продуктов горения, включая смесь – гексоген, применение которого для тушения опасного горения может иметь наиболее благоприятный эффект в плане создания ударно-воздушной волны и срыва пламени. В перспективе, как представляется, больший эффект от применения гексогена можно улучшить, используя кумулятивное действие.

Ключевые слова: тушение направленным взрывом, взрывчатое вещество, срыв пламени, давление взрыва, ландшафтные пожары, ударно воздушная волна, кумулятивное действие, температура, метод, фугасное действие

OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF SUBSTANCES AND THEIR VOLUME FOR EXTINGUISHING UNCONTROLLED COMBUSTION USING THE METHOD OF DIRECTIONAL EXPLOSION

Kurnosov V. V. ORCID ID 0009-0000-0572-1278,
Andreeva E. S. ORCID ID 0000-0001-7087-1870

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Don State Technical University”, Rostov-on-Don, Russian Federation,
e-mail: Meteo0717@yandex.ru*

This article examines the selection and evaluation of the amount of explosive required to generate and safely deploy an effective shock wave using the directional blast method for extinguishing hazardous, uncontrolled fires. The mechanism for directional blasting, specifically its most important parameters: brisance and explosiveness, is also examined. It is emphasized that this method is most suitable for extinguishing landscape fires. To achieve this goal, the author examined the physical and chemical properties of three substances: trinitrotoluene, pyroxylin, and hexogen. The selection of the optimal explosive was based on calculations using D. I. Mendeleev's formula, which allowed for the calculation of the heat content of combustion products, as well as the combustion temperature itself. Based on these parameters, the best results were recorded for trinitrotoluene. However, the final calculation results, in particular the assessment of explosion pressure parameters, allowed us to identify an explosive with the lowest combustion temperature and the fewest moles of combustion products, including a mixture of hexogen, whose use in extinguishing hazardous fires may have the most beneficial effect in terms of creating a shock wave and flame breakdown. In the future, it appears that the effectiveness of hexogen could be further enhanced by exploiting its cumulative effect.

Keyword: extinguishing by directional explosion, explosive substance, flame disruption, explosion pressure, landscape fires, shock air wave, cumulative effect, temperature, method, high explosive action

Введение

В последние годы методы борьбы с очагами возгораний становятся все более разнообразными и инновационными. Одним из таких является малоприменимый метод

тушения неконтролируемого горения направленным взрывом. Этот подход основывается на базовых принципах физики, инженерии и пожарной безопасности, предусматривая оригинальные решения для эф-

фективного подавления пламени. В данном исследовании рассмотрены теоретические аспекты выбора вещества для создания требуемого давления взрыва с наименьшим дробящим эффектом и проведены соответствующие практические расчеты.

Как известно, метод тушения направленным взрывом предполагает совокупное применение специализированной техники, употребляемой для ликвидации пожаров или предотвращения их распространения с использованием контролируемых взрывных устройств. Этот метод может быть особенно эффективен в ситуациях, когда традиционные способы тушения огня, такие как использование воды или огнетушителей, не могут быть эффективно применены.

Также нельзя не отметить, что в результате воздействия ветра с усредненной скоростью в 2 м/с на открытое горение, пламя способно отклоняться на 45° , в результате этого многократно увеличивается объем захваченного воздуха [1-3]. Тот же эффект наблюдается при воздействии ударной волны на пламя, к тому же её скорость в сотни раз превышает скорость ветра. В совокупности эти факторы приведут к подрыву пламени, в связи с чем произойдет нарушение его целостности [4].

Помимо этого, взаимодействие воздушной волны при прохождении сквозь огонь может привести к частичному завихрению окружающего воздуха. К тому же повышение беспорядочности слоев воздуха грозит отрывом или дроблением пламени. Применение флегматизаторов и ингибиторов также приведет к срыву факела, а если концентрация газа достигнет необходимого уровня – к ликвидации пламени.

Становится ясно, что данный метод довольно гибкий и может предусматривать разные механизмы тушения пламени, но ключевым является возникновение взрыва. В этой связи данное исследование ориентировано на подбор и оптимизацию наиболее приемлемого для инициации взрыва вещества.

В связи с вышеуказанным следует пояснить, что такие процессы, как *горение*, *взрыв*, *детонация* и *дефлаграция*, несмотря на достаточно близкие причины возникновения, поскольку обуславливаются окислением (горением), отличаются, главным образом, разными режимами высвобождения энергии, а также скоростью протекания химической реакции, механизмами распространения фронта пламени и физическим воздействием на окружающую среду.

Строго говоря, *температуру горения нельзя приравнивать к температуре взрыва*, потому что это принципиально разные термодинамические процессы. Так, при горении тепло выделяется достаточно медленно, по своей сути процесс может быть охарактеризован как равновесный. При детонации, относящейся к сильнонеравновесным процессам, энергия выделяется стремительно, за микросекунды, из-за сложных преобразований вещества; еще до начала химической реакции происходит резкий скачок температуры веществ, вследствие чего температура продуктов детонации всегда выше, чем температура тех же веществ при обычном горении.

Как известно, основными характеристиками взрывчатых веществ, играющими решающую роль в оценке их эффективности и применимости, являются «бризантность» и «фугасность».

Бризантность – характеристика, которая определяет их способность к местному или локальному дробящему воздействию на среду, непосредственно соприкасающуюся с зарядом [5].

Фугасность – это способность взрывчатых веществ к разрушительному действию за счет расширения продуктов детонации [6; 7]. Основным поражающим фактором, проявляющимся в виде деформации, отталкивания и разрушения, является прохождение ударной воздушной волны по окружающей среде.

Изучение указанной выше информации позволяет сделать вывод о том, что для достижения нужного результата требуется осуществить анализ и выявить вещества с необходимым соотношением бризантности к фугасности, что поможет существенно снизить уровень разрушений.

Как показали исследования, наиболее подходящими веществами для оценки их приемлемости в качестве взрывчатого вещества, способствующего срыву пламени и прекращению горения, могут быть тринитротолуол (ТНТ), пироксилин и гексоген (RDX).

Данные компоненты считаются базовыми для производства других взрывчатых веществ. Таким образом, они применяются в разных сферах деятельности. К примеру, ТНТ используют при производстве боеприпасов, включая артиллерийское и авиационное оружие, а также в горнодобывающей промышленности. Пироксилин применяется для создания пиротехнических изделий и безопасных взрывных материалов, в том числе для фейерверков и пиротехнических эффектов.

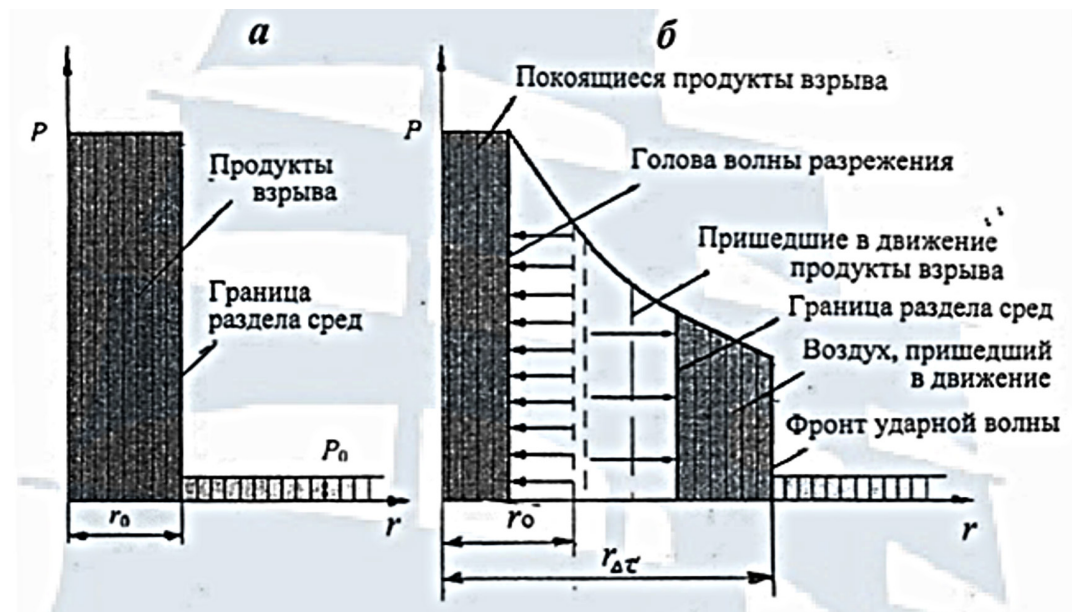


Рис. 1. Этапы формирования воздушной ударной волны: а – исходное состояние; б – последующее состояние Δt ; r_0 – проведённый радиус заряда взрывчатого вещества; r – расстояние; P_0 – нормальное атмосферное давление; P – давление в продуктах взрыва [5]

А гексоген применяют для изучения взрывной химии, энергетики и механизмов реакций при взрывах. Его также используют в изготовлении стандартных проб, необходимых для испытаний и анализа взрывных материалов.

Цель исследования – математическая оценка выбора оптимального количества взрывчатого вещества, формирующего ударно-воздушную волну достаточной мощности, для обоснования принципиальной применимости и эффективности выбранного вещества в реализации метода тушения направленным взрывом (рис. 1).

В числе основных задач, позволяющих реализовать цель, можно выделить следующие:

- изучение физических принципов формирования очагов неконтролируемого горения в разных условиях и средах;
- выявление характерных численных условий сред, обеспечивающих максимальные параметры горения (рис. 2);
- выявление наиболее эффективных веществ, принимающих участие в формировании ударно-воздушной волны с учетом бризантности и фугасности;
- расчетное обоснование веществ, формирующих минимальные значения давления при взрыве.

Для осуществления цели и решения поставленных для этого задач были использованы уравнение Д. И. Менделеева и та-

блица теплосодержания газов при постоянном давлении.

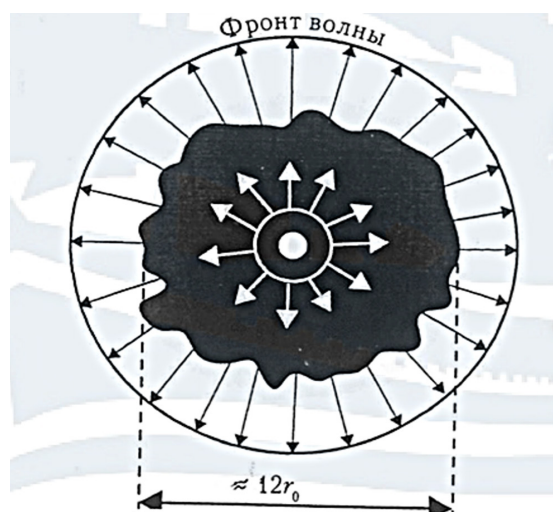


Рис. 2. План формирования ударной воздушной волны в воздухе [5]

Как известно, для эффективного пожаротушения оптимальным считается создание максимального давления при минимально возможном снижении температуры внешней среды [8; 9]. Данный баланс давления и температуры среды обуславливается необходимостью подавления горения посредством механического вытеснения

кислорода для тушения горения, а не только с помощью охлаждения среды. Максимальное давление позволяет ввести в очаг горения большее количество огнетушащего вещества (например, азота или аргона) за доли секунды, создаваемое при этом облако инертного газа предохранит очаг горения от повторного воспламенения, надолго сохраняя тушащий эффект.

Материалы и методы исследования

Одной из основных задач исследования, решение которой позволит реализовать его цель, является расчет значения давления взрыва 1 кг взрывчатого вещества [10]. Для этого будем исходить из закона сохранения энергии и уравнения состояния идеального газа, используя для расчетов три известных взрывчатых вещества: *тринитротолуол*, *пироксилин* и *гексоген*.

На основании метода Бринкли – Уилсона как итерационного термодинамического метода, позволяющего корректно рассчитать параметры детонации (давление, P , температуру, T , и показатель политропы, γ , который описывает закон изменения состояния газа при его расширении или сжатии), исходя из уравнения состояния продуктов взрыва.

Выбор метода Бринкли – Уилсона объясняется тем, что данный метод учитывает реальный состав газов при экстремальных температурах через константы химического равновесия.

Для 1 кг взрывчатого вещества расчет основывается на решении системы уравнений:

1. Уравнение сохранения энергии:

$$Q_{\text{det}} = \sum n_i \cdot [H_{f,i}^o(298) + \Delta H_i(T)], \quad (1)$$

где Q_{det} – теплота детонации, кДж; n_i – количество молей i -го вещества, моль; $H_{f,i}^o(298)$ – стандартная молярная энтальпия образова-

ния вещества, кДж/моль; $\Delta H_i(T)$ – энтальпия нагрева газа от 298 К до температуры взрыва, T , кДж/моль.

2. Уравнение состояния в форме Бринкли – Уилсона в удельных величинах для 1 кг вещества:

$$P = \frac{\rho_o \cdot R \cdot T}{M_{pg} \left(1 - \rho_o \frac{\alpha}{M_{pg}} \right)}, \quad (2)$$

где P – давление газа, Па; ρ_o – плотность заряда, кг/м³; α – коволюм, или собственный объем молекул газа, обычно принимаемый равным объему кристаллической решетки взрывчатого вещества; M_{pg} – средняя молекулярная масса продуктов.

3. Химическое равновесие

Для исследуемых веществ тринитротолуола, пироксилина и гексогена основными продуктами являются N_2 , H_2O , CO , CO_2 . Однако при давлении свыше 10 ГПа часть углерода выделяется в виде сажи. При этом необходимо определить такое значение температуры T , при котором сумма парциальных давлений всех компонентов будет соответствовать заданной плотности энергии.

В соответствии с вышеприведенным алгоритмом, на основании применения термодинамического метода Бринкли – Уилсона, учитывая, что плотность веществ $\rho = 1600$ кг/м³, а сами вещества:

- ТНТ (тринитротолуол) $C_7H_5N_3O_6$ – № 1;
- пироксилин $[C_6H_7O_2(ON_2)]_n$ – № 2;
- гексоген (RDX) $C_3H_6N_6O_6$ – № 3,

получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Как представляется, оптимальным взрывчатым веществом, которое может быть применимо для тушения пожара направленным взрывом, является гексоген (табл. 1), практически все параметры детонации которого превышают рассматриваемые в исследовании вещества № 1 и № 2.

Таблица 1

Результаты расчетов параметров детонации с учетом справочных данных

Параметр	Тринитротолуол (вещество № 1)	Пироксилин* (вещество № 2)	Гексоген (вещество № 3)
Теплота детонации, удельная, Q_{det} , МДж/кг/молярная, Q_{det} , МДж/моль	~ 4,5/1,02	~ 3,7/1,1	~ 5,5/1,2
Давление, P , ГПа	~ 21,0	~ 18,5	~ 29,5
Температура, T , К	~ 3500	~ 3200	~ 3800
Показатель политропы, γ	~ 2,9	~ 2,8	~ 2,9
Скорость детонации, м/с	~ 6900	~ 7200	~ 8400

* Расчеты в таблице произведены для высокоазотного коллоксилина, поскольку эффективность пироксилина существенно зависит от его нитрации

Примечание: рассчитано авторами.

Собственно говоря, выбор указанного вещества обеспечивается не только и не столько наибольшим давлением, P , ГПа, создаваемым данным веществом в момент взрыва, сколько физическими свойствами формирующейся при этом ударно-воздушной волны. Так, наибольшее значение удельной теплоты детонации у гексогена определяет большой запас тепла на килограмм этого вещества, что обуславливает наибольшее сжатие воздуха во фронте первичной ударной волны. Давление, P , ГПа, создаваемое данным веществом и его продуктами детонации, намного выше: на 40,48% выше, чем у тринитротолуола, и на 59,46% выше, чем у пироксилина. Наконец, высокая скорость детонации гексогена обуславливает резкий градиент давления, что очень полезно использовать именно при «сбивании» пламени пожара, когда из-за крутизны ударной волны возникает резкий удар, вызывающий эффект тушения открытого горения [11]. Кроме прочего, как показало изучение литературных данных, при детонации гексогена выделяется меньше свободного углерода в виде сажевых частиц, при этом в окружающую среду выбрасывается больше таких газов, как двуокись углерода CO_2 , азот N_2 и водяной пар H_2O , что также соответствует принципу экологичности и эффективности применения исследуемого взрывчатого вещества.

В связи с этим применение гексогена в качестве основного вещества для тушения неконтролируемого горения показывает более высокую эффективность реакции. В то же время применение тринитротолуола или пироксилина демонстрирует противо-

положный результат, не являясь, очевидно, эффективным решением для реализации цели исследования.

Как представляется, метод направленного взрыва может быть эффективно применен при тушении ландшафтных пожаров, чаще всего возникающих на открытых участках местности, площадь которых может достигать тысяч гектаров. До 90% таких пожаров возникает в связи с деятельностью человека, и к моменту прибытия сил и средств пожаротушения огонь уже покрывает значительные площади. Так, для успешного использования гексогена, как оптимального взрывчатого вещества, его необходимо подготовить на некотором расстоянии от фронта пламени, в сторону которого распространяется огонь и направлен приземный ветер [12; 13]. Далее, после дистанционного срабатывания взрывчатки, происходят срыв пламени за счет нарастающего давления и подача огнетушащих веществ для охлаждения площади пожара.

Отсюда высокая мощность детонации обеспечивает его максимальную технико-экономическую эффективность за счет снижения требуемой массы заряда. В плане обеспечения экологической безопасности применение гексогена предпочтительнее за счет образования менее токсичных продуктов детонации, а также из-за отсутствия твердой дисперсной фазы (сажевых частиц), что, несомненно, минимизирует вторичное загрязнение приземного слоя воздуха в районах взрывных работ.

Расчеты параметров безопасности для людей и техники, особенно при тушении лесных пожаров, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров безопасности для людей и техники при тушении пожаров направленным взрывом

Масса взрывчатого вещества, W , кг	Расстояние от центра взрыва, R , м	Максимальное давление во фронте ударной волны, ΔP , кПа	Отраженное давление, ΔPr , кПа	Импульс фазы сжатия, I^+ , Па·с	Длительность положительной фазы, τ^+ , с
0,085	100	4,32	8,64	4-5	0,0026
0,085	200	2,16	4,32	10-12	0,0052
0,085	300	1,44	2,88	18-20	0,0078

Так, для расчетов максимального давления во фронте ударной волны (ΔP , кПа) была использована формула М. А. Садовского:

$$\Delta P = 95 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right) + 390 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right)^2 + 1300 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right)^3, \quad (3)$$

где W – масса заряда, кг (тротильный эквивалент), R – расстояние от центра взрыва, м.

Отраженное давление, ΔPr , κPa , вычислялось по формуле:

$$\Delta Pr \approx 2 \cdot \Delta P, \quad (4)$$

определяя величину давления преграды распространению ударной волны, в данном случае – лесной массив и пр. Импульс фазы сжатия, I^+ , $Pa \cdot c$, позволяющий оценить механическое действие волны, рассчитывался по формуле:

$$I^+ \approx \frac{2 \cdot R}{C_0} \cdot \Delta P, \quad (5)$$

где C_0 – скорость звука в воздухе, составляет около 340 км/с.

Время превышения значения давления во фронте ударной волны над величиной атмосферного давления или длительность положительной фазы, τ^+ , c , было оценено по формуле:

$$\tau^+ = \alpha \cdot \frac{\sqrt[3]{W}}{C_0}, \quad (6)$$

при этом эмпирический коэффициент α зависит и определяется величиной безразмерного коэффициента подобия Z , расчет которого производился по формуле:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (7)$$

где W – масса заряда в кг; R – расстояние от центра взрыва, м.

Скорость разлета оболочки заряда или скорость разлета фрагментов, V_0 , м/с, определялась по формуле:

$$V_0 = k \cdot D, \quad (8)$$

где V_0 – скорость разлета фрагментов, м/с; k – безразмерный эмпирический коэффициент, равный 0,02–0,05 для разных материалов; D – скорость детонации гексогена 8300–8400 м/с.

Для определения радиуса зоны сплошного поражения незащищенной живой силы, R , можно использовать формулу:

$$R = 150 \cdot \sqrt[3]{W}, \text{ или } R = 200 \cdot \sqrt[3]{W}, \quad (9),$$

указанный расчет позволяет оценить масштаб разлета обычных стальных осколков или высокоэффективных сферических поражающих элементов. Результаты расчетов скорости разлета фрагментов и величины радиуса опасной зоны сплошного поражения живой силы сведены в таблицу 3.

Исходя из данных таблицы 3, можно видеть, что летальная угроза ограничена радиусом зоны 66–88 м, исследуемые нами дистанции в соответствии с нормативными документами (РД 03-409-01) 100, 200 или 300 м находятся за пределами зоны гарантированного поражения. При этом важно отметить, что на расстоянии 100 м находиться без капитальной преграды людям небезопасно из-за риска прямого попадания первичных крупных осколков.

Оценка воздействия максимального давления во фронте ударной волны взрыва на окружающую среду показана в таблице 4.

С точки зрения отсутствия баротравм у людей и серьезных динамических ударов по технике безопасным расстоянием можно считать диапазон от 45 до 60 метров. На этой дистанции давление гарантированно опустится ниже 10 кПа. Однако стоит учитывать, что осколочная зона разлета оболочки для такого заряда (рассчитанная по формулам Г. И. Покровского) составляет около 66–88 метров. Таким образом, истинная «полностью безопасная зона», где нет ни опасного давления, ни летящих со скоростью 200–300 м/с фрагментов металла, начинается со 100 метров и далее.

Действие взрыва, как представляется, можно усилить в определенном направлении с помощью кумулятивного действия [14] Это достигается путем применения заряда с выемкой, обращенной в сторону объекта тушения [15].

Таблица 3

Результаты расчетов скорости разлета фрагментов и величины радиуса опасной зоны сплошного поражения живой силы

Эмпирический коэффициент, k	Скорость детонации гексогена, D , м/с	Скорость разлета фрагментов, V_0 , м/с	Масса заряда, W , кг	Радиус зоны сплошного поражения R , м	
				150	200
0,02-005	8400	168-420	0,085	66	88
0,035	8400	294			

Таблица 4

Уровни максимального давления во фронте ударной волны взрыва
и эффекты воздействия на объекты окружающей среды

Максимальное давление во фронте ударной волны, ΔP , кПа	Эффекты воздействия на объекты окружающей среды				
	Население	Легкие автомобили	Тяжелая техника	Хвоя, листва деревьев	Стволы деревьев
3-5				срывается полностью, «ошкуривание»	
10-15	потеря равновесия		выход из строя стекол и зеркал		тонкий сухостой ломается
20-30	травмы от ударов о поверхность	опрокидывание, повреждение кузова			
35 и более	баротравмы				
50			повреждение ходовой части		

Валидация полученных результатов проведенных исследований проводилась с помощью классического метода инженерных оценок: на основе сопоставления с литературными справочными данными (сравнение с аналитикой справочников М. А. Садовского) [15; 16], а также посредством изучения результатов аналитических расчетов первого приближения. Достаточно близкая сходимость теоретических расчетных значений и известных справочных параметров, установленных экспериментальным путем, позволяет сделать вывод о принципиальной возможности проведения дальнейших практических исследований для уточнения расчетных значений количества взрывчатого вещества и его параметров в плане их использования для ряда хозяйственных задач, в том числе для тушения пожаров.

Заключение

Сравнение рассчитанных значений давления взрыва позволило сделать вывод, что, по предварительным данным, наиболее подходящим веществом для применения метода тушения неконтролируемых очагов горения направленным взрывом является гексоген, однако его практическая применимость требует экспериментальной проверки. Как показали предварительные результаты расчетов, взрывы, обусловленные применением порядка 85 граммов гексогена, создают максимальное значение давления, равное 1,44–4,32 кПа, что соответствует наименее опасному уровню для окружающей среды, позволяющему минимизировать ущерб

от взрывных процессов, сохранив качество среды, не потеряв при этом необходимой мощности ударной волны для срыва пламени при тушении пожаров.

Список литературы

1. Баланюк В. М. Повышение эффективности газового пожаротушения ударной волной // *Bezpieczenstwo i technika pozarnicza*. 2016. Т. 43. № 3. С. 81–94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29038450> (дата обращения: 10.06.2026). DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8.
2. Баланюк В. М. Тушение диффузионного пламени н-гептана ударной волной // *Bezpieczenstwo i technika pozarnicza*. 2016. Т. 42. № 2. С. 103–111. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29038221> (дата обращения: 10.06.2026). DOI: 10.12845/bitp.42.2.2016.10.
3. Гришин А. М., Зима В. П., Касымов Д. П. Применение взрывчатых веществ в устройствах локализации и тушения природных пожаров // *Пожаровзрывобезопасность* 2015. Т. 24. № 7. С. 52–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23803788> (дата обращения: 10.06.2026). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60.
4. Курносов В. В., Андреева Е. С. Возможность тушения неконтролируемого горения с помощью метода направленного взрыва // *Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической* 2025. С. 119–120. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=89067715> (дата обращения: 10.06.2026).
5. Лоцилов А. А., Ильичева М. Н., Иконников В. В., Шаулов Д. А., Орлов Ю. Ф., Зенькович А. В. Математическое моделирование тушения лесного пожара при помощи направленного взрыва // *Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева* 2018. № 4 (123). С. 33–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36654600> (дата обращения: 10.06.2026). DOI: 10.46960/1816-210X_2018_4_33.
6. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Справочник: в 2-х ч. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 2. М.: Пожн-ука, 2004. 774 с. EDN: UIAYCP.
7. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. Изд. 3-е. 2004. Т. 2. 656 С. М.: ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература». URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26062863> (дата обращения: 10.06.2026).

8. Гринько О. И., Шапиро В. Я., Григорьева О. И. Григорьев М. Ф., Степанова Д. И. Григорьева А. И. Инновационный способ остановки верховых лесных пожаров // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 15-18. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42819657> (дата обращения: 10.06.2026).
9. Касторных А. В., Кузовлев А. В. Инновационные способы тушения газовых фонтанов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 320-322. EDN: YQIGGD.
10. Голованов А. Н., Фатеев В. Н. Экспериментальное исследование процессов усиления ударных волн // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2011. № 4 (16). С. 96-100. URL: https://www.mathnet.ru/rus/vtgu/y2011/i4/p96https://www.mathnet.ru/php/archive.php?show=paper&jrnid=vtgu&paperid=227&option_lang=rus (дата обращения: 10.06.2026).
11. Андреева Е. С., Сергеева Г. А., Богданова И. В. Уточнение модели низового лесного пожара с учетом конвективной турбулентности // Безопасность техногенных и природных систем. 2025. Т. 9(1). С. 14-21. DOI: 10.23947/2541-9129-2025-9-1-14-21.
12. Ватутин Н. М., Заборовский А. Д., Завьялов В. С., Колтунов В. В., Кияткин Д. В. Новые направления в области изучения ближней зоны взрыва посредством баллистического маятника // Известия Российской академии ракетный и артиллерийских наук. 2019. № 4. С. 106-114. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41469446> (дата обращения: 10.06.2026).
13. ГОСТ 22.0.06-97/ГОСТ Р 22.0.06-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552366066> (дата обращения: 10.06.2026).
14. СП 88.13330.2014. Свод правил. Защитные сооружения гражданской обороны: утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 18 февраля 2014 г. № 59/пр; введен в действие 01.06.2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111826> (дата обращения: 10.07.2026).
15. РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия: утв. постановлением Госатомнадзора России от 31 декабря 1996 г. № 100. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200061429> (дата обращения: 11.07.2026).
16. Гельфанд Б. Е., Сильников М. В. Фугасные эффекты взрывов. СПб.: Полигон, 2002. 266 с. ISBN 5-89173-221-1.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

УДК 624.131.1
DOI 10.17513/use.38537



CC BY 4.0

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ КОМПЛЕКСА ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ РЦ «ОЗОН» В Г. АДЫГЕЙСКЕ

Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Бегеретова М. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар,
Российская Федерация, e-mail: margaritaaa7@yandex.ru*

Расположение локальных очистных сооружений на территории больших логистических центров зависит от ряда факторов, в том числе гидрогеологических и инженерно-геологических условий. В рамках статьи решается задача выбора оптимального положения рассматриваемых сооружений – как в плане, так и по глубине заложения в условиях строительной площадки, характеризующейся активизацией техногенного подтопления и повышенной сейсмической опасностью. Согласно выполненной оценке, подтопление на данной территории характеризуется весьма высокой степенью опасности, в таких условиях расположение локальных очистных сооружений и их инженерная защита должны обеспечивать водопонижение и гидроизоляцию подземных частей сооружения. Мероприятия по сейсмостойкости конструкций и основания фундаментов локальных очистных сооружений, в случае уточненной микросейсмостойкостью территории 7 баллов, должны обеспечивать размещение объекта на грунтах II категории по сейсмическим свойствам, а также обратную засыпку грунтом с такими же свойствами. Учитывая приведенные выше гидрогеологические и инженерно-геологические условия и связанные с ними мероприятия по инженерной защите, оптимальное расположение локальных очистных сооружений РЦ «ОЗОН» в г. Адыгейске осуществлено на северо-западе отведенного участка. Комплексный учет природных и техногенных факторов позволяет повысить устойчивость объекта и снизить риски аварийных ситуаций в условиях неблагоприятных геологических процессов.

Ключевые слова: подтопление территории, сейсмичность площадки, локальные очистные сооружения, инженерно-геологический разрез, водопонижение, гидроизоляция

OPTIMIZATION OF THE LOCATION OF FACILITIES OF A COMPLEX OF LOCAL SEWAGE TREATMENT PLANTS DEPENDING ON THE HYDROGEOLOGICAL AND ENGINEERING- GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION SITE USING THE EXAMPLE OF THE OZON RC IN ADYGEYSK

Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Begeretova M. A.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”,
Krasnodar, Russian Federation, e-mail: margaritaaa7@yandex.ru*

The location of local wastewater treatment plants on the territory of large logistics centers depends on a number of factors, including hydrogeological and engineering-geological conditions. Within the framework of the article, the task of choosing the optimal position of the structures under consideration is solved, both in terms of plan and depth of laying in the conditions of a construction site characterized by increased man-made flooding and increased seismic hazard. According to the assessment, flooding in this area is characterized by a very high degree of danger, in such conditions, the location of local sewage treatment plants and their engineering protection should ensure dewatering and waterproofing of the underground parts of the structure. Measures for the seismic resistance of structures and foundations of local sewage treatment plants, in the case of a 7-point seismicity specified by seismic microzonation, should ensure that the facility is located on soils of category II in terms of seismic properties, as well as extensive backfilling with soil with the same properties. Taking into account the above hydrogeological and engineering-geological conditions and related engineering protection measures, the optimal location of the local treatment facilities of the OZON RC in Adygeysk was carried out in the north-west of the designated area. Comprehensive consideration of natural and man-made factors makes it possible to increase the stability of the facility and reduce the risks of emergency situations in conditions of unfavorable geological processes.

Keywords: flooding of the territory, seismicity of the site, local sewage treatment plants, engineering and geological section, dewatering, waterproofing

Введение

Локальные системы очистки сточных вод (ЛОС) относятся к ключевым элементам инженерной инфраструктуры крупных

распределительных комплексов [1-3]. Их пространственная привязка к рельефу площадки и генеральному плану застройки определяется не только топографией мест-

ности и розами ветров, но и, что критически важно, инженерно-геологическими условиями на глубинах заложения технологических емкостей и насосных агрегатов [4-6].

Рассматриваемый распределительный центр «ОЗОН» в г. Адыгейске представляет собой совокупность сооружений: основное складское здание 362×168 м, контрольно-пропускные пункты, площадка для вторсырья (15×34 м), насосная станция (6×15 м), два пожарных резервуара 10×10×10 м, блочная комплектная трансформаторная подстанция (БКТП) 15×6 м, дизель-генераторная установка (ДГУ) 10×4 м, сливная площадка и непосредственно блок ЛОС размерами 3×20 м. В строении изучаемой территории принимают участие три основные толщи отложений: техногенная (тёмно-бурые суглинки и глины, переотложенные и обогащённые включениями строительного мусора), элювиальная (тёмно-серые суглинки и глины коры выветривания) и аллювиальная, характеризующаяся переслаиванием серых глин, гумусированных зеленовато-серых суглинков, а также обводнённых пылеватых и мелких песков [7-9].

Нормативное промерзание грунтов согласно п. 5.5.3 СП 22.13330.2012 рассчитано по формуле:

$$dfn = d0\sqrt{Mt} \quad (1)$$

где $d0$ – величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23; Mt – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе.

$$dfn = 0,23 \cdot \sqrt{0,2} = 0,23 \cdot 0,44 = 0,10 \text{ м} \quad (2)$$

Однако, ориентируясь на многолетние данные метеостанции г. Краснодара (ретроспектива с 1950 г.), для практического проектирования принята глубина промерзания 0,70 м.

Рельеф участка имеет слабый уклон, абсолютные отметки варьируются в диапазоне 44,05–50,65 м. Ранее земли использовались в сельскохозяйственных целях.

Фрагмент топографической основы с зонами потенциального размещения ЛОС (с учетом гидрогеологических ограничений) приведен на рисунке 1.

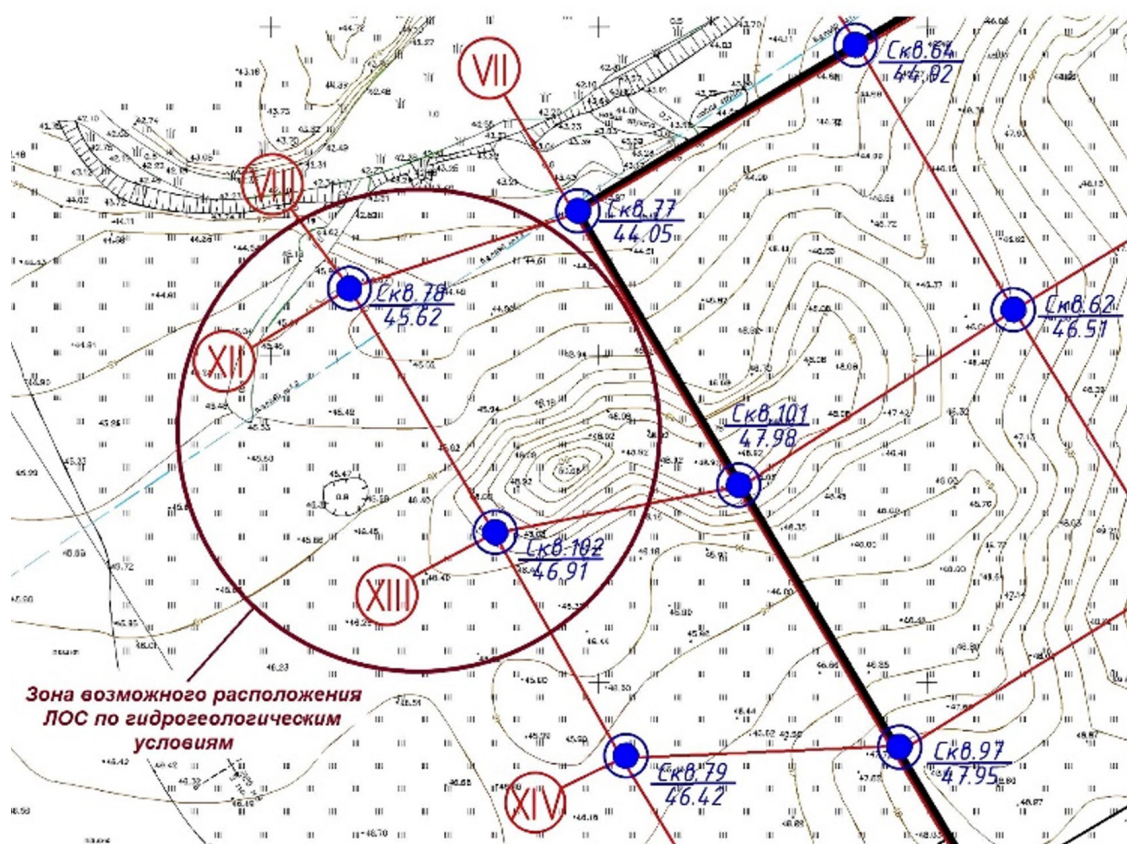
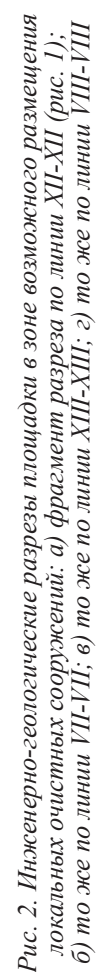


Рис. 1. Фрагмент топосъемки территории РЦ «ОЗОН» в г. Адыгейске



Цель исследования – обоснование оптимальных плановых и глубинных параметров заложения локальных очистных сооружений на участках с высоким риском подтопления и проявлением сейсмической активности.

Материалы и методы исследования

В ходе инженерно-геологических изысканий зафиксирован почвенный слой мощностью 0,6–1,5 м со средним содержанием гумуса 2,9%.

Для расчленения толщи грунтов в массиве на отдельные слои, оценки пространственной изменчивости свойств грунтов, количественной оценки их прочностных и деформационных характеристик было выполнено статическое зондирование посредством вдавливания в грунт стандартного зонда до глубины 15,0–20,0 м. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 19912-2012.

Лабораторные исследования проводились по ГОСТ 20522-2012, классификация грунтов – по ГОСТ 25100-2020. В разрезе выделены: Слой 1, а также 9 инженерно-геологических элементов (ИГЭ-1 – ИГЭ-8а) [10]. Распределение выделенных элементов по простиранию и глубине с фиксацией установившегося уровня грунтовых вод (УГВ) в зоне возможного размещения ЛОС отражено на разрезах (рис. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистической обработки физико-механических свойств грунтов по данным лабораторных исследований и рекомендуемые расчетные физико-механические характеристики грунтов, принятые по наименьшему показателю, приведены в таблице.

На изученной глубине 20,0 м идентифицирован единый водоносный горизонт порово-пластового типа, приуроченный к эолово-делювиальной толще. Уровень подземных вод зафиксирован на отметках 0,5–19,5 м от дневной поверхности. Основной источник питания – инфильтрация атмосферных осадков, второстепенный – техногенные утечки из коммуникаций. Разгрузка направлена в балку р. Чейтук [11; 12]. В пределах кровли Слоя-1 и ИГЭ-1–3 при обильных осадках и снеготаянии возможно формирование «верховодки».

Химический анализ подземных вод по СП 28.13330.2017 показал их неагрессивность по сульфатам для всех марок бетона. Для железобетонных конструкций при воздействии хлоридов регламентирован за-

щитный слой бетона 30 мм (для W6–W8). Грунты зоны аэрации неагрессивны к бетону и железобетону.

На площадке распределительного центра «ОЗОН» фиксируется устойчивое подтопление, причиной которого служит отсутствие организованного дренажа территории – в сложившихся естественных условиях [13–15]. Уровень подземных вод варьируется от 0,5 до 19,5 м от поверхности. В естественном состоянии строительная площадка постоянно подтоплена. Согласно классификации приложения СП 11-105-97 (часть II), данная территория по факту подтопления относится к области I; по условиям развития процесса – к району I-Б; по временной динамике – к участку I-Б-2. Категория опасности подтопления в соответствии с приложением Б СНиП 22-01-95 квалифицирована как весьма высокая.

При проектировании защитных мероприятий следует исключить любые изменения агрессивности грунтовых вод, а также физико-механических параметров грунтов в основаниях существующих и проектируемых сооружений.

Фоновая сейсмичность по карте АОСР-2016 (приложение А СП 14.13330.2018) составляет 7 баллов (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент карты АОСР-2016 с расположением объекта

Категория опасности землетрясений – «весьма опасная» (СП 115.13330.2016). При интенсивности >6 баллов высока вероятность потери несущей способности грунтами.

Категория грунтов по сейсмическим свойствам в основном – II (вторая). Исключение – Слой-1 и ИГЭ-8,8а (III категория). Для уточнения параметров выполнена сейсмическая разведка в целях микрорайонирования.

Рекомендуемые значения деформационно-прочностных характеристик грунтов

Комплекс, (группа)	Класс, тип, вид	№ слоя, ИГЭ	Описание грунтов	Характеристика, единица измерения			Примечание
				Е ₀ , МПа	С, кПа	φ, град.	
Комплекс голоценовых (QIV) техно- генных (t) образований	Класс – дисперсные; подкласс – связные; тип – техногенные; подтип – антропогенно образованные грунты; вид – антропогенно образованные грунты; подвид – антропогенно образованные грунты	Слой-1	Насыпной грунт. Глина легкая полутвердая с прослоями тугопластичной	10	38	17	Техногенные грунты Слой-1 основанием для фундамен- тов служить не могут, в ходе планировочных работ подлежат удалению
		ИГЭ-1	ПРС. Глины легкие твердые	11	44	17	Содержание гумуса составляет в среднем 2,9%
Комплекс голоценовых (QIV) элюви- альных (e) образований	Класс – дисперсные; подкласс – связные; тип – осадочные; подтип – элювиальные; вид – минеральные; подвид – глинистые грунты.	ИГЭ-2	Глина легкая твердая	25	45	19	
		ИГЭ-3	Суглинок тяжелый твердый	26	36	24	
Комплекс верхнеплей- стоценовых (QIII) эолово-делю- виальных (vd) отложений	Класс – дисперсные; подкласс – связные; тип – осадочные; подтип – аллювиальные; вид – минеральные; подвид – глинистые грунты	ИГЭ-4	Суглинок легкий твердый	29	30	24	
		ИГЭ-5	Суглинок легкий тугопластичный	17	16	26	
		ИГЭ-6	Суглинок тяжелый твердый	30	39	24	
		ИГЭ-7	Суглинок легкий полутвердый	23	35	25	
		ИГЭ-8	Пески средней крупности водо- насыщенные средней плотности среднедеформируемые	24	–	31	
		ИГЭ-8а	Пески пылеватые неоднородные водонасыщенные средней плотности среднедеформируемые	22	–	31	

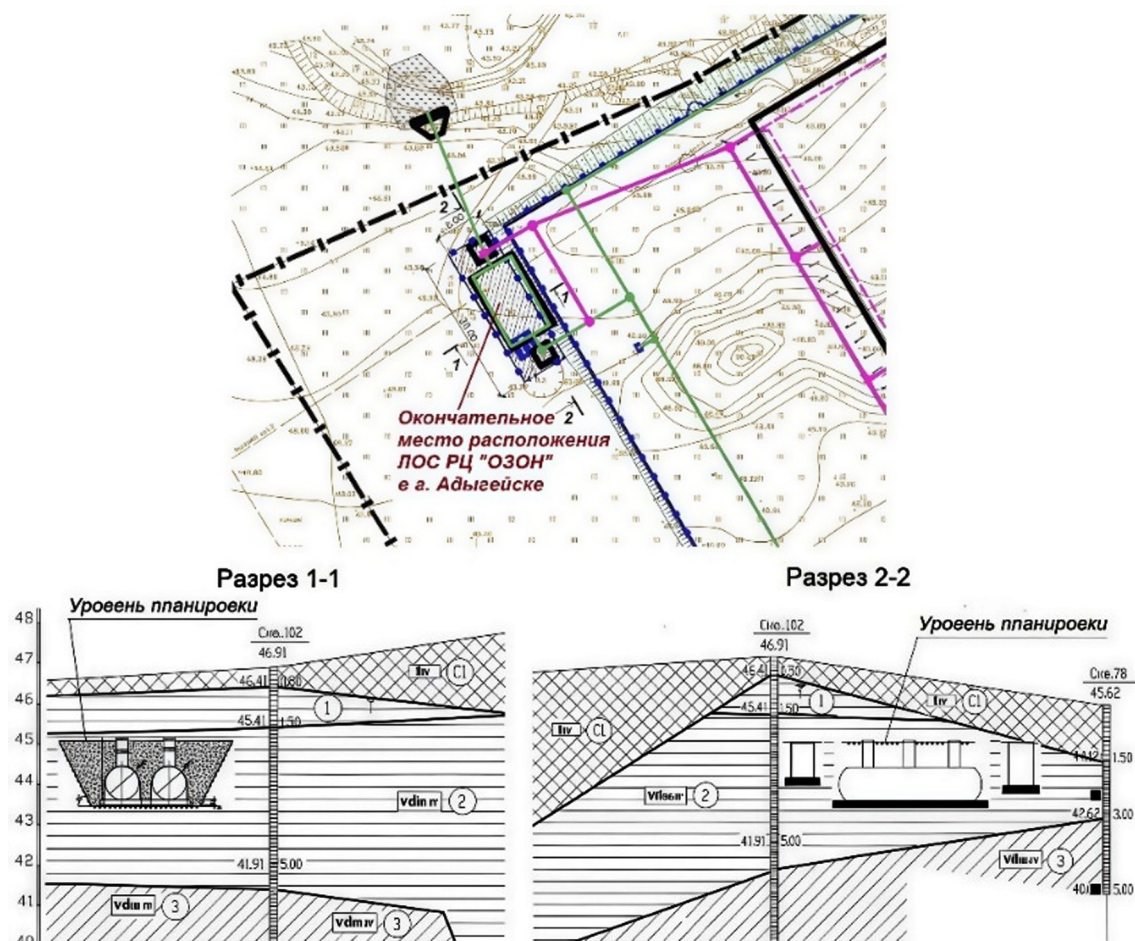


Рис. 4. Фрагмент генерального плана РЦ «ОЗОН» в г. Адыгейске с окончательным расположением локальных очистных сооружений в плане и на разрезах

Выводы

По комплексу инженерно-геологических и геофизических данных расчетная сейсмичность площадки уточнена и подтверждена как 7 баллов. Проектные решения должны соответствовать нормам СП 14.13330.2018.

Интегральный анализ опасных процессов позволил выбрать для размещения ЛОС северо-западную зону участка (рис. 4), удовлетворяющую двум противоречивым требованиям:

- обеспечение самотечного отведения ливневых и поверхностных стоков;
- минимизация воздействия грунтовых вод и сейсмических вибраций.

Котлован глубиной >5 м от уровня планировки. Поверхностный водоотвод и откачка грунтовых вод в балку р. Чейтук на весь период строительства до наполнения емкостей. Фундамент – монолитная ж/б плита 500 мм по бетонной подготовке В12,5 на уплотненном основании из грунтов

ИГЭ-2. Материал плиты – бетон В25 (W6), защитный слой 35 мм (подошва – 50 мм). Антисейсмическая мера: замещение техногенного грунта (Слой-1, III категория) грунтом ИГЭ-3 с уплотнением до 0,98. Обеспечение от всплывания: обратная засыпка траншеи выполнялась только после наполнения емкостей на 2/3 объема. Обратная засыпка пазух – песком средней крупности с уплотнением 0,95.

Изложенные в настоящей работе предложения и мероприятия по оптимизации расположения ЛОС на строительной площадке РЦ «ОЗОН» в г. Адыгейске позволяют сделать следующие выводы.

1. Размещение ЛОС на постоянно подтопленной в естественных условиях территории должно по возможности обеспечивать организацию поверхностного водоотвода, грунтовых вод на период строительства.

2. Материалы строительных конструкций подземных частей сооружения должны удовлетворять требованиям устойчивости

и долговечности при эксплуатации в гидро-геологических условиях сложной категории.

3. Выбор места расположения ЛОС на площадке с сейсмичностью 7 баллов должен быть оптимальным с точки зрения обеспечения физико-механических характеристик грунтов основания не ниже II категории по сейсмическим свойствам.

Список литературы

1. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Проблемы устройства дорожного полотна на землях сельскохозяйственного назначения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 173. С. 180-192. DOI: 10.21515/1990-4665-173-012.
2. Дровозова Т. И., Красовская Н. Н., Марьяш С. А. Конструкция локальных очистных сооружений очистки минерализованного дренажного стока с орошаемых земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 336-343. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-05-38.
3. Винокуров К. И., Крестьянинова А. Ю. Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 42-52. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.
4. Пшидаток М. А., Подтелков В. В. Состав документации по планировке территории при строительстве и реконструкции линейных объектов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. Краснодар: КубГАУ, 2022. С. 682-684. EDN: AGBIND.
5. Мяки Т. В., Коленченко К. Э. Методы прогноза и моделирования подтопления подземными водами территорий интенсивного хозяйственного использования // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края (г. Краснодар, 29–30 ноября 2017 г.). Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина, 2017. С. 802-803. EDN: YLQZBE.
6. Скрытнич О. А., Яцкив П. Ю. Инженерная защита территории от затопления и подтопления // Актуальные вопросы мелиораций земель: сборник статей аспирантов, магистрантов и студентов. Новочеркасск: Издательство Новочеркасской государственной мелиоративной академии, 2013. Т.3. С. 60-62. EDN: TZCOZJ.
7. Пшидаток С. К., Турк Г. Г., Сарксян Л. Д., Лукьянова М. С. Инженерно-геодезические изыскания для целей подготовки проектной документации линейного объекта // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 2 (122). С. 206-218. DOI: 10.35679/1991-9476-2022-17-2-206-218.
8. Карпенко Н. П., Беглярова Э. С., Соколова С. А., Матвеева Т. И. Фильтрационные расчеты водопонижения при строительстве инженерных коммуникаций // Природообустройство. 2021. № 1. С. 126-133. EDN: UUXTZA.
9. Дружко А. В., Пшидаток С. К. Основные этапы проектирования специальных карт сельскохозяйственной тематики // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 71-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2015 год (г. Краснодар, 12 апреля 2016 г.). Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина, 2016. С. 127-130. EDN: UDRJUR.
10. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Вопросы достаточности инженерно-геологических изысканий на подрабатываемой территории для устройства оснований силовых полов и фундаментов логистического центра // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1 (109). С. 277-289. EDN: NGPKUU.
11. Пшидаток С. К. К вопросу об инженерно-геодезических изысканиях при установлении границ земельного участка // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ (г. Краснодар, 06 апреля 2022 г.). Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина, 2022. С. 264-267. EDN: YCCFIZ.
12. Маклаков А. С., Гайфуллин З. Г. Оценка сейсмичности площадки сооружения // Системная трансформация – основа устойчивого инновационного развития: материалы Международной научно-практической конференции (г. Екатеринбург, 14 сентября 2024 г.). Стерлитамак: Агентство международных исследований, 2024. С. 10-13. EDN: UXAIQF.
13. Хоменко В. П. Степень «техногенности» опасных для строительства геологических процессов // Новые идеи в науках о Земле: материалы XIV Международной научно-практической конференции (г. Москва, 02–05 апреля 2019 г.). Москва: Издательство Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (филиал), 2019. С. 240-243. EDN: VBZPNH.
14. Обухов П. В., Юдина А. Ф. Виды и способы водопонижения грунтовых вод в строительстве // StudNet. 2022. Т. 5. № 6. С. 21. EDN: CEDPZO.
15. Корнев К. Л., Маринин М. А., Ишейский В. А. Моделирование водопонижения обводненного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019. № S6. С. 313-322. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-313-322.

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.