

ISSN 1995-0675 (Print)
ISSN 2500-2465 (Online)

ИЗВЕСТИЯ

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
СЕРИЯ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ»



DAGESTAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

JOURNAL

Natural and Exact Sciences

Т. 20. № 2. 2026
Vol. 20. No. 2. 2026

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: 1.4.1. Неорганическая химия (химические науки); 1.4.3 – Органическая химия (химические науки); 1.4.4 – Физическая химия (химические науки); 1.6.1 – Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (геолого-минералогические науки); 1.6.12 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки); 1.6.13 – Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (географические науки); 1.6.15 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель (географические науки); 1.6.20 – Геоинформатика, картография (географические науки); 1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

Учредитель журнала:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова».
Издается по решению ученого совета ДГПУ им. Р. Гамзатова с 2007 г.
Периодичность – 4 номера в год.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ.№ ФС77-65760 от 20 мая 2016 г.

Редакционный совет

Атаев Загир Вагитович, канд. геогр. наук, проф., директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия – главный редактор;
Асхабов Асхаб Магомедович, д-р геол.-минерал. наук, проф., директор Института геологии, председатель Президиума Коми НЦ УрО РАН, акад. РАН, Сыктывкар;
Имрани Заур Тагир оглы, канд. геогр. наук, доц., исполнительный директор Института географии им. акад. Г. Алиева, Баку, Азербайджан;
Исмаилов Чингиз Ниязи оглы, д-р геогр. наук, проф. каф. экономической и социальной географии, Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан;
Канбетов Асылбек Шахмуратович, канд. биол. наук, проф., директор Каспийского исследовательского института Атырауского университета нефти и газа, Атырау, Казахстан;
Керимов Ибрагим Ахмедович, д-р физ.-мат. наук, вице-президент АН ЧР, академик АН ЧР, Грозный, Россия;
Магомедов Магомед-Расул Дибирович, д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории экологии животных Прикаспийского института биологических ресурсов ДФИЦ РАН, чл.-корр. РАН, Махачкала, Россия;
Миншаев Магомед Шавалович, д-р техн. наук, проф., ректор ГПНТУ им. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия;
Муртазаев Акай Курбанович, д-р физ.-мат. наук, проф., директор ДФИЦ РАН, академик РАН, Махачкала, Россия;
Мухаббатова Холназар Мухаббатович, д-р геогр. наук, проф. кафедры методики преподавания географии и туризма ТГПУ им. Садриддина Айни, Душанбе, Таджикистан;
Омарова Наида Омаровна, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора по науке Института национальных проблем образования, чл.-корр. РАО, Махачкала, Россия;
Пенин Румен Пенин, д-р геогр. наук, проф. каф. ландшафтной экологии и охраны природной среды Софийского университета им. Св. Климента Охридского, София, Болгария;
Талгенов Абзал Ахатович, д-р хим. наук, проф., ректор АтГУ им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан;
Темботова Фатимат Асланбековна, д-р биол. наук, проф., директор Института экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, чл.-корр. РАН, Нальчик, Россия;
Тюркоглу Некла, д-р геогр. наук, проф. факультета языков, истории и географии Университета Анкары, Анкара, Турция;
Хоссейни Сайеде Сомайе, канд. геогр. наук, вед. науч. сотр. Исфahanского университета, Исфahan, Иран;
Чертко Николай Константинович, д-р геогр. наук, проф. каф. почвоведения и земельных информационных систем, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь;
Чибилев Александр Александрович, д-р геогр. наук, проф., научный руководитель Института степи УрО РАН, акад. РАН, Оренбург, Россия;
Элизбарашили Нодар Константинович, д-р геогр. наук, проф., зав. каф. региональной географии и ландшафтного планирования ТТУ им. И. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия;
Эминов Закир Намин оглы, д-р геогр. наук, проф., генеральный директор Института географии НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан.

Редакционная коллегия серии «Естественные и точные науки»:

Атаев Загир Вагитович, канд. геогр. наук, проф., директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии, ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия – председатель;
Асадулаев Загирбек Магомедович, д-р биол. наук, проф., директор Горного ботанического сада ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия;
Беликов Михаил Юрьевич, д-р геогр. наук, проф., зав. каф. международного туризма и менеджмента, директор Института географии, геологии, туризма и сервиса КубГУ, Краснодар, Россия;
Братков Виталий Викторович, д-р геогр. наук, проф., зав. каф. географии МГУГиК, Москва, Россия;
Булаева Нуржиган Мансовна, д-р тех. наук, проф., директор Центра сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов, Махачкала, Россия;

Гаврилов Юрий Олегович, д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. лаб. седиментологии и геохимии осадочных бассейнов Геологического института РАН, Москва, Россия;
Гасаналиев Абдулла Магомедович, д-р хим. наук, проф. каф. химии, директор Научно-исследовательского института общей и неорганической химии ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия;
Гафуров Малик Магомедович, д-р физ.-мат. наук, руководитель АЦКП ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия;
Гуня Алексей Николаевич, д-р геогр. наук, проф. каф. физической географии мира и геоэкологии МГУ им. М. В. Ломоносова; ст. науч. сотр. отдела физической географии и проблем природопользования, Институт географии РАН, Москва, Россия;
Гусейнов Ризван Меджидович, д-р хим. наук, проф. кафедры химии ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия;
Идрисов Идрис Абдулбутаевич, канд. геогр. наук, вед. науч. сотр. лабораторий гидрогеологии и геоэкологии Института геологии ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия;
Исмаилов Эльдар Шафиевич, д-р биол. наук, проф. каф. химии ДГТУ, Махачкала, Россия;
Калов Ризван Османович, д-р геогр. наук, проф. каф. экономики АПК, КБАУ им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия;
Клишханов Нисред Кадилович, д-р биол. наук, проф. каф. биохимии и биофизики ДГУ, Махачкала, Россия;
Кочкаров Жамал Ахматович, д-р хим. наук, проф. каф. общей, неорганической и физической химии КБГУ, Нальчик, Россия;
Куrolап Семен Александрович, д-р геогр. наук, проф., декан факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ, Воронеж, Россия;
Лиховид Андрей Александрович, д-р геогр. наук, проф. каф. экологии и природопользования Института наук о Земле, первый проректор СКФУ, Ставрополь, Россия;
Луговской Александр Михайлович, д-р геогр. наук, проф. каф. географии МИИГАиК, Москва, Россия;
Лупейко Тимофей Григорьевич, д-р хим. наук, проф., зав. каф. общей и неорганической химии ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия;
Лысенко Алексей Владимирович, д-р геогр. наук, проф., зав. каф. физической географии и кадастров Института наук о Земле СКФУ, Ставрополь, Россия;
Магомедова Манади Ахмеднабиевна, канд. биол. наук, доц., зав. каф. биологии, экологии и методики преподавания ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия;
Маммаев Омар Ахмедович, д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. лаб. геотермальных ресурсов Института проблем геотермии ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия;
Мелкий Вячеслав Анатольевич, д-р техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия;
Мудуев Шахмардан Ситтикович, д-р геогр. наук, проф., вед. науч. сотр. научно-исследовательского института управления, экономики, политики и социологии ДГУНХ, Махачкала, Россия;
Погорелов Анатолий Валерьевич, д-р геогр. наук, проф., зав. каф. геоинформатики КубГУ, Краснодар, Россия;
Рабазанов Нуухали Ибрагимович, д-р биол. наук, проф., директор Прикаспийского института биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия;
Разумов Виктор Владимирович, д-р геогр. наук, проф., вед. науч. сотр. отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв лаборатории мониторинга почвенного покрова Почвенного института им. В. В. Докучаева, Москва, Россия;
Рамазанов Арсен Шамсудинович, д-р хим. наук, проф., зав. каф. аналитической и фармацевтической химии ДГУ, Махачкала, Россия;
Сфиева Диана Касумовна, канд. тех. наук, доц., начальник РИО ДГПУ им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия;
Таланов Валерий Михайлович, д-р хим. наук, проф., зав. каф. общей и неорганической химии ЮРГТУ им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия;
Тесленок Сергей Адамович, канд. геогр. наук, доц. Высшей экологической школы, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия;
Трунин Александр Сергеевич, д-р хим. наук, проф., заведующий лабораторией физико-химического анализа им. Д. И. Менделеева, СГОАН, Самара, Россия;
Черкашин Василий Иванович, д-р геол.-минерал. наук, проф., гл. науч. сотр., зав. лаб. региональной геологии и твердого минерального сырья Института геологии ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия.

Номер журнала поступил в печать 25.09.2026 г.
Дата выхода в свет 01.10.2026 г.

© Авторы статей, 2026
© ДГПУ им. Р. Гамзатова, 2026

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться в редакцию:
367003 РД, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 57. Редакционно-издательский отдел ДГПУ.
Тел.: +7 928 238-54-64; <https://dspu.ru/univer/upr-otdel/uni/rio/izaniya-dgpu/izvestiya-etn/>; e-mail: dgpurio@yandex.ru

Scientific quarterly journal
Dagestan State Pedagogical University
JOURNAL
Natural and Exact Sciences

Vol. 20. No. 2. 2026

The journal is included into the List of leading reviewed scientific journals and publications, where main scientific results of dissertations on applying for scientific degree of Doctor of Sciences, applying for scientific degree of Candidate of Sciences should be published according to the following scientific specialties and their respective branches of science:
1.4.1. Inorganic Chemistry (Chemical Science); 1.4.3 – Organic Chemistry (Chemical Science);
1.4.4 – Physical Chemistry (Chemical Science); 1.6.1 – General and Regional Geology, Geotectonics and Geodynamics (Geological and Mineralogical Sciences); 1.6.12 – Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Landscape Geochemistry (Geographical Science); 1.6.13 – Economic, Social, Political and Recreational Geography (Geographical Science); 1.6.15 – Land Management, Cadastre and Land Monitoring (Geographical Science); 1.6.20 – Geoinformatics, Cartography (Geographical Science); 1.6.21 – Geoecology (Geographical Science)

The journal is founded by:
“Gamzatov Dagestan State Pedagogical University”
Federal State
Budgetary Educational
Institution of Higher Education
Published by the decision of Gamzatov
DSPU Academic Council since 2007.
Periodicity – 4 issues a year.

Registered by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media.

Registration certificate ПИИ № ФЧ77-65760 from May 20, 2016.

Editorial Council

Ataev Zagir V., Ph.D. (Geography), Professor, Director of the Research Institute of Biogeography and Landscape Ecology, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia – Chief Editor;
Askhabov Askhab M., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Director of Institute of Geology, Chairman of the Presidium of Komi Science Centre of the Ural branch, RAS, academician of RAS, Syktyvkar, Russia;
Imrani Zaur T., Ph.D. (Geography), Associate Professor, Executive Director, Institute of Geography named after Academician Hasan Aliyev, Baku, Azerbaijan;
Ismailov Chingiz N., Doctor of Geography, Professor, Department of Economic and Social Geography, Baku State University, Baku, Azerbaijan;
Kanbetov Asylbek Sh., Ph.D. (Biology), Professor, Director of Caspian Research Institute, Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan;
Kerimov Ibragim A., Doctor of Physics and Mathematics, Vice-President of ASChR, Academician of ASChR, Grozny, Russia;
Magomedov Magomed-Rasul D., Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher, laboratory of Animals' Ecology, PIBR DFRC RAS, Corresponding Member of RAS, Makhachkala, Russia;
Mintsaez Magomed Sh., Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of GSOTU, Grozny, Russia;
Murtazayev Akay K., Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director of DFRC RAS, Academician of RAS, Makhachkala, Russia;
Mukhabbatov Kholnazar M., Doctor of Geography, Professor, Department of Teaching Geography and Tourism Methods, Sadriiddin Aini TSPU, Dushanbe, Tajikistan;
Omarova Naida O., Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Deputy Director for Science, Institute of National Problems in Education, Corresponding Member of RAE, Makhachkala, Russia;
Penin Rumon P., Doctor of Geography, Professor, Department of Landscape Ecology and Environmental Protection, Sofia University "St. Kliment Ohridski", Sofia, Bulgaria;
Taltenov Abzal A., Doctor of Chemistry, Professor, Rector of Kh. Dosmukhamedov ASU, Atyrau, Kazakhstan;
Tembotova Fatimat A., Doctor of Biology, Professor, Director of A. K. Tembotov Institute of Ecology of Mountain Areas, RAS, Corresponding Member of RAS, Nalchik, Russia;
Turkoglu Nekla, Doctor of Geography, Professor, Faculty of Languages, History and Geography, Ankara University, Ankara, Turkey;
Hosseini Sayede S., Ph.D. (Geography), Leading Researcher, Isfahan University, Isfahan, Iran;
Chertko Nikolay K., Doctor of Geography, Professor, Department of Soil Science and Land Information Systems, Belarusian State University, Minsk, Belarus;
Chibilev Alexander A., Doctor of Geography, Professor, Scientific Director of the Institute of Steppe of the Ural branch, RAS, academician of RAS, Orenburg, Russia;
Elizbarashvili Nodar K., Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Regional Geography and Landscape Planning, I. Javakhishvili TSU, Tbilisi, Georgia;
Eminov Zakir N., Doctor of Geography, Professor, General Director of Institute of Geography, ANAS, Baku, Azerbaijan.

Editorial Board

Ataev Zagir V., Ph.D. (Geography), Professor, Director of the Research Institute of Biogeography and Landscape Ecology, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia – Chairman;
Asadulaev Zagirbeg M., Doctor of Biology, Professor, Director of Mountain Botanical Garden, DFRC RAS, Makhachkala, Russia;
Belikov Mikhail Yu., Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of International Tourism and Management, Director of Institute of Geography, Geology, Tourism and Service, KSU, Krasnodar, Russia;
Bratkov Vitaly V., Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Geography, MSUGC, Moscow, Russia;
Bulaeva Nurzhagan M., Doctor of Technical Science, Professor, Director of Center of the Conjugated Monitoring of Environment and Natural Resources, Makhachkala, Russia;
Gavrilov Yuri O., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the laboratory of Sedimentology and Geochemistry of Sedimentary Basins, Geological Institute, RAS, Moscow, Russia;
Gasanaliev Abdulla M., Doctor of Chemistry, Professor, Department of Chemistry, Director of Research Institute of General and Inorganic Chemistry, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia;

Gafurov Malik M., Doctor of Physics and Mathematics, Head of ACCU DFRC RAS, First Deputy Chairman of DFRC RAS, Makhachkala, Russia;
Gunya Aleksey N., Doctor of Geography, Professor, Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Lomonosov MSU; Senior Researcher, Department of Physical Geography and Environmental Problems, Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia;
Guseynov Rizvan M., Doctor of Chemistry, Professor, Department of Chemistry, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia;
Idrisov Idris A., Ph.D. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of Hydrogeology and Geoecology, Institute of Geology, DFRC RAS, Makhachkala, Russia;
Ismailov Eldar Sh., Doctor of Biology, Professor, Department of Chemistry, DSTU, Makhachkala, Russia;
Kalov Rizuan O., Doctor of Geography, Professor, Department of Economy AIC, KBSAU, Nalchik, Russia;
Klichkanov Nisred K., Doctor of Biology, Professor, Department of Biochemistry and Biophysics, DSU, Makhachkala, Russia;
Kochkarov Zhamal A., Doctor of Chemistry, Professor, Department of General, Inorganic and Physical Chemistry, KBSU, Nalchik, Russia;
Kurulap Semyon A., Doctor of Geography, Professor, Dean of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, VSU, Voronezh, Russia;
Likhovid Andrey A., Doctor of Geography, professor, Department of Ecology and Nature Management, Institute of Earth Science, First Vice-Rector of NCFU, Stavropol, Russia;
Lugovskoy Alexander M., Doctor of Geography, professor, Department of Geography, MIIGAiK, Moscow, Russia;
Lupeyko Timofey G., Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Department of General and Inorganic Chemistry, SPEDU, Rostov-on-Don, Russia;
Lysenko Aleksey V., Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Physical Geography and Cadastre, Institute of Earth Science, NCFU, Stavropol, Russia;
Magomedova Manadi A., Ph.D. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Biology, Ecology and Teaching Methods, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia;
Mammaev Omar A., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the laboratory of Geothermal Resources, Institute of Geothermal Problems DFRC RAS, Makhachkala, Russia;
Melky Vyacheslav A., Doctor of Technical Science, Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcano Hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;
Muduev Shakhmardan S., Doctor of Geography, Professor, Leading Researcher, Institute of Management, Economics, Politics and Sociology, DSUNE, Makhachkala, Russia;
Pogorelov Anatoly V., Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Geoinformatics, KubSU, Krasnodar, Russia;
Rabazanov Nukhkadi I., Doctor of Biology, Professor, Director of the Caspian Institute of Biological Resources, DFRC RAS, Makhachkala, Russia;
Razumov Victor V., Doctor of Geography, Professor, Leading Researcher, Department of Genesis, Geography, Classification and Digital Mapping of Soils, Soil Cover Monitoring laboratory, V. V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, Russia;
Ramazanov Arsen Sh., Doctor of Chemistry, Professor, head of the Department of Analytical and Pharmaceutical Chemistry, DSU, Makhachkala, Russia;
Sfieva Diana K., Ph.D. (Technical Science), Associate Professor, Head of the Editorial and Publishing Department, Gamzatov DSPU, Makhachkala, Russia;
Talanov Valery M., Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Department of General and Inorganic Chemistry, SRSPU (NPI), Novocherkassk, Russia;
Teslenok Sergey A., Ph.D. (Geography), Associate Professor, Higher Ecological School, Yurga State University, Khanty-Mansiysk, Russia;
Trunin Alexander S., Doctor of Chemistry, Professor, Head of D.I. Mendeleev Laboratory of Physicochemical Analysis, Nayanova Academy, Samara, Russia;
Cherkashin Vasily I., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Chief Researcher, Head of the laboratory of Regional Geology and Solid Mineral Resources, Institute of Geology, DFRC RAS, Makhachkala, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Расулов А. И., Гасаналиев А. М., Гасаналиева П. Н., Гимбатдибирова М. Г.</i> ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ИЗ НИТРАТОВ И ВОЛЬФРАМАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	5
<i>Руковицина В. М., Поздняков Д. И., Оганесян Э. Т.</i> СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ НЕЙРОПРОТЕКТОРНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ДИБЕНЗИЛИДЕНАЦЕТОНА	12
<i>Салпагарова З. И*, Лайпанов М. З.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ТВЕРДОЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ДАТЧИКОВ КИСЛОРОДА ИМПУЛЬСНО-ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	22
<i>Султанов Ю. М., Рамазанова С. М., Кадиев М. В., Сулейманов С. И.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ АДСОРБЦИИ МЕТАНА НА В-, N- И О-МОНОДОПИРОВАННОМ ЦИРКУМКРОНЕНЕ	32

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Атаев З. В.</i> ПЕРВЫЙ УЧЕБНИК ГЕОГРАФИИ ДАГЕСТАНА: НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ Б. Ф. ДОБРЫНИНА СПУСТЯ СТОЛЕТИЕ.....	40
<i>Гедуева М. М., Юанов М. Т., Джаппуев Д. Р.</i> ОБЗОР ИЗУЧЕННОСТИ И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН АКТИВИЗАЦИИ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ГЕРХОЖАНСУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ).....	50
<i>Глебова Д. Н., Ковалева О. В.</i> ОСОБЕННОСТИ ШРИФТОВОГО ОФОРМЛЕНИЯ КАРТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ В ВУЗАХ.....	61
<i>Идрисов И. А., Липилин Д. А., Черноморец С. С., Омаров Г. М.</i> РЕКА КОЛИЧИ – НОВЫЙ «СТАРЫЙ» ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ В ДАГЕСТАНЕ	71
<i>Меликов М. М., Меликов Я. М., Меликова Н. М.</i> ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	81
<i>Нирова З. С., Кюль Е. В., Гузиев Х. Ю., Байдаева З. Р.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ «ПРИЭЛЬБРУСЬЕ» И «АЛАНИЯ»	94
<i>Эминов Н. Г.</i> ВОДНЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ШИРВАН-САЛЬЯНСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА АЗЕРБАЙДЖАНА И ПУТИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....	107

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. ЮБИЛЕИ

<i>Атаев З. В.</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ В СЕВАСТОПОЛЕ	115
--	-----

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	118
----------------------------------	------------

CONTENTS

CHEMICAL SCIENCES

<i>Rasulov A. I., Gasanaliyev A. M., Gasanaliyeva P. N., Gimbatdibirova M. G.</i> PHASE DIAGRAMS OF BINARY SYSTEMS COMPOSED OF ALKALI AND ALKALINE-EARTH METAL NITRATES AND TUNGSTATES.....	5
<i>Rukovitsina V. M., Pozdnyakov D. I., Oganessian E. T.</i> SYNTHESIS AND STUDY OF NEUROPROTECTIVE ACTIVITY OF DIBENZYLIDENEACETONE DERIVATIVES	12
<i>Salpagarova Z. I., Laypanov M. Z.</i> DETERMINATION OF EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS FOR SOLID-ELECTROLYTE OXYGEN SENSORS USING THE PULSED GALVANOSTATIC METHOD	22
<i>Sultanov Y. M., Ramazanov S. M., Kadiev M. V., Suleymanov S. I.</i> COMPUTER QUANTUM CHEMICAL MODELING OF METHANE ADSORPTION THERMODYNAMICS ON B-, N- AND O-MONODOPED CIRCUMCORONENE	32

EARTH SCIENCE

<i>Ataev Z. V.</i> THE FIRST TEXTBOOK ON THE GEOGRAPHY OF DAGESTAN: B. F. DOBRYNIN'S SCIENTIFIC LEGACY A CENTURY LATER	40
<i>Gedueva M. M., Yuanov M. T., Dzhappuev D. R.</i> REVIEW OF RESEARCH AND IDENTIFICATION OF CAUSES FOR INCREASED MUDFLOW ACTIVITY IN THE GERKHOZHANSU RIVER BASIN (CENTRAL CAUCASUS)	50
<i>Glebova D. N., Kovaleva O. V.</i> SPECIFICS OF TYPOGRAPHIC DESIGN FOR MAPS USED TO STUDY GEOGRAPHICAL NOMENCLATURE IN HIGHER EDUCATION	61
<i>Idrisov I. A., Lipilin D. A., Chernomorets S. S., Omarov G. M.</i> THE KOLICHI RIVER – A NEW “OLD” GEOGRAPHICAL FEATURE IN DAGESTAN	71
<i>Melikov M. M., Melikov Ya. M., Melikova N. M.</i> POSSIBLE CAUSAL RELATIONSHIPS OF FLUCTUATIONS IN THE CASPIAN SEA LEVEL	81
<i>Nirova Z. S., Kyul E. V., Guziev H. Yu., Baydaeva Z. R.</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF BIODIVERSITY USING THE EXAMPLE OF THE PRIELBRUSYE AND ALANIA NATIONAL PARKS	94
<i>Eminov N. G.</i> WATER AND LAND RESOURCES OF THE SHIRVAN-SALYAN ECONOMIC REGION OF AZERBAIJAN AND WAYS TO ENSURE THEIR RATIONAL USE	107

INFORMATION. CHRONICLE. ANNIVERSARY

<i>Ataev Z. V.</i> GEO-ECOLOGICAL STUDIES OF MOUNTAIN RIVER BASINS AT AN INTERNATIONAL CONFERENCE IN SEVASTOPOL	115
---	-----

RULES FOR AUTHORS	118
--------------------------------	-----

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Химические науки / Chemical Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 544.344.015.3
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-5-11
EDN: ZIBZKY

Фазовые диаграммы состояния двухкомпонентных систем из нитратов и вольфрамов щелочных и щелочноземельных металлов

© 2026 Расулов А. И.^{✉1}, Гасаналиев А. М.¹,
Гасаналиева П. Н.¹, Гимбатдибиров М. Г.²

¹Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова
Махачкала, Россия, abutdin.rasulov@mail.ru[✉],
abdulla.gasanaliev@mail.ru, p_gasanalieva@mail.ru

²Многопрофильный лицей № 30
Махачкала, Россия, madina.gimbatova.20@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Целью статьи является выявление: 1) фазовых равновесий в расплавах двухкомпонентных систем из нитратов и вольфрамов щелочных (Li, Na) и щелочноземельных (Ca, Sr) металлов; 2) стабильных триангулирующих сечений трехкомпонентных взаимных систем (Li, Na || NO₃, WO₄; Li, Sr || NO₃, WO₄; Li, Ca || NO₃, WO₄); 3) координат (состав, температура) неинвариантных точек; 4) характера плавления неинвариантных точек; 5) энтальпии реакции обмена в трехкомпонентных взаимных системах. **Методы.** Использовали инструментальные методы: визуального политермического анализа (ВПА), дифференциального термического анализа (ДТА) и рентгенофазового анализа (РФА). **Результаты.** Изучены фазовые равновесия в расплавах двухкомпонентных систем из нитратов и вольфрамов щелочных (Li, Na) и щелочноземельных (Ca, Sr) металлов. Определены характеры плавления и координаты неинвариантных точек, рассчитаны энтальпии реакции обмена в трехкомпонентных взаимных системах. **Выводы.** Изученные двухкомпонентные системы являются простыми эвтектическими, химические взаимодействия между компонентами отсутствуют.

Ключевые слова: ионные расплавы, фазовые диаграммы, визуальный политермический анализ, двухкомпонентные системы.

Формат цитирования: Расулов А. И., Гасаналиев А. М., Гасаналиева П. Н., Гимбатдибиров М. Г. Фазовые диаграммы состояния двухкомпонентных систем из нитратов и вольфрамов щелочных и щелочноземельных металлов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 5-11. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-5-11. EDN: ZIBZKY

Phase Diagrams of Binary Systems Composed of Alkali and Alkaline-Earth Metal Nitrates and Tungstates

© 2026 Abutdin I. Rasulov^{✉1}, Abdulla M. Gasanaliev¹,
Patimat N. Gasanalieva¹, Madina G. Gimbatdibirova²

¹Gamzatov Dagestan State Pedagogical University
Makhachkala, Russia, abutdin.rasulov@mail.ru[✉],
abdulla.gasanaliev@mail.ru, p_gasanalieva@mail.ru

²Multidisciplinary Lyceum No. 30
Makhachkala, Russia, madina.gimbatova.20@mail.ru

ABSTRACT. The aim of the paper is to determine: 1) phase equilibria in melts of binary systems composed of nitrates and tungstates of alkali (Li, Na) and alkaline-earth (Ca, Sr) metals; 2) stable triangulating sections of ternary reciprocal systems (Li, Na || NO₃, WO₄; Li, Sr || NO₃, WO₄; Li, Ca || NO₃, WO₄; 3) coordinates (composition, temperature) of nonvariant points; 4) the nature of melting at nonvariant points; 5) the enthalpy of exchange reactions in ternary reciprocal systems. **Methods.** Instrumental methods were employed: visual polythermal analysis (VPA), differential thermal analysis (DTA) and X-ray diffraction analysis (XRD). **Results.** Phase equilibria in melts of binary systems composed of nitrates and tungstates of alkali (Li, Na) and alkaline-earth (Ca, Sr) metals were investigated. The melting characteristics and coordinates of nonvariant points were determined and the enthalpies of exchange reactions in ternary reciprocal systems were calculated. **Conclusions.** The binary systems studied are simple eutectic systems; no chemical interactions occur between the components.

Keywords: ionic melts, phase diagrams, visual polythermal analysis, binary systems.

For citation: Rasulov AI, Gasanaliev AM, Gasanalieva PN, Gimbatdibirova MG. Phase Diagrams of Binary Systems Composed of Alkali and Alkaline-Earth Metal Nitrates and Tungstates. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):5-11. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-5-11. EDN: ZIBZKY

Введение

В химической технологии активно применяются различные композиционные материалы на основе вольфраматов щелочноземельных металлов (ЩЗМ), которые обладают уникальными свойствами, обусловленными особенностями их структуры. Композиционные материалы на их основе обладают оптической прозрачностью в широком диапазоне спектра, что позволяет их использовать в лазерных установках [1].

Теоретической основой синтеза и создания новых материалов являются фазовые диаграммы оксидных, оксидно-солевых и солевых двух- и многокомпонентных систем.

Целью работы является выявление фазовых равновесий и координат невариантных точек в расплавах двухкомпонентных систем из нитратов и вольфраматов щелочных (Li, Na) и щелочноземельных (Ca, Sr) металлов.

Материал и методы исследования

Исследование диаграмм плавки двухкомпонентных систем проводили методом ВПА, для подтверждения координат невариантных точек применяли ДТА и синхронный термический анализатор, мо-

дификации STA 409PC. Стабильные диагонали трехкомпонентных взаимных систем выявляли методом РФА и путем расчета энтальпии реакции [2].

Рентгенофазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН 2,0 (излучение Cu_K, $\lambda = 0,15$ нм, никелевый фильтр) [3]. Идентификацию фазового состава образцов проводили по таблицам Гиллера [4] и картотеке ASTM.

Исходными веществами служили соли: LiNO₃, NaNO₃, Ca(NO₃)₂, Sr(NO₃)₂, SrWO₄, LiWO₄, CaWO₄, квалификации которых не ниже «х.ч.», предварительно прокаленные и гомогенизированные в агатовой ступке. Все составы выражены в мол. %, а температура – в градусах Цельсия.

Результаты и их обсуждение

Характер физико-химических превращений в тройных взаимных системах зависит от термодинамических свойств исходных компонентов, определяющих направление реакций обменного равновесия.

Термодинамические и теплофизические свойства исходных солей представлены в таблице 1 [5; 6]. Их анализ свидетельствует о низкой термической и химической устойчивости нитратов и высокой стабильности вольфраматов.

Таблица 1. Термодинамические и теплофизические свойства исходных солей
Table 1. Thermodynamic and thermophysical properties of the initial salts

Вещество Substance	$t_{\text{плав}}^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{melt}}^{\circ}\text{C}$	ΔG_{298} , кДж / моль ΔG_{298} , kJ/mol	ΔH_{298} , кДж/ моль ΔH_{298} , kJ/mol	$\Delta H_{\text{плав}}$, кДж / моль ΔH_{melt} , kJ/mol	ΔS_{298} , Дж / моль·К ΔS_{298} , J/mol·K	$\Delta S_{\text{плав}}$, кДж / кг·К ΔS_{melt} , kJ/kg·K	C_p , Дж / моль·К C_p , J/mol·K	ρ , кг/м ³ ρ , kg/m ³
LiNO ₃	256	380,7	483,2	25,5	88	–	–	2360
SrWO ₄	1535	–	1635	–	138	0,41	400	6190
Li ₂ WO ₄	740	1488,04	1604	28,45	113	0,11	–	3710
NaNO ₃	306	367,6	468,2	15,1	116,4	–	93,0	2260
Na ₂ WO ₄	697	1433,1	1548	31	161	0,11	139,7	3732
Sr(NO ₃) ₂	645 разл.	785,51	984,1	49	195	–	150,2	2990
Ca(NO ₃) ₂	561 разл.	742,0	939	23,8	193	–	149,33	2360
CaWO ₄	1620	1533,4	1640,1	–	126,4	0,11	114,1	6060

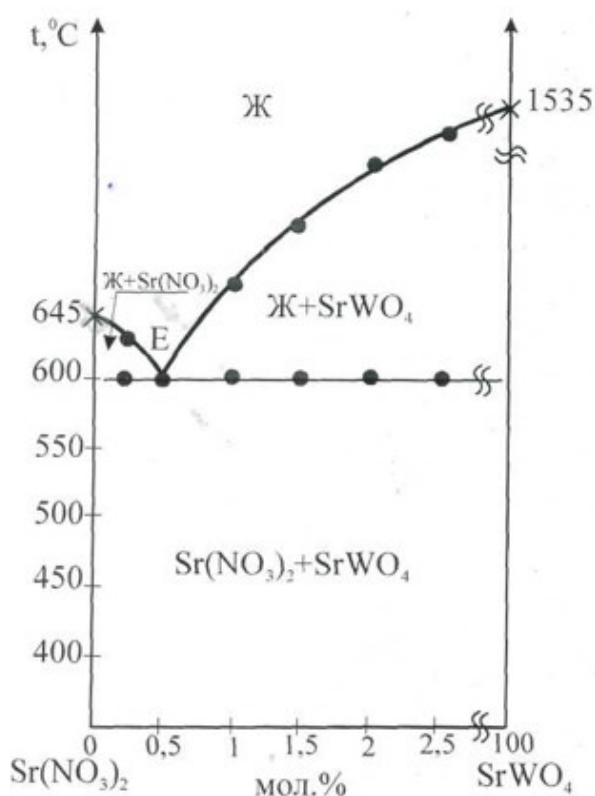


Рис. 1. Диаграмма состояния
двухкомпонентной системы
Sr(NO₃)₂ – SrWO₄

Fig. 1. State diagrams
of Sr(NO₃)₂ – SrWO₄ system

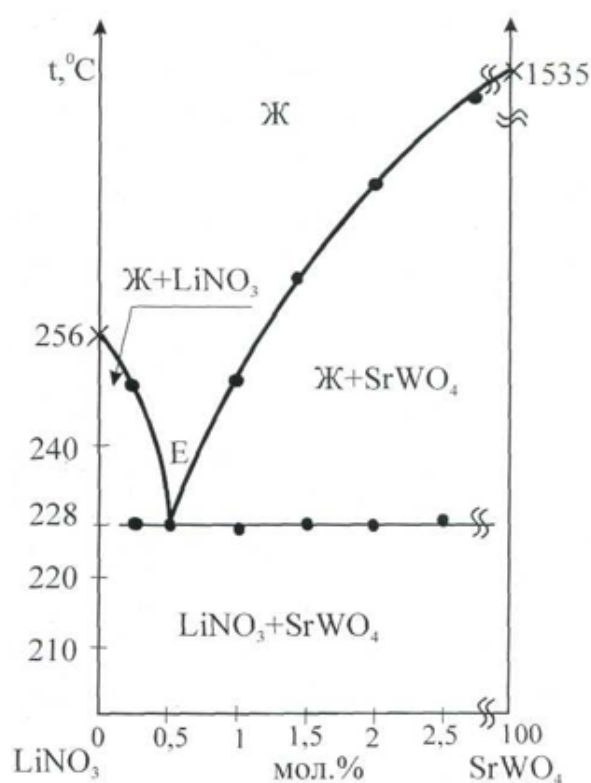


Рис. 2. Диаграммы состояния системы
LiNO₃ – SrWO₄

Fig. 2. State diagrams of LiNO₃ – SrWO₄
system

Показано, что двухкомпонентные системы (NaNO₃ – LiWO₄, LiNO₃ – SrWO₄) являются стабильными диагоналями трехкомпонентных взаимных систем Li, Na || NO₃, WO₄, Li, Sr || NO₃, WO₄.

Изучение диаграммы плавки двухкомпонентной системы осуществляли добавлением более тугоплавкого соединения (вольфраматы) к более легкоплавкому

компоненту (нитраты). Трудность исследования заключалась в том, что при температуре плавления нитрата стронция одновременно начинаются процессы разложения данной соли. Ввиду этих особенностей, исходные компоненты предварительно смешивались в нужных соотношениях, а полученная смесь перетиралась до однородного состояния, и только потом

очень медленно нагревалась. Шаг экспериментальных исследований составлял 0,1 мол. %. При 0,5 мол. % SrWO_4 в двухкомпонентной системе $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 - \text{SrWO}_4$ выявлена неинвариантная точка эвтектического характера плавления с температурой плавления 600 °С (рис. 1, табл. 1).

Система изучена до 1,5 мол. % SrWO_4 . При 1,6 мол. % тугоплавкого компонента наблюдается процесс разложения легкоплавкого компонента, что было подтверждено на РФА. На рисунке 1 последующие точки после 1,6 мол. % SrWO_4 рассчитаны расчетно-экспериментальным способом [7].

Особенность системы $\text{LiNO}_3 - \text{SrWO}_4$ заключается в том, что температуры плавления исходных веществ различаются на 1279 °С, а при работе с гигроскопичным веществом (LiNO_3) приходилось быстро взвешивать данное вещество и производить перерасчет более тугоплавкого компонента. Как и в предыдущей системе шаг экспериментальных исследований составлял 0,1 мол. %.

При 0,5 мол. % SrWO_4 в двухкомпонентной системе $\text{LiNO}_3 - \text{SrWO}_4$ выявлена неинвариантная точка эвтектического ха-

рактера плавления с температурой плавления 228 °С (рис. 2, табл. 1). Система $\text{LiNO}_3 - \text{SrWO}_4$ изучена до 2,5 мол. % SrWO_4 . При температуре выше 482 °С было подтверждено начало процессов разложения LiNO_3 , хотя в литературе приводятся сведения о процессе разложения индивидуального вещества нитрата лития от 475 до 600 °С. Эвтектический состав подтвержден методом ДТА.

Исходный легкоплавкий компонент NaNO_3 в системе $\text{NaNO}_3 - \text{Li}_2\text{WO}_4$ имеет температуру разложения 380 °С. Более тугоплавкий компонент Li_2WO_4 добавляли по 0,1 мол. % после каждого определения температур плавления и кристаллизации состава взятого образца.

Система $\text{NaNO}_3 - \text{Li}_2\text{WO}_4$ изучена до 10 мол. % Li_2WO_4 (рис. 3).

Диаграмма состояния системы $\text{NaNO}_3 - \text{Li}_2\text{WO}_4$ показывает, что в системе реализуется эвтектика с температурой плавления 292 °С и при 4 мол. % Li_2WO_4 .

Изучение диаграммы плавокости системы $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - \text{CaWO}_4$ осуществляли добавлением более тугоплавкого соединения CaWO_4 (1580 °С) к более легкоплавкому компоненту $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (561 °С) (рис. 4).

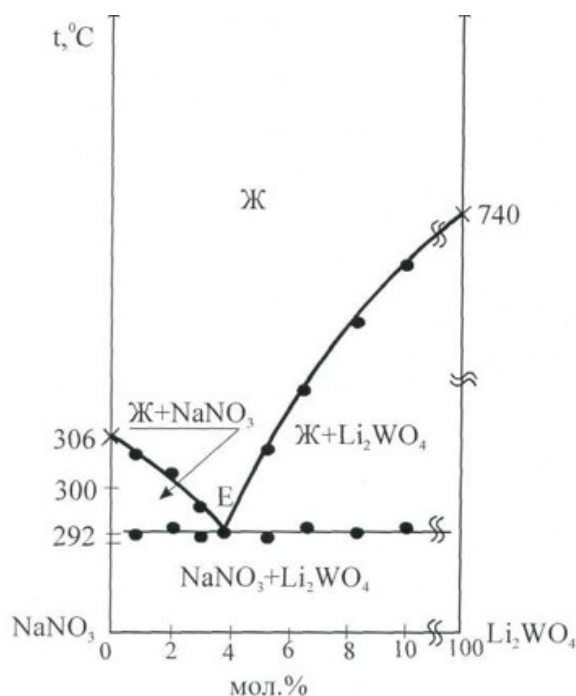


Рис. 3. Диаграммы состояния системы $\text{NaNO}_3 - \text{Li}_2\text{WO}_4$

Fig. 3. State diagrams of $\text{NaNO}_3 - \text{Li}_2\text{WO}_4$ system

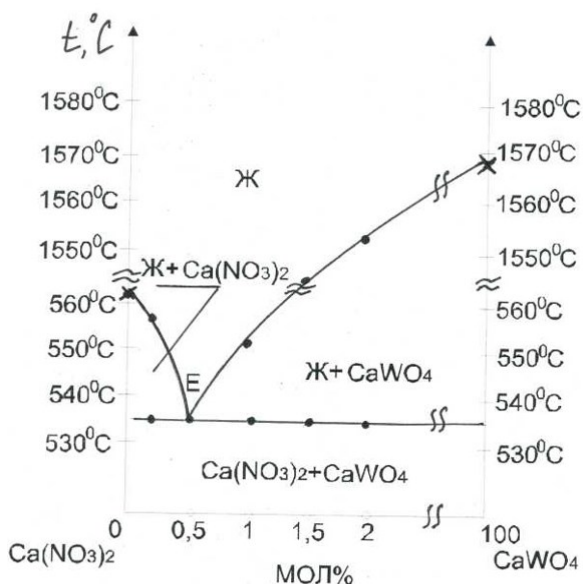


Рис. 4. Диаграммы состояния системы $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - \text{CaWO}_4$

Fig. 4. State diagrams of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - \text{CaWO}_4$ system

**Таблица 2. Термодинамические величины эвтектических смесей
двухкомпонентных систем**

Table 2. Thermodynamic quantities of eutectic mixtures of binary systems

№ No.	Система System	Обозначения Notation	t°, С	Состав, мол. % Composition, mol. %		Ср, Дж /кг-К Cp, J/kg-K	ΔS, Дж /кг-К ΔS, J/kg-K	ΔH, кДж/кг ΔH, kJ/kg
				1	2			
1	LiNO ₃ – Li ₂ WO ₄	E	250	99	1	1419,93	638,13	333,74
2	LiNO ₃ – NaNO ₃	E	204	54	46	1275,20	974,59	464,88
3	Li ₂ WO ₄ – NaNO ₃	E	292	4	96	1069,72	1331,98	752,57
4	NaNO ₃ – Na ₂ WO ₄	E	298	93	7	1050,88	1311,99	749,15
5	Li ₂ WO ₄ – Na ₂ WO ₄	E	485	48	52	478,84	492,09	372,02
6	LiNO ₃ –Sr(NO ₃) ₂	E	251	98,1	1,9	1406,26	643,57	337,23
7	LiNO ₃ – SrWO ₄	E	228	99,5	0,5	1423,72	637,06	319,17
8	Sr(NO ₃) ₂ – SrWO ₄	E	600	99,5	0,5	212,04	918,86	802,17
9	Li ₂ WO ₄ – SrWO ₄	E	733	99,5	0,5	481,57	431,48	434,07
10	LiNO ₃ – Ca(NO ₃) ₂	E	247	80,5	19,5	1328,22	743,1	386,41
11	LiNO ₃ – CaWO ₄	E	240	99,5	0,5	1424,23	637,19	326,88
12	Ca(NO ₃) ₂ – CaWO ₄	E	534	99,5	0,5	907,92	1172,49	946,99
13	Li ₂ WO ₄ – CaWO ₄	E	720	97	3	479,93	431,8	428,78

Трудность исследования, как и в случае с системой Sr(NO₃)₂ – SrWO₄, заключалась в том, что при температуре плавления Ca(NO₃)₂ начинаются процессы разложения. Исследования фазовых равновесий в системе Ca(NO₃)₂ – CaWO₄ показали, что образуется одна неинвариантная точка эвтектического характера плавления с температурой плавления 534 °С при 0,5 мол. % CaWO₄. Система изучена до 3 мол. % CaWO₄, так как при дальнейшем увеличении концентрации тугоплавкого компонента наблюдаются процессы разложения Ca(NO₃)₂, что подтверждено исследованиями образцов методом РФА.

В технологической практике для применения композиционных материалов требуются знания числовых значений термодинамических величин. В таблице 2 приводятся значения термодинамических величин эвтектических смесей двухкомпонентных систем. Значения теплоемкости LiNO₃, Li₂WO₄, SrWO₄ вычислены по

методу аддитивности [8] с использованием программы cheat.

Заключение

Экспериментально изучено 4 двухкомпонентные системы (Sr(NO₃)₂ – SrWO₄, LiNO₃ – SrWO₄, NaNO₃ – LiWO₄, Ca(NO₃)₂ – CaWO₄) простого эвтектического характера, выявлены координаты 4 двойных неинвариантных точек (табл. 1).

Содержание вольфрамов в них колеблется от 0,5 до 4 мол. %, что незначительно. Следовательно, их применение для получения вольфрама нецелесообразно, причем наличие в системах солей, у которых при температуре плавления начинаются процессы разложения, еще больше сужает область их применения.

Экспериментальные данные по двухкомпонентным системам важны и необходимы для изучения на их основе многокомпонентных систем большей мерности, а также для синтеза вольфрамов свинца и оксидных вольфрамовых бронз свинца [9-14].

Список источников

1. Rasulov AI, Kochkarov ZhA, Kabardov AK. Chemical synthesis of strontium molybdate in ionic melts of the Me, Sr || Cl, MoO₄ (ME = Li, Na, K) three-component reciprocal systems. *Doklady Physical Chemistry*. 2024;517(1-2):124-127.
2. Расулов А. И. Фазовые равновесия, плотность и электропроводность в системе LiCl – NaCl – KCl – SrCl₂ – Sr(NO₃)₂: дис. ... канд. хим. наук. Махачкала, 2008. 157 с.

References

1. Rasulov AI, Kochkarov ZhA, Kabardov AK. Chemical synthesis of strontium molybdate in ionic melts of the Me, Sr || Cl, MoO₄ (ME = Li, Na, K) three-component reciprocal systems. *Doklady Physical Chemistry*. 2024;517(1-2):124-127.
2. Rasulov AI. Phase equilibria, density and electrical conductivity in LiCl – NaCl – KCl – SrCl₂ – Sr(NO₃)₂: Ph.D. thesis (Chemistry). Makhachkala, 2008:157. (In Russ)

3. Трунов В. К., Ковба Л. М. Рентгенофазовый анализ. 2-е изд., доп. и переработ. М.: МГУ, 1976. 232 с.
4. Гиллер Я. Л. Таблицы межплоскостных расстояний: в 2 т. Т. 2. Москва: Недра, 1966. 720 с.
5. Термодинамические свойства расплавов солевых систем: справочное пособие / отв. ред. А. В. Городынский. Киев: Наук. думка, 1985. 170 с.
6. Термодинамические константы веществ: справочник: в 10 вып. / под ред. В. П. Глушко. М.: Мир, 1969-1979.
7. Расулов А. И., Ахмедова П. А., Гаматаева Б. Ю., Гасаналиев А. М., Мамедова А. К. Дифференциация многокомпонентной системы Na, K, Sr || Cl, NO₃. Фазовая диаграмма и физико-химические свойства солевых композиций системы NaNO₃-NaCl-KNO₃-Sr(NO₃)₂ // Журнал неорганической химии. 2019. Т. 64. № 1. С. 99-107. DOI: 10.1134/S0044457X19010161
8. Киреев В. А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1970. 519 с.
9. Семерикова О. Л., Косов А. В., Гришенкова О. В., Щелканова М. С. Термическая стабильность и электрофизические свойства оксидных вольфрамовых бронз, полученных электролизом расплавов // Расплавы. 2024. № 6. С. 596-608. DOI: 10.31857/S0235010624060028
10. Вердиев Н. Н., Бурчаков А. В., Вердиева З. Н., Алхасов А. Б., Магомедов М. М., Кондратьев И. М., Мурадова Л. С. Термический анализ и моделирование фазовых равновесий в системе NaCl – NaBr – Na₂WO₄ // Расплавы. 2024. № 4. С. 336-350. DOI: 10.31857/S0235010624030091
11. Черкесов З. А., Кушхов Х. Б., Кяров А. А. Синтез вольфрамата свинца в расплавах системы (Li₂WO₄ – Na₂WO₄) эвт – PbSO₄ // Расплавы. 2023. № 5. С. 513-524. DOI: 10.31857/S023501062305002X
12. Kochkarov ZhA. Three-component systems from lead and alkali metal tungstates. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:50-56. DOI: 10.1134/S2075113323010185
13. Kochkarova ZhA, and Bisergaeva RA. Four-component system Li₂WO₄ – Na₂WO₄ – K₂WO₄ – PbWO₄. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:130-135. DOI: 10.1134/S2075113323010197
14. Kochkarov ZhA. Phase diagram of four-component System LiCl – NaCl – KCl – PbWO₄. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:184-188. DOI: 10.1134/S2075113323010203
3. Trunov VK, Kovba LM. X-ray phase analysis. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: MSU, 1976:232. (In Russ)
4. Giller YaL. Tables of interplanar spacings: in 2 vols. Vol. 2. Moscow: Nedra, 1966:720. (In Russ)
5. Gorodysky AV (ed.). Thermodynamic properties of molten salt systems: reference guide. Kyiv: Naukova Dumka, 1985:170. (In Russ)
6. Glushko VP (ed.). Thermodynamic constants of substances: Handbook: in 10 vols. Moscow: Mir, 1969-1979. (In Russ)
7. Rasulov AI, Akhmedova PA, Gamataeva BY, Gasanaliev AM, Mamedova AK. Differentiation of the multicomponent system Na, K, SR || CL, NO₃: phase diagram and physicochemical properties of salt mixtures in the system NaNO₃ – NaCl – KNO₃ – SR(NO₃)₂. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2019;64(1):99-107. (In Russ). DOI: 10.1134/S0044457X19010161
8. Kireev VA. Methods of practical calculations in the thermodynamics of chemical reactions. Moscow: Khimiya, 1970:519. (In Russ)
9. Semerikova OL, Kosov AV, Grishenkova OV, Shchelkanova MS. Thermal stability and electrophysical properties of oxide tungsten bronzes produced by electrolysis of melts. *Melts*. 2024(6):596-608. (In Russ). DOI: 10.31857/S0235010624060028
10. Verdiev NN, Burchakov AV, Verdieva ZN, Alkhasov AB, Magomedov MM, et al. Thermal analysis and modeling of phase equilibria in NaCl – NaBr – Na₂WO₄ system. *Melts*. 2024(4):336-350. (In Russ). DOI: 10.31857/S0235010624030091
11. Cherkesov ZA, Kushkhov KhB, Kyarov AA. Synthesis of lead tungstate in melts of (Li₂WO₄ – Na₂WO₄)эвт – PbSO₄ system. *Melts*. 2023(5):513-524. (In Russ). DOI: 10.31857/S023501062305002X
12. Kochkarov ZhA. Three-component systems from lead and alkali metal tungstates. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:50-56. DOI: 10.1134/S2075113323010185
13. Kochkarova ZhA, and Bisergaeva RA. Four-component system Li₂WO₄ – Na₂WO₄ – K₂WO₄ – PbWO₄. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:130-135. DOI: 10.1134/S2075113323010197
14. Kochkarov ZhA. Phase diagram of four-component System LiCl – NaCl – KCl – PbWO₄. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023;14:184-188. DOI: 10.1134/S2075113323010203

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Расулов Абуддин Исамутдинович, кандидат химических наук, заведующий кафедрой химии, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия, abutdin.rasulov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5070-8553>

Гасаналиев Абдулла Магомедович, доктор химических наук, профессор кафедры химии, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия, abdulla.gasanaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5568-4335>

Гасаналиева Патимат Насирдиновна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия, p_gasanaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7892-5308>

Гимбатдибировна Мадина Гимбатдибировна, учитель химии и биологии, Многопрофильный лицей № 30, Махачкала, Россия, madina.gimbatova.20@mail.ru

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.02.2026
Одобрена после рецензирования 04.05.2026
Принята к публикации 13.05.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Abutdin I. Rasulov, Ph.D. (Chemistry), Head of the Department of Chemistry, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia, <https://orcid.org/0009-0009-5070-8553>

Abdulla M. Gasanaliev, Doctor of Science (Chemistry), Professor, Department of Chemistry, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia, abdulla.gasanaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5568-4335>

Patimat N. Gasanalieva, Ph.D. (Chemistry), Associate Professor, Department of Chemistry, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia, p_gasanaliev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7892-5308>

Madina G. Gimbatdibirova, Teacher of Chemistry and Biology, Multidisciplinary Lyceum No. 30, Makhachkala, Russia, madina.gimbatova.20@mail.ru

Contribution of the authors

All authors made equivalent contributions to the publication.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 11.02.2026
Approved after reviewing 04.05.2026
Accepted for publication 13.05.2026

Химические науки / Chemical Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 547:615.012.1
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-12-21
EDN: ZCPKZD

Синтез и изучение нейропротекторной активности производных дибензилиденацетона

© 2026 Руковицина В. М.✉, Поздняков Д. И., Оганесян Э. Т.

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал
Волгоградского государственного медицинского университета
Пятигорск, Россия, rukovitsina.vika@mail.ru✉, pozdniackow.dmitry@yandex.ru,
edwardov@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Для создания новых химических веществ, обладающих определенными характеристиками, применяются специализированные синтетические подходы. В качестве объекта исследования был выбран бензилиденацетон с учетом его известных в научной литературе антиоксидантных возможностей. Исходя из этого, был проведен синтез с целью дальнейшего изучения фармакологического профиля, в том числе нейропротекторной активности. **Цель.** Синтезировать дибензилиденацетоновые производные для дальнейшей оценки их нейропротекторного эффекта. **Методы.** Получение исследуемых соединений осуществлялось посредством реакции конденсации ацетона с двумя эквивалентами соответствующего бензальдегида. Оценка лекарственного подобия и прогноз токсикологических свойств проводили с помощью веб-сервисов SwissADME и pkCSM. Нейропротекторная активность оценивалась *in vivo* путем количественного определения снижения площади мозгового некроза и анализа динамики ключевых сывороточных биомаркеров. **Результаты.** Важно отметить, что все испытанные соединения оказались перспективными, так как соответствовали общепринятым стандартам для потенциальных лекарств, установленным правилами Липински, Ghose, Veber, Egan и Muegge, и, согласно прогнозам, не проявляли системной токсичности. Применение производных дибензилиденацетона приводило к статистически существенному уменьшению зоны церебрального некроза ($p < 0,05$) в сравнении с показателями контрольной группы крыс, однако не выявило достоверных отличий от группы, получавшей стандартное лечение. **Выводы.** Производные дибензилиденацетона удовлетворяют требованиям лекарственного подобия, предъявляемым к потенциальным лекарственным соединениям. Введение этих веществ в условиях фокальной ишемии головного мозга у крыс способствовало предотвращению аксональных повреждений и уменьшению зоны некроза мозговой ткани.

Ключевые слова: производные дибензилиденацетона, монокарбонильные аналоги куркумина, лекарственное подобие, нейрофиламент.

Формат цитирования: Руковицина В. М., Поздняков Д. И., Оганесян Э. Т. Синтез и изучение нейропротекторной активности производных дибензилиденацетона // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 12-21. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-12-21. EDN: ZCPKZD

Synthesis and Study of Neuroprotective Activity of Dibenzylideneacetone Derivatives

© 2026 Victoria M. Rukovitsina✉, Dmitry I. Pozdnyakov, Eduard T. Oganesyanyan

Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute –
Branch of Volgograd State Medical University
Pyatigorsk, Russia, rukovitsina.vika@mail.ru✉, pozdniackow.dmitry@yandex.ru,
edwardov@mail.ru

ABSTRACT. Specialized synthetic approaches are employed to create new chemical substances with specific characteristics. Benzylideneacetone was selected as the subject of research due to the antioxidant properties documented in scientific literature. Consequently, synthesis was performed to facilitate further investigation of the pharmacological profile, including neuroprotective activity. **Aim.** To synthesize dibenzylideneacetone derivatives for subsequent evaluation of their neuroprotective effects. **Methods.** The compounds under study were synthesized via the condensation reaction of acetone with two equivalents of the corresponding benzaldehyde. Drug-likeness and toxicological properties were predicted using the SwissADME and pkCSM web services. Neuroprotective activity was evaluated *in vivo* by quantifying the reduction in the area of cerebral necrosis and analyzing the dynamics of key serum biomarkers. **Results.** It is important to note that all tested compounds showed promise, as they met the generally accepted standards for potential drugs established by the Lipinski, Ghose, Veber, Egan and Muegge rules and were predicted not to exhibit systemic toxicity. Administration of dibenzylideneacetone derivatives resulted in a statistically significant reduction in the cerebral necrosis zone ($p < 0.05$) compared to the control group of rats; however, no significant differences were observed compared to the group receiving standard treatment. **Conclusions.** Dibenzylideneacetone derivatives meet the drug-likeness requirements for potential medicinal compounds. Administration of these substances in a rat model of focal cerebral ischemia helped prevent axonal damage and reduce the area of brain tissue necrosis.

Keywords: dibenzylideneacetone derivatives, monocarbonyl curcumin analogs, drug-likeness, neurofilament.

For citation: Rukovitsina VM, Pozdnyakov DI, Oganessian ET. Synthesis and Study of Neuroprotective Activity of Dibenzylideneacetone Derivatives. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):12-21. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-12-21. EDN: ZCPKZD

Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется разработке и идентификации нейропротекторных средств, полученных на основе природных соединений и воздействующих на механизм, зависящий от активации ядерного эритроидного 2-связанного фактора 2 Nrf2/ARE [1]

Например, для куркумина, желтого пищевого пигмента, получаемого из корневища растения *Curcuma longa* [2], была доказана нейропротекторная активность, что связано с его способностью активировать сигнальный путь Nrf2/ARE [3].

Следует отметить, что наличие метиленовой группы в структуре куркумина снижает его стабильность и способствует крайне низкой биодоступности в физиологических условиях, что серьезно ограничивает его клиническое применение [4].

Для повышения стабильности и фармакологической активности целесообразно осуществлять структурные модификации молекулы, а именно использовать методы и приемы таких химических превращений, которые будут способствовать повышению её биодоступности и биологической активности. Показано, что комплекс куркумина с марганцем, производные диацетилкуркумина и этилендиамина демонстрируют *in vitro* нейропротектор-

ную активность, способствуя восстановлению обучения и памяти у мышей после транзиторной ишемии мозга [5].

Введение пиразольного фрагмента в молекулу куркумина оказывает нейропротекторное действие *in vitro* [5].

Монокарбонильный аналог пищевого куркумина является мощным нейропротекторным агентом, который зависит от активации ядерного фактора эритроидного 2-связанного фактора 2 (Nrf2) [6].

Новый хлорсодержащий аналог куркумина показал высокую антиоксидантную и нейропротекторную виды активности, что было экспериментально подтверждено с помощью анализа поглощения свободных радикалов ABTS [7].

Аминокарбонильное производное куркумина проявляет нейропротекторный эффект как в клеточных, так и в животных моделях болезни Альцгеймера [8].

Новое производное куркумина, содержащее гептатриен-3-оновый фрагмент, участвует в замедлении образования токсичных олигомеров A β , разрушает β -амилоидные слои клеток, проявляя нейропротекторную активность [9].

Орто-гидроксипроизводное куркумина ингибирует агрегацию β -амилоида *in vitro*, а также обладает водорастворимостью более чем в 160 раз превышающей растворимость куркумина [10].

Синтезированные аналоги куркумина эффективно предотвращали образование фибрилл А β (степень ингибирования = 95-100 %) [11].

Производное пиразола с фрагментом куркумина проявляет защитный эффект в отношении митохондрий клеток и сигнального пути Nrf2 [12].

Комбинация куркумина и фумарата проявила нейропротекторную активность в модели болезни Паркинсона на *C. Elegans* [13].

Исходя из вышесказанного, мы поставили перед собой задачу синтезировать соединения, являющиеся производными дибензилиденацетона. Основное внимание было уделено изучению признаков, характеризующих их как потенциальные лекарственные средства, и оценке их нейропротекторных свойств.

Материал и методы исследования

Исследование лекарственных свойств

Анализ молекул на предмет их соответствия критериям лекарственных средств был осуществлен с использованием веб-сервиса SwissADME. Данная оценка базировалась на принципах *Липински, Ghose, Veber, Egan и Muegge* и проводилась посредством вычислительных методов (*in silico*). Определение токсических свойств соединений осуществлялось посредством использования онлайн-платформы pkCSM [14-16].

Синтез производных дибензилиденацетона проводили по методике, указанной в работе [17].

Анализ нейропротекторной активности in vivo

Исследование нейропротекторных свойств производных дибензилиденацетона проводилось на крысах линии Wistar (массой 180-200 г) с использованием модели фокальной ишемии головного мозга. Оценка эффективности препаратов осуществлялась путем измерения площади церебрального некроза и анализа изменений биомаркеров в сыворотке крови. Проведенные манипуляции полностью соответствовали требованиям международной экспериментальной этики, как это определено в Директиве 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета, а также в Рекомендациях Коллегии Евразийской экономической комиссии № 33 от 14.11.2023, касающихся работы с лабораторными животными в доклинических исследованиях. Исследование было одоб-

рено независимым этическим комитетом (протокол рассмотрения № 4 от 10.06.2025 г.), результаты представлены согласно рекомендациям ARRIVE guidelines 2.0 [18]. Фокальную ишемию моделировали по методу *Tamira* путем термокоагуляции правой средней мозговой артерии [19]. Исследуемые вещества вводились перорально в дозе 20 мг/кг ежедневно в течение трех дней после индукции ишемии. Контролем служил этилметилгидроксипиридина сукцинат (ЭМГПС) в дозе 50 мг/кг, вводимый перорально [20]. По истечении 72-х ч. периода ишемии у крыс производили забор крови из брюшной части аорты для получения сыворотки, в которой методом иммуноферментного анализа оценивали концентрацию легкой цепи нейрофиламента (NfL). Также у крыс извлекали головной мозг и оценивали размер зоны полушарного некроза трифенилтетразолиевым методом. Сравнение показателей осуществляли с группой ложнооперированных крыс (ЛО – без модели церебральной ишемии) и группой негативного контроля (НК – с моделью ишемии, но без лечения).

Данные проверяли на нормальность распределения (критерий Шапиро-Уилка с поправкой Ройстона). Чтобы выявить статистически значимые различия между группами, мы использовали соответствующие методы анализа. Для данных, подчиняющихся закону Гаусса, применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим уточнением парных сравнений с помощью теста Тьюки HSD. Если же данные имели ненормальное распределение, использовался непараметрический тест Краскелла-Уоллиса с пост-тестом Данна для выявления различий. Критерием статистической значимости служило значение $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 изображена схема синтеза исследуемых соединений.

Исследование лекарственных свойств

Для проведения компьютерного прогнозирования фармакологических характеристик изучаемых молекул использовали веб-платформу SwissADME, сопоставляя их с критериями *Липински, Ghose, Veber, Egan и Muegge*.

В число важнейших физико-химических характеристик, необходимых для соблюдения «правила пяти», входят молекулярная масса вещества, количество

доноров и акцепторов водородных связей, а также вычисленный программным методом коэффициент $\log P$, который служит индикатором липофильности. При проверке соответствия стандартам *Ghose*, *Veber*, *Egan* и *Muegge* в перечень приоритетных дескрипторов были включены такие показатели, как молекулярная рефракция, общее число вращающихся связей, размер полярной поверхности и прочие сопутствующие метрики [14-16].

Результаты фармакокинетического анализа анализируемых соединений указаны в таблице 1.

Исходя из представленных данных, было выявлено, что только соединение (1) имеет 1 нарушение по Muegge: количество гетероатомов < 2, соединения (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) соответствуют всем требованиям правил и демонстрируют значительное сходство с лекарственными препаратами. Данные соединения демонстрируют значительный фармакологический потенциал и представляют собой ценные объекты для последующего детального изучения.

При определении фармакокинетических характеристик изучаемых соединений выявлено, что вещества 1, 2 не проникают через гемато-энцефалический барьер; вещества 1, 2, 6 ингибируют ферменты CYP1A2, CYP2C19, CYP2C9, CYP2D6, не ингибируют CYP3A4; соединения 2, 6 ингибируют еще и CYP3A4; соединения 3 и 5 ингибируют ферменты CYP1A2, CYP2C19, CYP2C9, CYP3A4; соединения 4 и 9 являются ингибиторами фермента CYP2C19, CYP2C9, CYP3A4; соединение 7 ингибирует ферменты CYP2C19, CYP2D6, CYP3A4; соединение 8 является ингибитором ферментов CYP1A2, CYP2C19, CYP2C9; соединение 10 является ингибитором ферментов CYP1A2, CYP2C19, CYP3A4; процент всасывания в желудочно-кишечном тракте составляет 95,426 %, 97,796 %, 90,548 %, 98,704 %, 97,112 %, 97,568 %, 100 %, 90,31 %, 86,415 %, 73,944 % для соединений (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) соответственно [16].

Прогноз токсичности анализируемых соединений представлен в таблице 2.

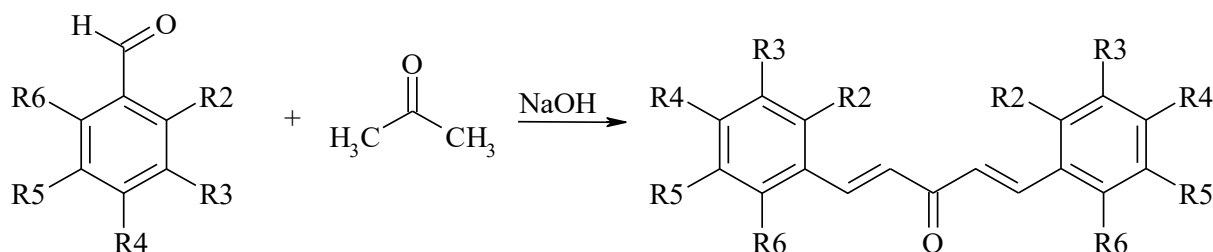


Рис.1. Получение производных дибензилиденацетона

Fig. 1. Obtaining dibenzylideneacetone derivatives

Таблица 1. Данные компьютерного моделирования фармакокинетических параметров (ADME) изучаемых веществ

Table 1. Data from computer modeling of pharmacokinetic parameters (ADME) of the studied substances

Молекулярные дескрипторы Molecular descriptors	MW/ mol	MLOGP/ WLOGP/ XLOGP	NHD	NHA	TPSAÅ ²	NA	NRB	MR
Соединение, № Compound, No								
1,5-дифенилпента-1,4-диен-3-он (1)	234,29	3,86/3,76/4,12	0	1	17,07	12	4	75,96
1,5-бис(3,4-диметоксифенил)пента-1,4-диен-3-он(2)	354,4	2,36/3,80/4,00	0	5	53,99	12	8	101,93
1,5-бис(4-гидроксифенил) пента-1,4-диен-3-он (3)	266,29	2,58/3,18/3,59	2	3	57,53	12	4	80,01
1,5-бис(3,4,5-триметоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (4)	414,45	1,72/3,82/3,94	0	7	72,45	12	10	114,91
1,5-бис(4-метоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (5)	294,34	3,05/3,78/4,31	0	3	35,53	12	6	88,94
1,5-бис[4-(диметиламино)фенил]пента-1,4-диен-3-он(6)	320,43	3,50/3,90/4,87	0	1	23,55	12	6	104,37
1,5-бис(2,4,6-триметоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (7)	414,45	1,72/3,82/3,94	0	7	72,45	12	10	114,91
1,5-бис(2-гидроксифенил) пента-1,4-диен-3-он (8)	266,29	2,58/3,18/3,92	2	3	57,53	12	4	80,00
1,5-бис(4-гидрокси-3,5-диметоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (9)	386,40	1,28/3,21/3,29	2	7	94,45	12	8	105,97
1,5-бис(2,3-дигидроксифенил) пента-1,4-диен-3-он (10)	298,29	1,44/2,59/2,70	4	5	97,99	12	4	84,05

Таблица 2. Оценка токсичности
Table 2. Toxicity assessment

Соединение Compound	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Токсичность по AMES AMES Toxicity	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет
Максимально переносимая доза для человека, мг/кг/сут Maximum tolerable dose for humans, mg/kg/day	0,77	1,067	0,842	1,137	0,842	0,749	1,356	0,313	0,581	0,156
Пероральная острая токсичность для крыс (LD50), моль/кг Oral acute toxicity for rats (LD50), mol/kg	1,946	2,316	2,165	2,336	2,165	2,212	2,441	2,039	1,69	1,92
Пероральная хроническая токсичность для крыс (LOAEL), log мг/кг массы тела/сут Oral chronic toxicity in rats (LOAEL), log mg/kg bw/day	1,096	1,735	2,247	1,923	2,247	0,428	1,68	2,0755	1,957	2,931
Гепатотоксичность Hepatotoxicity	нет	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
Сенсибилизация кожи Skin sensitization	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Таблица 3. Параметры исследованных соединений
Table 3. Parameters of the studied compounds

Соединение, № Compound, №	Выход, % Yield, %	Температура плавления, °C Meltingpoint, °C	ИК спектр, ν , см ⁻¹ (ваз.масло) IR spectrum, ν , cm ⁻¹ (vase oil)	УФ-спектры поглощения ($\lambda_{\max}$), нм (этиловый спирт) UV absorptionspectra ($\lambda_{\max}$), nm (ethyl alcohol)
1,5-дифенилпента-1,4-диен-3-он (1)	56	108-110	1651 (C=O), 1599 (C=C) 3053 (C-H)	204,228,329
1,5-бис(3,4-диметоксифенил)пента- 1,4-диен-3-он (2)	95	83-85	1260 (C-O-C), 1666 (C=O) 1598 (C=C)	194,291,383
1,5-бис(4-гидроксифенил) пента- 1,4-диен-3-он (3)	49	211-213	3296 (OH), 1654 (C=O) 1571 (C=C)	204,240,378
1,5-бис(3,4,5-триметоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (4)	90	137-138	1243 (C-O-C), 1666 (C=O) 1580 (C=C)	219,289,369
1,5-бис(4-метоксифенил) пента-1,4- диен-3-он (5)	94	124-126	1246 (C-O-C), 1654 (C=O) 1571 (C=C)	197,236,364
1,5-бис[4-(диметиламино)фенил] пента-1,4-диен-3-он(6)	91	179-181	1225 (C-O-C), 1633 (C=O) 1595 (C=C)	198,340,459
1,5-бис(2,4,6-триметоксифенил) пента-1,4-диен-3-он (7)	62	221-222	1231 (C-O-C), 1627 (C=O) 1601 (C=C)	199,290,358
1,5-бис(2-гидроксифенил) пента- 1,4-диен-3-он (8)	67	129-131	3294 (OH), 1652 (C=O) 1607 (C=C)	204,286,339
1,5-бис(4-гидрокси-3,5- диметоксифенил) пента-1,4-диен-3- он (9)	59	107-109	3295 (OH), 1253 (C-O-C), 1670 (C=O) 1608 (C=C)	214,231, 309
1,5-бис(2,3-дигидроксифенил) пен- та-1,4-диен-3-он (10)	78	102-104	3300 (OH), 1250 (C-O-C), 1666 (C=O) 1618 (C=C)	219,270,350

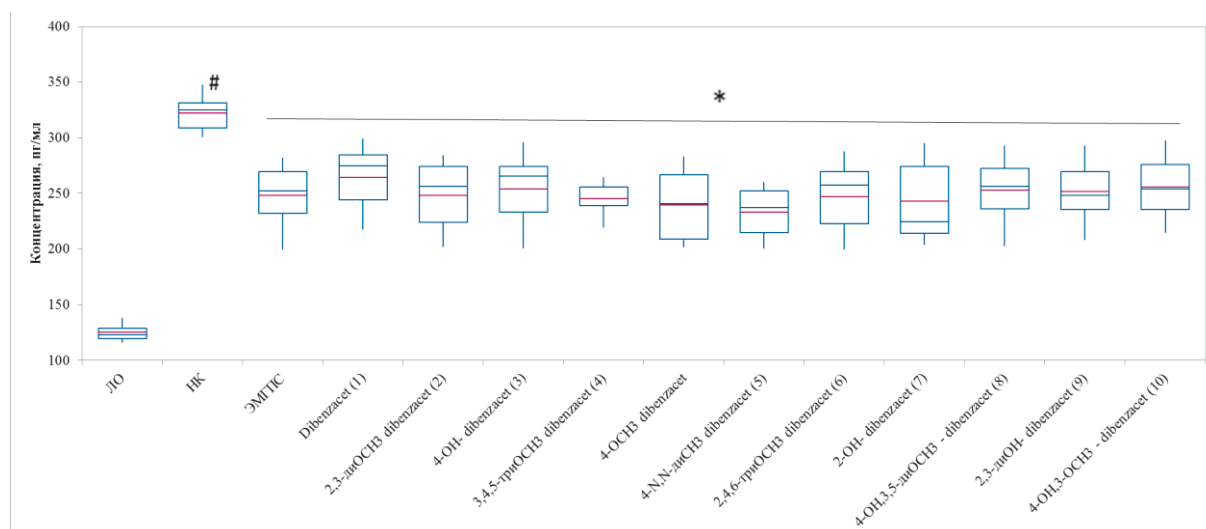


Рис. 2. Влияние анализируемых веществ и этилметилгидроксипиридина сукцината на изменение концентрации NfI в сыворотке крови крыс с фокальной ишемией головного мозга

Примечание: # – статистически значимо относительно ложнооперированной группы крыс (тест Данна, $p < 0,05$); * статистически значимо относительно негативного контроля группы крыс (тест Данна, $p < 0,05$).

Fig. 2. The effect of analyzed substances and ethylmethylhydroxypyridine succinate on the change in the concentration of NfI in the blood serum of rats with focal cerebral ischemia

Note: # — statistically significant compared to the sham-operated rat group (Dunn's test, $p < 0.05$); * — statistically significant compared to the negative control rat group (Dunn's test, $p < 0.05$).

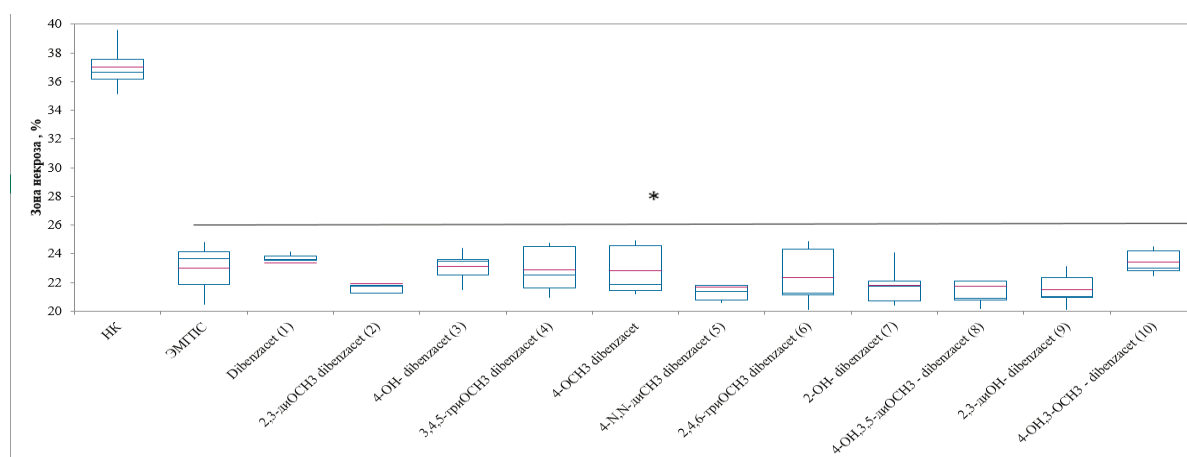


Рис.3. Влияние изучаемых соединений и этилметилгидроксипиридина сукцината на размер зоны церебрального некроза у крыс с фокальной ишемией мозга

Примечание: * статистически значимо относительно негативного контроля группы крыс (тест Данна, $p < 0,05$).

Fig. 3. The effect of the studied compounds and ethylmethylhydroxypyridine succinate on the size of the cerebral necrosis zone in rats with focal cerebral ischemia

Note: * statistically significant relative to the negative control group of rats (Dunn's test, $p < 0.05$).

Результаты анализа свидетельствуют о низкой токсичности всех исследованных соединений.

Сводные данные по физико-химическим свойствам представлены в таблице 3.

Исследование нейропротекторных свойств

Оценка нейропротекторной активности анализируемых соединений показала, что у НК группы крыс концентрация NfI

(рис. 2) была выше, чем у ЛО животных на 157,5 % ($p < 0,05$). Применение ЭМГПС способствовало снижению сывороточного содержания NfI на 22,9 % ($p < 0,05$) в сравнении с показателем НК группы крыс.

Введение анализируемых соединений также способствовало уменьшению ($p < 0,05$) концентрации NfI в сыровотке крови животных относительно НК группы крыс. Достоверных различий между группами животных, которым вводили ЭМГПС и тестируемые соединения, выявлено не было. Снижение концентрации NfI при применении анализируемых соединений может свидетельствовать об уменьшении степени аксонального повреждения при фокальной ишемии головного мозга и, следовательно, о сохранении целостности нервной ткани [21]. Приведенный факт подтверждается уменьшением объема очага некротического поражения мозга

(рис. 3) при использовании исследуемых соединений. В частности, применение производных дибензилиденацетона привело к статистически достоверному сокращению зоны церебрального некроза ($p < 0,05$) в сравнении с контрольной группой животных, однако существенных различий с показателями особей, получавших ЭМГПС, выявлено не было (рис. 3).

Заключение

Результаты компьютерного моделирования (*in silico*) подтвердили, что полученные химические соединения лишены системной токсичности и соответствуют требованиям, предъявляемым к лекарственным средствам. В условиях фокальной ишемии головного мозга у крыс введение анализируемых веществ предотвращало аксональное повреждение и уменьшало зону некроза головного мозга.

Список источников

1. Chakkittukandiyil A, Sajini DV, Karuppaiah A, Selvaraj D. The principal molecular mechanisms behind the activation of Keap1/Nrf2/ARE pathway leading to neuroprotective action in Parkinson's disease. *Neurochemistry International*. 2022;156:105325. DOI: 10.1016/j.neuint.2022.105325
2. Prasad S, Gupta SC, Tyagi AK, Aggarwal B. Curcumin, a component of golden spice: From bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*. 2014;32(6):1053-1064. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.04.004
3. Shin JW, Chun KS, Kim DH, Kim SJ, et al. Curcumin induces stabilization of Nrf2 protein through Keap1 cysteine modification. *Biochemical Pharmacology*. 2020;173:113820. DOI: 10.1016/j.bcp.2020.113820
4. Tomren MA, Masson M, Loftsson T, Tonnesen HH. Studies on curcumin and curcuminoids: XXXI. Symmetric and asymmetric curcuminoids: Stability, activity and complexation with cyclodextrin. *International Journal of Pharmaceutics*. 2007;338(1-2):27-34. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.01.013
5. Amalraj A, Pius A, Gopi S, Gopi S. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 2017;7(2.):205-233. DOI: 10.1016/j.jtcme.2016.05.005
6. Zhang Y, Lin D, Yao X, Dai F, et al. Identification and mechanistic exploration of a mono-carbonyl

References

1. Chakkittukandiyil A, Sajini DV, Karuppaiah A, Selvaraj D. The principal molecular mechanisms behind the activation of Keap1/Nrf2/ARE pathway leading to neuroprotective action in Parkinson's disease. *Neurochemistry International*. 2022;156:105325. DOI: 10.1016/j.neuint.2022.105325
2. Prasad S, Gupta SC, Tyagi AK, Aggarwal B. Curcumin, a component of golden spice: From bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*. 2014;32(6):1053-1064. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.04.004
3. Shin JW, Chun KS, Kim DH, Kim SJ, et al. Curcumin induces stabilization of Nrf2 protein through Keap1 cysteine modification. *Biochemical Pharmacology*. 2020;173:113820. DOI: 10.1016/j.bcp.2020.113820
4. Tomren MA, Masson M, Loftsson T, Tonnesen HH. Studies on curcumin and curcuminoids: XXXI. Symmetric and asymmetric curcuminoids: Stability, activity and complexation with cyclodextrin. *International Journal of Pharmaceutics*. 2007;338(1-2):27-34. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.01.013
5. Amalraj A, Pius A, Gopi S, Gopi S. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 2017;7(2.):205-233. DOI: 10.1016/j.jtcme.2016.05.005
6. Zhang Y, Lin D, Yao X, Dai F, et al. Identification and mechanistic exploration of a mono-carbonyl

analog A1 of dietary curcumin as a potent Nrf2-dependent neuroprotective agent within a cellular model of Parkinson's disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 2026;244:174-185. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2025.12.007

7. Chen T, Yin S, Yue R, Pi C, et al. Novel chlorine-containing curcumin analogue CAK06 promotes neuroprotection and rapid antidepressant through Nrf2-induced anti-inflammatory and antioxidant effects. *Neurotherapeutics*. 2025;22(4):e00600. DOI: 10.1016/j.neurot.2025.e00600

8. Xiong L, Yu Q, Chen L, Deng Y, et al. Curcumin analogue C66 ameliorates the pathology of Alzheimer's disease through suppression of JNK signaling pathway. *International Immunopharmacology*. 2025;162:115156. DOI: 10.1016/j.intimp.2025.115156

9. Bisceglia F, Seghetti F, Serra M, Zusso M, et al. Prenylated curcumin analogues as multipotent tools to tackle Alzheimer disease. *ACS Chemical Neuroscience*. 2019;10(3):1420-1433. DOI: 10.1021/acscchemneuro.8b00463

10. Endo H, Nikaido Y, Nakadate M, Ise S, et al. Structure activity relationship study of curcumin analogues toward the amyloid-beta aggregation inhibitor. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2014;24(24):5621-5626. DOI: 10.1016/j.bmcl.2014.10.076

11. Hotsumi M, Tajiri M, Nikaido Y, Makabe K, Konno H. Design, synthesis, and evaluation of a water soluble C5-monoketone type curcumin analogue as a potent amyloid β aggregation inhibitor. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2019;29(16):2157-2161. DOI: 10.1016/j.bmcl.2019.06.052

12. Liao L, Shi J, Jiang C, Zhang L, et al. Activation of anti-oxidant of curcumin pyrazole derivatives through preservation of mitochondria function and Nrf2 signaling pathway. *Neurochemistry International*. 2019;125:82-90. DOI: 10.1016/j.neuint.2019.01.026

13. Di Martino RMC, Pruccoli L, Bisi A, Gobbi S, et al. Novel Curcumin-Diethyl Fumarate Hybrid as a Dualistic GSK-3 β Inhibitor/Nrf2 Inducer for the Treatment of Parkinson's Disease. *ACS Chemical Neuroscience*. 2020;11:2728-2740. DOI: 10.1021/acscchemneuro.0c00394

14. Daina A, Michielin O, Zoete V. SwissADME: A free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Scientific Reports*. 2017;7(1):42717. DOI: 10.1038/srep42717

15. Горишний В. Я., Матийчук В. С. Синтез, физико-химические свойства, биоподобие и противоопухолевая активность эфиров и амидов 2-[5-(4-бромбензилиден)-4-оксо-2-тиоксотиазолидин-3-

analog A1 of dietary curcumin as a potent Nrf2-dependent neuroprotective agent within a cellular model of Parkinson's disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 2026;244:174-185. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2025.12.007

7. Chen T, Yin S, Yue R, Pi C, et al. Novel chlorine-containing curcumin analogue CAK06 promotes neuroprotection and rapid antidepressant through Nrf2-induced anti-inflammatory and antioxidant effects. *Neurotherapeutics*. 2025;22(4):e00600. DOI: 10.1016/j.neurot.2025.e00600

8. Xiong L, Yu Q, Chen L, Deng Y, et al. Curcumin analogue C66 ameliorates the pathology of Alzheimer's disease through suppression of JNK signaling pathway. *International Immunopharmacology*. 2025;162:115156. DOI: 10.1016/j.intimp.2025.115156

9. Bisceglia F, Seghetti F, Serra M, Zusso M, et al. Prenylated curcumin analogues as multipotent tools to tackle Alzheimer disease. *ACS Chemical Neuroscience*. 2019;10(3):1420-1433. DOI: 10.1021/acscchemneuro.8b00463

10. Endo H, Nikaido Y, Nakadate M, Ise S, et al. Structure activity relationship study of curcumin analogues toward the amyloid-beta aggregation inhibitor. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2014;24(24):5621-5626. DOI: 10.1016/j.bmcl.2014.10.076

11. Hotsumi M, Tajiri M, Nikaido Y, Makabe K, Konno H. Design, synthesis, and evaluation of a water soluble C5-monoketone type curcumin analogue as a potent amyloid β aggregation inhibitor. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2019;29(16):2157-2161. DOI: 10.1016/j.bmcl.2019.06.052

12. Liao L, Shi J, Jiang C, Zhang L, et al. Activation of anti-oxidant of curcumin pyrazole derivatives through preservation of mitochondria function and Nrf2 signaling pathway. *Neurochemistry International*. 2019;125:82-90. DOI: 10.1016/j.neuint.2019.01.026

13. Di Martino RMC, Pruccoli L, Bisi A, Gobbi S, et al. Novel Curcumin-Diethyl Fumarate Hybrid as a Dualistic GSK-3 β Inhibitor/Nrf2 Inducer for the Treatment of Parkinson's Disease. *ACS Chemical Neuroscience*. 2020;11:2728-2740. DOI: 10.1021/acscchemneuro.0c00394

14. Daina A, Michielin O, Zoete V. SwissADME: A free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Scientific Reports*. 2017;7(1):42717. DOI: 10.1038/srep42717

15. Horishny VYa, Matyichuk V.S. Synthesis physicochemical properties, druglikeness and anti-tumor activity of esters and amides of 2-[5-(4-bromobenzylidene)-4-oxo-2-thioxo-1,3-thiazolidin-3-

ил]-3-метилбутановой кислоты // Журнал органической химии. 2021. Т. 57. № 1. С. 35-42. DOI: 10.31857/S0514749221010043. EDN: YLHHBA

16. Шумадалова А. В., Виноградова Ю. И., Хузин Д. Р. Синтез и in silico прогноз фармакологической активности новых гидразонопроизводных тиетансодержащего пиримидина // Инновации в медицине и фармации: сборник статей. 2023. С. 600-603.

17. Оганесян Э. Т., Руковицина В. М., Поздняков Д. И., Адзиахметова С. Л. Анализ антиоксидантных свойств производных дибензилиденацетона с использованием квантовохимических параметров молекул // Фармация и фармакология. 2024. Т. 12. № 4. С. 281-294. DOI: 10.19163/2307-9266-2024-12-4-281-294. EDN: LYUERJ

18. Percie du Sert N, Hurst V, Ahluwalia A, Alam S. The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. *BMC Veterinary Research*. 2020;16(242). DOI: 10.1186/s12917-020-02451-y

19. Tamura A, Graham DI, McCulloch J, Teasdale G. Focal cerebral ischaemia in the rat: 1. Description of technique and early neuropathological consequences following middle cerebral artery occlusion // *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 1981;1(1):53-60. DOI: 10.1038/jcbfm.1981.6

20. Поздняков Д. И., Вихорь А. А. Антиапоптотическое действие триметокси-замещенных монокарбонильных аналогов куркумина в условиях экспериментальной болезни Альцгеймера // *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2024. Т. 8. № 3. С. 77-90. DOI: 10.31549/2542-1174-2024-8-3-77-90. EDN: AJBUKQ

21. Mages B, Aleithe S, Altmann S, Blietz A, et al. Impaired neurofilament integrity and neuronal morphology in different models of focal cerebral ischemia and human stroke tissue. *Frontiers in Cellular Neuroscience*. 2018;12(161). DOI: 10.3389/fncel.2018.00161

yl]-3-methylbutanoic acid. *Zhurnal Organicheskoi Khimii*. 2021;57(1):35-42. (In Russ). DOI: 10.31857/S0514749221010043. EDN: YLHHBA

16. Shumadalova AV, Vinogradova Yul, Khuzin DR. Synthesis and in silico prediction of pharmacological activity of new hydrazone derivatives of thietane-containing pyrimidine. *Innovations in Medicine and Pharmacy: Collection of Papers*. 2023:600-603. (In Russ)

17. Oganessian ET, Rukovitsina VM, Pozdnyakov DI, Adzhiakhmetova SL. Analysis of antioxidant properties of dibenzylideneacetone derivatives using quantum chemical parameters of the molecule. *Pharmacy & Pharmacology*. 2024;12(4):281-294. (In Russ). DOI: 10.19163/2307-9266-2024-12-4-281-294. EDN: LYUERJ

18. Percie du Sert N, Hurst V, Ahluwalia A, Alam S. The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. *BMC Veterinary Research*. 2020;16(242). DOI: 10.1186/s12917-020-02451-y

19. Tamura A, Graham DI, McCulloch J, Teasdale G. Focal cerebral ischaemia in the rat: 1. Description of technique and early neuropathological consequences following middle cerebral artery occlusion // *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 1981;1(1):53-60. DOI: 10.1038/jcbfm.1981.6

20. Pozdnyakov DI, Vikhor AA. Anti-apoptotic effects of rimethoxy-substituted monocarbonyl curcumin analogues in experimental Alzheimer's disease. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2024;8(3):77-90. (In Russ). DOI: 10.31549/2542-1174-2024-8-3-77-90. EDN: AJBUKQ

21. Mages B, Aleithe S, Altmann S, Blietz A, et al. Impaired neurofilament integrity and neuronal morphology in different models of focal cerebral ischemia and human stroke tissue. *Frontiers in Cellular Neuroscience*. 2018;12(161). DOI: 10.3389/fncel.2018.00161

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Руковицина Виктория Михайловна, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры органической химии, Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Россия, rukovitsina.vika@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-9217>

Поздняков Дмитрий Игоревич, доктор фармацевтических наук, доцент, заведующий кафедрой фармакологии с курсом клинической фармакологии, Пятигорский медико-фармацевтический ин-

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Victoria M. Rukovitsina, Ph.D. (Pharmacy), Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – Branch of Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia, rukovitsina.vika@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-9217>

Dmitry I. Pozdnyakov, Doctor of Science (Pharmacy), Associate Professor, Head of the Department of Pharmacology with a Clinical Pharmacology Course, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – Branch of Volgograd State Medical Univer-

ститут – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Россия, pozdniackow.dmitry@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5595-8182>

Оганесян Эдуард Тоникович, доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии, Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Россия, edwardov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2756-9382>

Критерии авторства

Руковицина В. М. – осуществление эксперимента, обработка материала, анализ данных, написание статьи; Поздняков Д. И. – осуществление эксперимента, обработка материала, анализ данных, написание статьи; Оганесян Э. Т. – идея, обработка материала, анализ данных, научное редактирование текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.05.2026
Одобрена после рецензирования 08.06.2026
Принята к публикации 22.06.2026

sity, Pyatigorsk, Russia, pozdniackow.dmitry@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5595-8182>

Eduard T. Oganessian, Doctor of Science (Pharmacy), Professor, Head of the Department of Organic Chemistry, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – Branch of Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia, edwardov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2756-9382>

Contribution of the authors

Rukovitsina V. M. – experiment implementation, material processing, data analysis, writing the paper; Pozdnyakov D. I. – experiment implementation, material processing, data analysis, writing the paper; Oganessian E. T. – idea, material processing, data analysis, scientific editing of the text.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 28.05.2026
Approved after reviewing 08.06.2026
Accepted for publication 22.06.2026

Химические науки / Chemical Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 544.6.018.42-16
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-22-31
EDN: UONHGM

Определение параметров эквивалентной схемы твёрдоэлектролитных датчиков кислорода импульсно-гальваностатическим методом

© 2026 Салпагарова З. И.✉, Лайпанов М. З.

Карачаево-Черкесский государственный университет им. У. Д. Алиева
Карачаевск, Россия, salpagarova.zulfiya@mail.ru✉, lamur80@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Цель. Диагностика твёрдоэлектролитных датчиков кислорода путём определения параметров их эквивалентной схемы (сопротивления R_i , ёмкости C_k и, при наличии поляризации, сопротивления R_f) по данным импульсно-гальваностатических измерений. Методы. Метод операторного импеданса, импульсно-гальваностатический метод. Результаты. Показано, что импульсно-гальваностатический метод позволяет по значению предельного напряжения $E(\infty)$ определять сопротивление твёрдого электролита R_i и, при наличии блокирующего слоя, суммарное сопротивление ($R_i + R_f$). Экспериментальная проверка на датчике состава $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$ при 980°C показала совпадение расчётных и экспериментальных значений R_i и C_k с расхождением не более 12 %. Выводы. Поскольку предельное напряжение $E(\infty)$ равно $I \cdot R_i$ (без поляризации) либо $I \cdot (R_i + R_f)$ (при наличии блокирующего слоя), из этого следует практический критерий выбора режима измерения: величину токовой ступени I в гальваностатическом методе необходимо подбирать так, чтобы это предельное напряжение оставалось ниже напряжения разложения твёрдого электролита и не вызывало его электрохимического разложения в ходе измерения.

Ключевые слова: инертный электрод, операторный импеданс, твёрдоэлектролитные датчики кислорода, гальваностатические кривые, электрохимический датчик кислорода, импульсно-гальваностатический метод.

Формат цитирования: Салпагарова З. И., Лайпанов М. З. Определение параметров эквивалентной схемы твёрдоэлектролитных датчиков кислорода импульсно-гальваностатическим методом // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 22-31. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-22-31. EDN: UONHGM

Determination of Equivalent Circuit Parameters for Solid-Electrolyte Oxygen Sensors Using the Pulsed Galvanostatic Method

© 2026 Zulfiya I. Salpagarova,✉ Murat Z. Laypanov

Umar Aliyev Karachay-Cherkess State University
Karachayevsk, Russia, salpagarova.zulfiya@mail.ru✉, lamur80@mail.ru

ABSTRACT. Aim. Diagnosis of solid-electrolyte oxygen sensors by determining the parameters of their equivalent circuit (resistance R_i , capacitance C_k , and, if polarization is present, resistance R_f) based on data from pulse-galvanostatic measurements. Methods. The method of operational impedance, the pulsed galvanostatic method. Results. It has been shown that the pulsed galvanostatic method allows one to determine the resistance of the solid electrolyte R_i and, in the presence of a blocking layer, the total resistance ($R_i + R_f$) based on the value of the limiting voltage $E(\infty)$. Experimental verification using a sensor with a composition of $0.858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0.142 \text{ CaO}$ at 980°C showed that the calculated and experimental values of R_i and C_k coincide, with a discrepancy of no more than 12 %. Conclusions. Since the limiting voltage

$E(\infty)$ is equal to $I \cdot R_i$ (in the absence of polarization) or $I \cdot (R_i + R_f)$ (in the presence of a blocking layer), a practical criterion for selecting the measurement mode follows: the magnitude of the current step I in the galvanostatic method must be chosen such that this limiting voltage remains below the decomposition voltage of the solid electrolyte and does not cause its electrochemical decomposition during the measurement.

Keywords: inert electrode, operational impedance, solid-electrolyte oxygen sensors, galvanostatic curves, electrochemical oxygen sensor, pulsed galvanostatic method.

For citation: Salpagarova ZI, Laypanov MZ. Determination of Equivalent Circuit Parameters for Solid-Electrolyte Oxygen Sensors Using the Pulsed Galvanostatic Method. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):22-31. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-22-31. EDN: UONHGM

Введение

Электрохимия твердых электролитов начала развиваться во второй половине 60-х гг. Большое внимание уделялось твердому электролиту Ag_4RbI_5 . Проводимость данного электролита при комнатной температуре достигает $0,25-0,27 \text{ см}^{-1}$, решетка образована ионами, которые имеют упаковку кубического типа [1; 2].

Однако почти во всех твердых электролитах, синтезированных на основе йодида серебра AgI , присутствует, помимо дефектов жесткой подрешетки, также и молекулярный йод I_2 , вследствие возможного частичного разложения твердого электролита [3]. Это связано с тем, что при малых концентрациях ионов серебра серебряный электрод выполняет ещё одну функцию – кислородную, что может привести к отшелушиванию или отслаиванию покрытия [4].

Для поликристаллических образцов Ag_4RbI_5 электропроводность описывается уравнением $\delta T = 4,74 \cdot 10^3 \exp(-0,104/kT)$. Коэффициент диффузии ионов Ag^+ в Ag_4MI_5 равен $DAg^+ = 6,1 \cdot 10^{-5} \exp(-0,86/kT)$. Электронная проводимость Ag_4RbI_5 составляет $10^{-8} - 10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Также известен целый ряд двойных солей AgI , являющихся твердыми электролитами [5].

В металлургии существует необходимость контролировать содержание кислорода в расплавленном металле. Для этого применяют обычно электрохимический датчик кислорода с твердым электролитом на основе диоксида циркония ZrO_2 . Принципиальная возможность применения твердых электролитов (ТЭЛ) на основе ZrO_2 для контроля окислительного потенциала раскисленных щелочно-металлических теплоносителей показана Б. А. Шматко и др. Однако применение датчиков осложняется явлением поляризации, в результате чего ТЭЛ подвергается коррозионному разрушению под действием расплавленных металлов.

В итоге поляризации кислородный обмен между ТЭЛ и исследуемым жидким электродом затрудняется из-за блокирования поверхности электрода реакционным слоем, что, в свою очередь, приводит к возрастанию момента инерции датчиков. В связи с этим возникает необходимость периодической диагностики поверхности раздела ТЭЛ – жидкометаллического электрода непосредственно в ходе эксплуатации датчика. С этой целью удобнее применять метод импеданса, как один из методов неразрушающего контроля [6; 7].

Материал и методы исследования

Метод операторного импеданса и общая схема анализа эквивалентных электрических цепей твердоэлектролитных систем известны и разработаны ранее [7; 8]. Новизна настоящей работы состоит в применении импульсно-гальваностатического варианта этого подхода непосредственно к схеме электрохимического датчика кислорода типа (1) с получением расчётных соотношений (4)–(6) для определения R_i и S_k (R_f) по параметрам гальваностатической кривой, а также в экспериментальной проверке предложенного критерия на реальном датчике.

Если электроды являются обратимыми, а сопротивление обмена кислорода на границе ТЭЛ обеспечивается жидкометаллическим электродом, то для датчика типа (1) можно использовать упрощенную эквивалентную схему. Она представляет собой электрическую цепь, показанную на рисунке 1а, где параллельно соединены емкость конструкционного элемента (S_k) и сопротивление твердого электролита.

При образовании блокирующего слоя на поверхности твердого электролита $ZrO_2-I_2O_3$ эквивалентная электрическая схема усложняется и сводится к цепи, представленной на рисунке 1 б, $Me/Bi, Bi_2O_3//ZrO_2 * I_2O_3//Bi, Bi_2O_3/Me$.

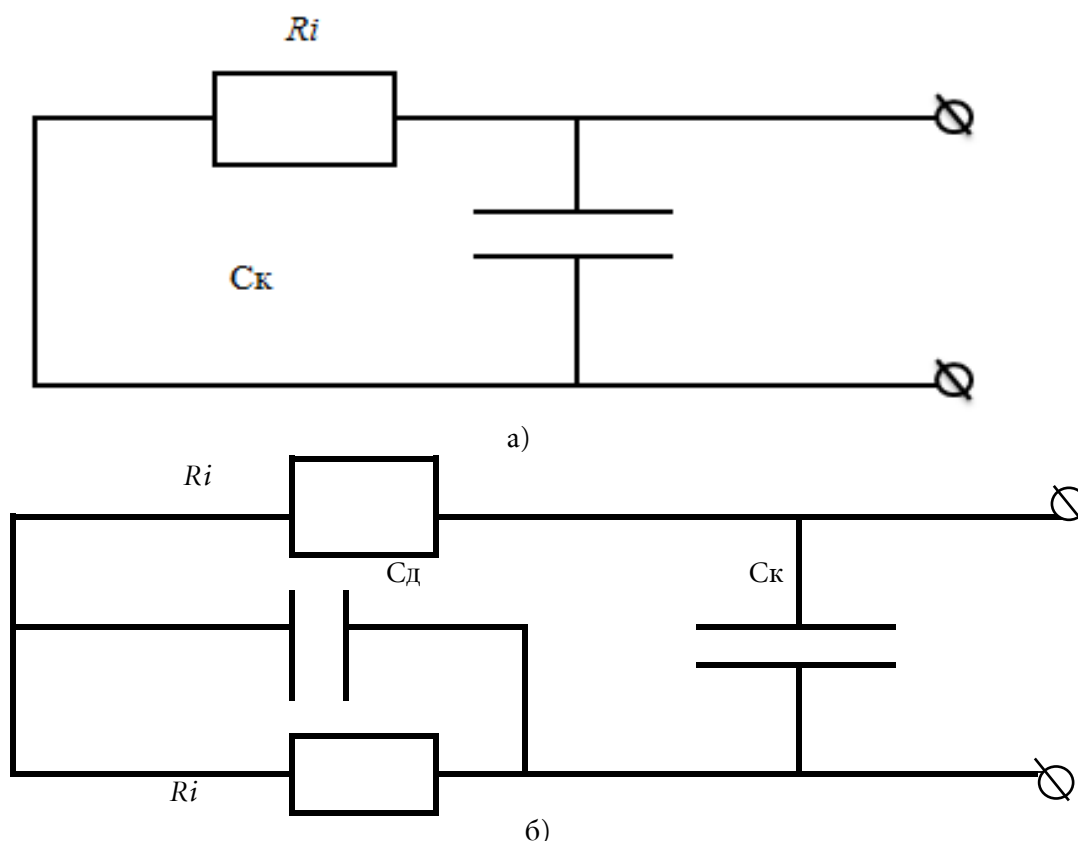


Рис 1. Эквивалентная электрическая схема электрохимического датчика кислорода:
а) в случае отсутствия поляризации; б) в случае поляризации границы твердый
электролит – электрод

Примечание: R_i – сопротивление поляризации, а C_d – емкость двойного электрического слоя на границе раздела твердый электролит – жидкий электрод.

Fig. 1. Equivalent electrical circuit of an electrochemical oxygen sensor: a) in the absence of polarization; b) in the case of polarization of the solid electrolyte – electrode

Note: R_i is the polarization resistance, C_d is the capacitance of the double electric layer at the interface between the solid electrolyte – liquid electrode.

Результаты и их обсуждение

Твердые электролиты на основе диоксида циркония. Согласно литературным данным [6; 2], диоксид циркония обладает высокой ионной проводимостью; при низких температурах он кристаллизуется в плотной моноклинной структуре, а при 1100 °С переходит в тетрагональную модификацию. Как показано в [6], при нагреве до 1000-1100 °С и введении добавок (например, CaO) вместо тетрагональной модификации образуется структура флюорита (рис. 2, воспроизведён по данным [6]). По данным [6; 2], проводимость флюоритной модификации ZrO_2 зависит от концентрации CaO и максимальна при содержании добавки около 12 мол. % (рис. 3, по данным [6]). Измерения проводимости осуществлялись на поликристаллических керамических образцах многими исследователями. Результаты в некоторых

случаях заметно различаются между собой из-за различного качества контакта электрод – электролит и разной структуры керамики (крупность зерна, качество спекания).

Основной причиной отклонений является то, что часть кислородных вакансий образует комплексы с ионами Ca^{2+} и не участвует в переносе тока.

По этой же причине удельное сопротивление электролита возрастает при увеличении концентрации CaO выше 12 мол. %, несмотря на рост общего числа вакансий. При содержании CaO 14-15 мол. % энергия активации и проводимости в области сравнительно низких температур составляет 1,29-1,38 эВ. ниже 1400 °С (рис. 3), проводимость $0,858 ZrO_2 \cdot 0,142 CaO$ описывается уравнением $\delta T = 5,84 \cdot 10^6 \exp(-1,29/KT)$ [2].

Твердый электролит состава $0,9\text{ZrO}_2 \cdot 0,1\text{V}_2\text{O}_3$ имеет при 1000°C проводимость около $0,12 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, а электролит состава $0,91\text{ZrO}_2 \cdot 0,09\text{Sc}_2\text{O}_3$ до $0,3 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ (см. отдельные точки на рис. 4) [2]. Энергия активации проводимости соответственно равна $0,68$ и $0,43$ эВ. Во всех случаях сопротивления от концен-

трации добавки проходит через минимум в интервале $5\text{--}15$ мол. %.

Приведённые выше литературные данные [6; 2] о характере проводимости ZrO_2 -содержащих твёрдых электролитов используются далее как основа для разработки методики импульсно-гальваностатической диагностики датчиков на их основе.

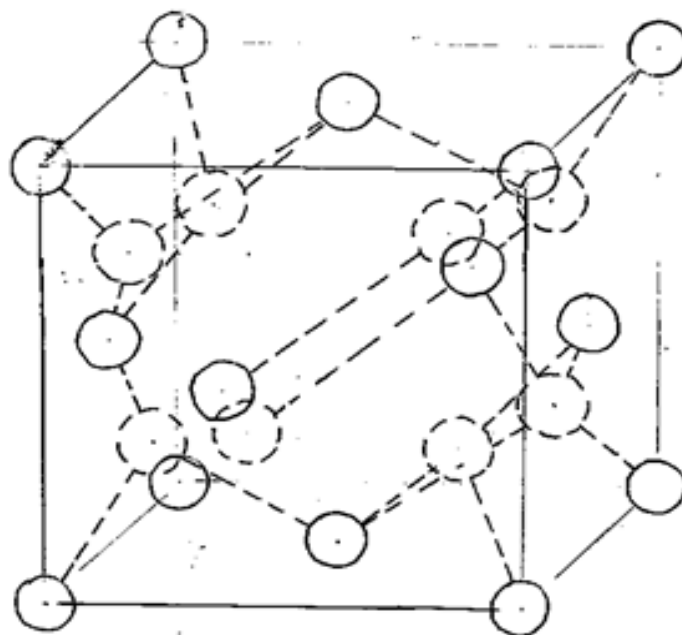


Рис. 2. Структура флюорита
Fig. 2. Structure of fluorite

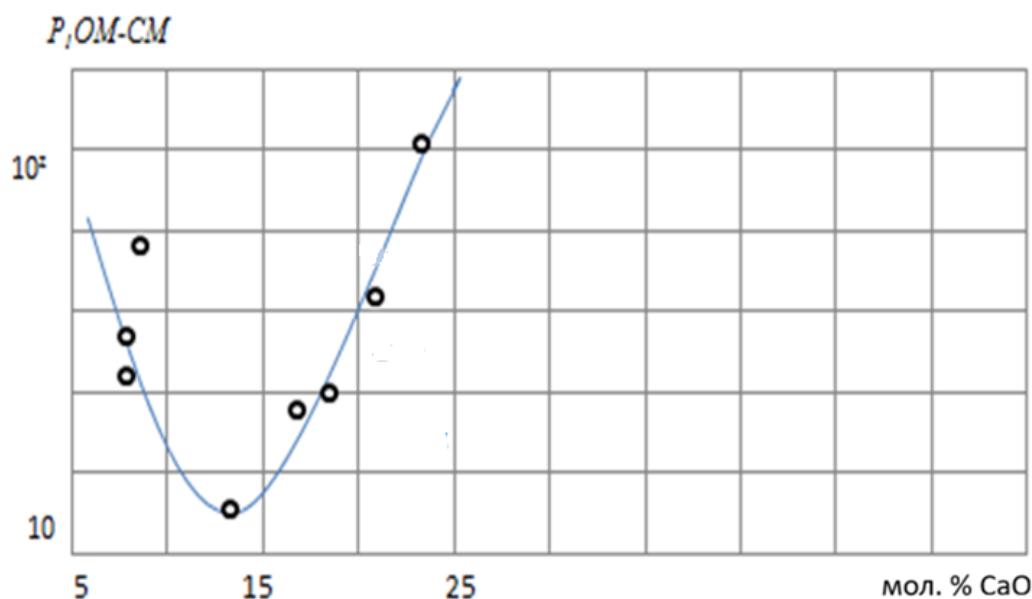


Рис. 3. Удельное сопротивление системы $\text{ZrO}_2 - \text{CaO}$ при 1000°C
Fig. 3. Electrical resistivity of the $\text{ZrO}_2 - \text{CaO}$ system at 1000°C

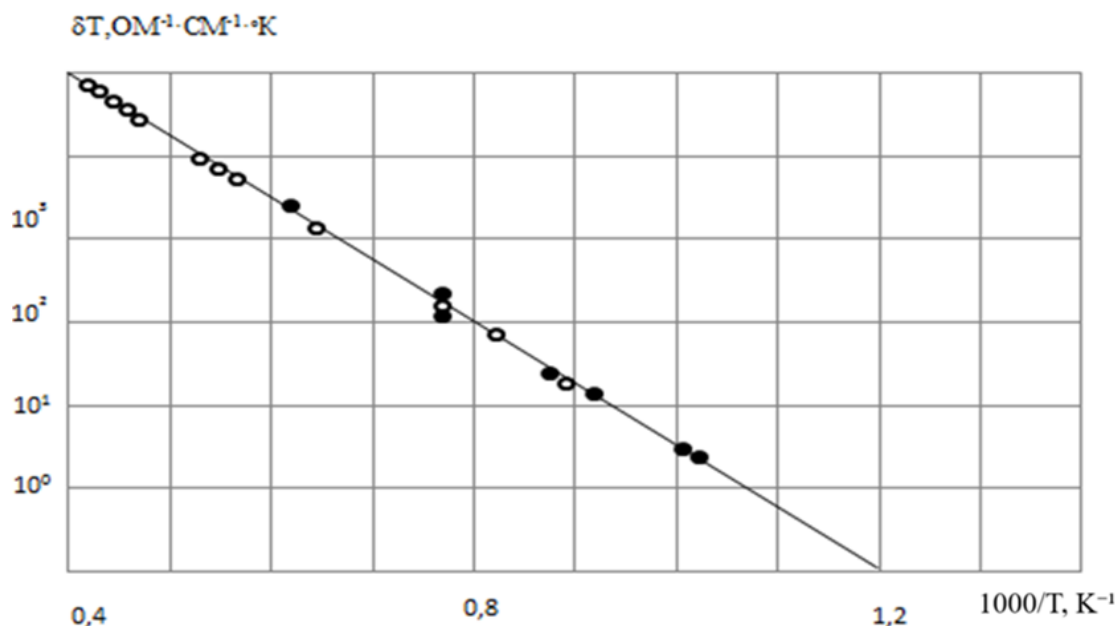


Рис. 4. Температурная зависимость проводимости электролита 0,858 ZrO₂·0,142CaO (сплошная линия и основной ряд точек, по данным [6; 2]); отдельно нанесены точки проводимости составов 0,9ZrO₂·0,1V₂O₃ и 0,91ZrO₂·0,09Sc₂O₃ при 1000 °C для сравнения

Fig. 4. Temperature dependence of the conductivity of 0,858ZrO₂·0,142CaO electrolyte (solid line and main data points, based on [6; 2]); conductivity values for 0,9ZrO₂·0,1V₂O₃ and 0,91ZrO₂·0,09Sc₂O₃ compositions at 1000 °C are plotted separately for comparison

Метод операторного импеданса. Так как в основе данного метода лежит так называемое преобразование Лапласа, то с помощью данного преобразования рассмотрим следующую функцию:

$$Y(p) = \int_0^{\infty} \exp(-pt) Y(t) dt$$

Так, например, преобразованная функция от единицы, т. е. $Y(t) = 1$ будет равна

$$Y(p) = \int_0^{\infty} \exp(-pt) dt \frac{1}{p}$$

В качестве других примеров рассмотрим функции

$$Y(t) = t \text{ и } Y(t) = 1/\sqrt{\pi t}$$

Преобразованные функции от них будут равны

$$Y(p) = \int_0^{\infty} t \cdot \exp(-pt) dt \frac{1}{p^2} \quad Y(p) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi t}} \exp(-pt) dt \frac{1}{\sqrt{p}}$$

Очень часто при решении ряда физико-химических задач приходится решать обратную задачу, или отыскание оригинала по изображению.

$$\int_0^{\infty} Y(t) \exp(-pt) dt = Y(p)$$

Причем $Y(p)$ – известная функция от p , а искомой является стоящая под знаком интеграла функция $y(t)$. Эта операция

называется обратным преобразованием Лапласа [8; 9].

Импульсно-гальваностатический метод. Помимо импедансного метода для диагностики твердоэлектролитных датчиков могут быть применены и другие электрохимические методы, в частности импульсный гальваностатический метод. Рассмотрим, каковы возможности данного метода при анализе исследуемой системы. Так как в импульсном гальваностатическом методе $i(t) = \text{const}$ или $i(p) = I/p$, а операторный импеданс в случае отсутствия поляризации равен:

$$Z(p) = \frac{R_i}{R_i \cdot C_{\text{кр}} + 1} = \frac{l_1}{p + n_2} \quad (1)$$

то для операторного потенциала $E(p)$

$$\text{получим } E(p) = \frac{I}{p} \left(\frac{l_1}{p + n_1} \right) =$$

$$I l_1 \left[\frac{1}{p} \left(\frac{1}{p + n_1} \right) \right] \quad (2)$$

Согласно И. М. Конторовичу имеем соответствие

$$\frac{1}{p} \left(\frac{1}{p + n_1} \right) \rightarrow 1/m [1 - \exp(-n_1 t)] \quad (3)$$

С учётом (3) для напряжения $E(t)$ найдём следующее выражение

$$E(t) = IR_i \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{R_i \cdot C_k} \right) \right] \quad (4)$$

Из соотношения (4), при больших временах $|t \rightarrow \infty|$, значение напряжения стремится к предельной величине. Из значения $E(\infty)$, зная величину тока I , можно определить сопротивление твердого электролита R_i

$$R_i = E(\infty)/I \quad (5)$$

На рисунке 5 изображена зависимость напряжения $E(t)$ от времени в соответствии с соотношением (4) при значениях:

$$R_i = 16 \cdot 10^3 \text{ Ом}; C_k = 0,474 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}; I = 10^{-4} \text{ А}$$

Если значение $I R_i$ из рисунка 5 определено, то соотношению (4) можно придать вид:

$$\lg[IR_i - E(t)] = \lg IR_i - \frac{t}{2,3 R_i \cdot C_k} \quad (6)$$

при соответствии с (6) гальваностатическую кривую следует построить в координатах $\lg[IR_i - E(t)] - t$. Из гальваностатической зависимости электрохимического датчика кислорода (рис 6.) можно определить величину конструкционной емкости по формуле

$$C_k = 1 / (2,3 \cdot R_i \cdot \text{tg} \theta), \quad (7)$$

где θ – угол наклона прямой $\lg[IR_i - E(t)]$ к оси t на рисунке 6.

При наличии блокирующего слоя, рассуждая аналогичным образом [10], для напряжения в импульсном гальваностатическом режиме находим выражение.

$$E(t) = \frac{Id_1}{m_1} [1 - \exp(-m_1 t)] + \frac{Id_2}{m_2} [1 - \exp(-m_2 t)]$$

где $d_1 = (km_1 - l) (m_1 - m_2)$; $d_2 = (l - m_2 k) (m_1 - m_2)$

Для достаточно больших времен (при $t \rightarrow -(\infty)$) соотношение сводится к выражению

$$E(\infty) = I \left(\frac{d_1}{m_1} + \frac{d_2}{m_1} \right) = I(R_i + R_f)$$

Другими словами, и в этом случае гальваностатические кривые при $t \rightarrow \infty$ насыщаются (рис. 7), причем значения предельного напряжения $E(\infty)$ соответствуют суммарному активному сопротивлению $I(R_i + R_f)$. По величине предельного напряжения $E(\infty)$ и ступеньке тока I .

Значение остальных параметров при расчёте кривых 1-3 сохранены постоянными и равными ($R_i = 16 \cdot 10^3 \text{ Ом}$; $C_k = 0,474 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$; $CД = 0,948 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$; $I = 10^{-4} \text{ А}$. Можно определить значение $(R_i + R_f)$ по формуле $(R_i + R_f) = E(\infty)/I$.

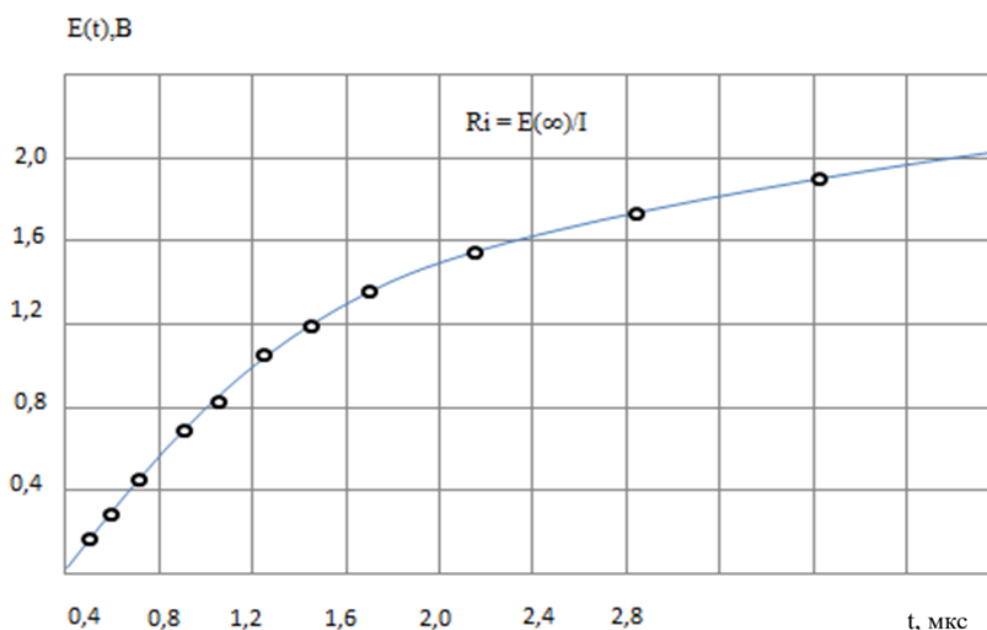


Рис. 5. Расчетная гальваностатическая кривая электрохимического датчика кислорода в отсутствии поляризации при ($R_i = 16 \cdot 10^3 \text{ Ом}$) ($C_k = 0,474 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$) ($I = 10^{-4} \text{ А}$)

Fig. 5. Calculated galvanostatic curve of the electrochemical oxygen sensor in the absence of polarization at ($R_i = 16 \cdot 10^3 \text{ Ом}$) ($C_k = 0,474 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$) ($I = 10^{-4} \text{ А}$)

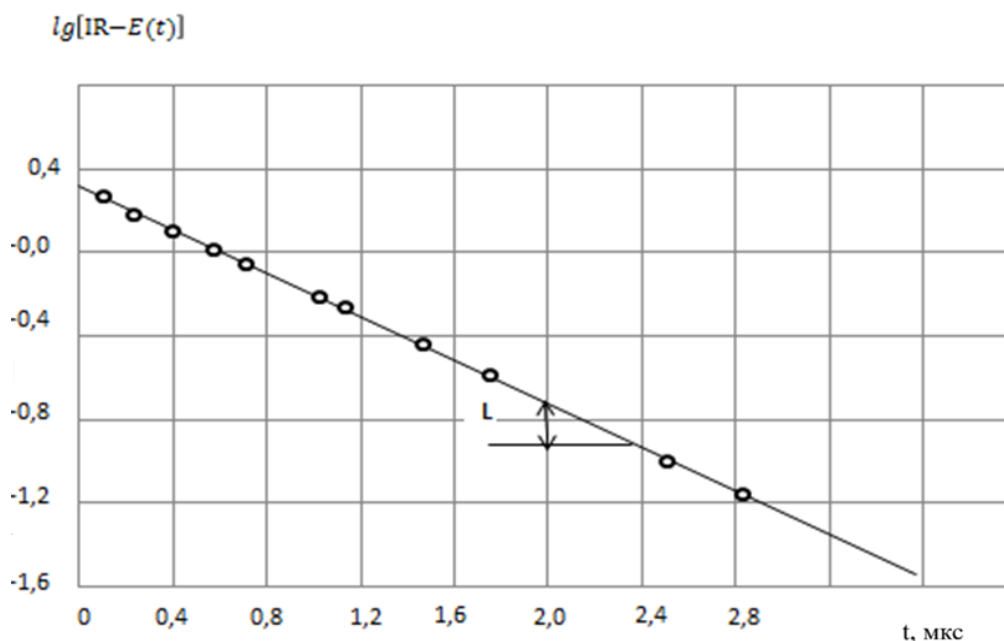


Рис. 6. Определение величины емкости C_k из гальваностатической зависимости электрохимического датчика кислорода

Fig. 6. Determining the value of the capacitance of the C_k from the galvanostatic dependence of the electrochemical oxygen sensor

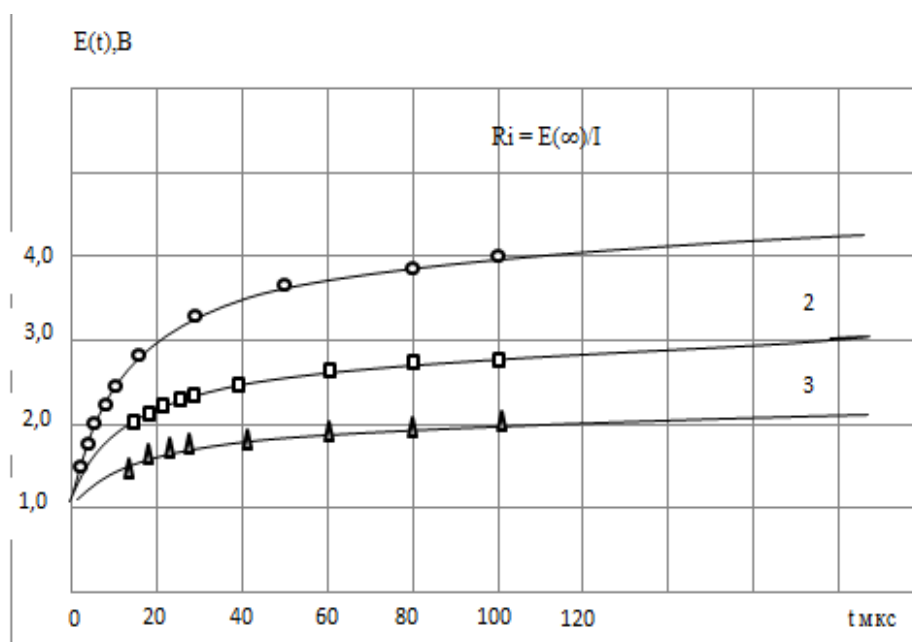


Рис. 7. Расчетные гальваностатические кривые электрохимического датчика кислорода при наличии поляризации электрода:

1) $R_f = 16 \cdot 10^3 \Omega$; 2) $R_f = 8 \cdot 10^3 \Omega$; 3) $R_f = 0,16 \cdot 10^3 \Omega$

Fig. 7. Calculated galvanostatic curves of the electrochemical oxygen sensor in the presence of electrode polarization: 1) $R_f = 16 \cdot 10^3 \Omega$; 2) $R_f = 8 \cdot 10^3 \Omega$; 3) $R_f = 0,16 \cdot 10^3 \Omega$

Экспериментальная часть

Для проверки предложенной расчетной модели были проведены измерения на твердоэлектролитном датчике кислорода состава $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$ при температуре 980°C и величине токовой ступени I

$= 1 \cdot 10^{-4} \text{ А}$. Экспериментальная гальваностатическая кривая $E(t)$ приведена на рисунке 8 совместно с расчетной кривой, построенной по формуле (4) при модельных параметрах $R_i = 16 \cdot 10^3 \Omega$, $C_k = 0,474 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$. Обработка эксперимен-

тальной кривой по соотношению (5) дает $E(\infty) \approx 1,57$ В и, соответственно, $R_i \approx 15,7 \cdot 10^3$ Ом; обработка начального (линейного в координатах $\lg[I \cdot R_i - E(t)]$, t) участка кривой по формуле (7) дает $C_k \approx 0,53 \cdot 10^{-10}$ Ф.

Расхождение экспериментальных и модельных значений составило около 2 % по R_i и около 12 % по C_k (табл.), что не превышает погрешности, ожидаемой для данной методики, и может быть связано с качеством контакта электрод – электролит и разбросом геометрической емкости датчика. Совпадение расчетной и экспериментальной кривых (рис. 8) подтверждает применимость предложенного критерия выбора величины токовой ступени.

Заключение

Критерием, позволяющим определить наличие или отсутствие поляризации электрохимического датчика в импульсном гальваностатическом методе, является значение предельного напряжения. При отсутствии поляризации оно равно $I \cdot R_i$, а при наличии блокирующего слоя – $I \cdot (R_i + R_f)$. Отсюда следует, что в гальваностатическом методе величину ступеньки тока необходимо подбирать так, чтобы это предельное напряжение оставалось ниже напряжения разложения твердого электролита и не вызывало его электрохимического разложения в ходе измерения. Экспериментальная проверка предложенного критерия на датчике состава $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$ при 980°C подтвердила его применимость, расчетные и экспериментальные значения R_i и C_k совпали с расхождением не более 12 %.

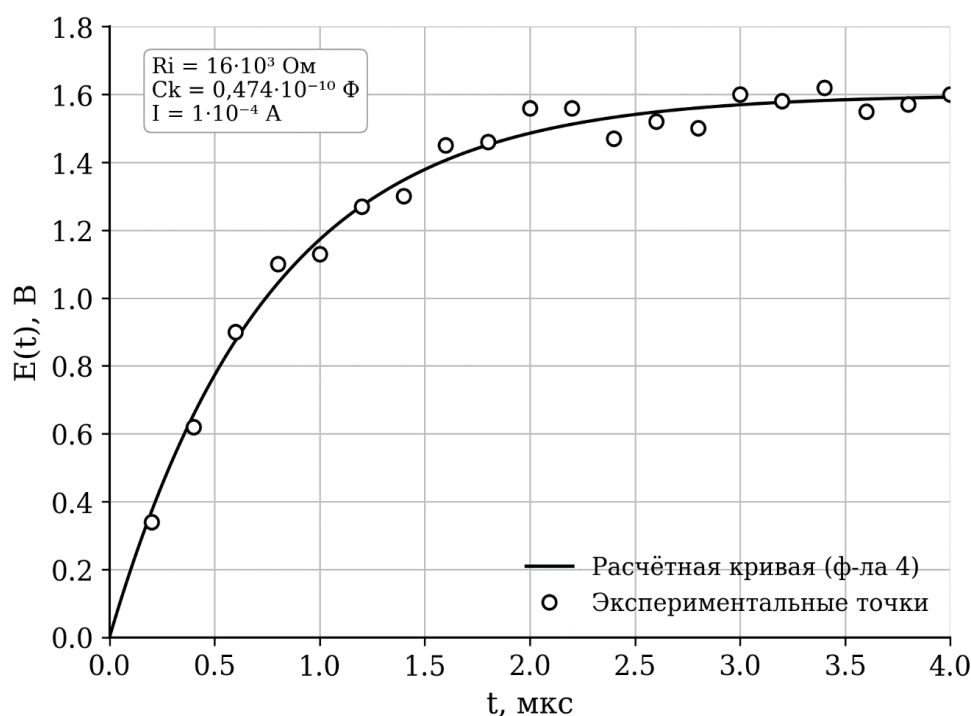


Рис. 8. Экспериментальная (точки) и расчетная (сплошная линия) гальваностатические кривые $E(t)$ для датчика на основе $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$ при температуре 980°C , $I = 1 \cdot 10^{-4}$ А

Fig. 8. Experimental (points) and calculated (solid line) galvanostatic curves $E(t)$ for the sensor based on $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$ at 980°C , $I = 1 \cdot 10^{-4}$ А

Таблица. Сопоставление модельных и экспериментальных параметров
Table. Comparison of model and experimental parameters

Параметр Parameter	Модель (рис. 5) Model (fig. 5)	Эксперимент (980°C , $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$) Experiment (980°C , $0,858 \text{ ZrO}_2 \cdot 0,142 \text{ CaO}$)	Расхождение Discrepancy
R_i , Ом	$16 \cdot 10^3$	$15,7 \cdot 10^3$	$\approx 2\%$
C_k , Ф	$0,474 \cdot 10^{-10}$	$0,53 \cdot 10^{-10}$	$\approx 12\%$
I , А	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	–

1. Гусейнов Р. М., Салпагарова З. И., Воропаева Л. В. Кинетика заряжения границы инертный электрод – твердый электролит импульсным гальваностатическим методом // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2025. Т. 19. № 3. С. 12-24. DOI: 10.31161/1995-0675-2025-19-3-12-24. EDN: CKPFND
2. Гусейнов Р. М., Кукоз Ф. И. Электронные процессы в твердых электролитах. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1986. 126 с.
3. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия: учебное пособие. 3-е изд., испр. СПб.: Лань, 2015. 670 с.
4. Гусейнов Р. М., Махмудов Х. М., Раджабов Р. А., Бахмудкадиева З. Н., Зайнутдинова З. А., Салпагарова З. И. Поведение границы, блокированный электрод – твердый электролит в гальваногармоническом режиме заряжения. Случай замедленной диффузии и адсорбции – десорбции двух разных сортов частиц // Известия высших учебных заведений. Серия химия и химическая технология. 2016. Т. 59. № 3. С. 59-64. EDN: VTFUSV
5. Невский О. И., Бурков В. М., Гришина Е. П., Гаврилова Е. Л., Балмасов А. В., Носков А. В., Донцов М. Г. Электрохимическая размерная обработка металлов и сплавов. Проблемы теории и практики. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2006. 282 с. EDN: FXGOYM
6. Чеботин В. Н., Перфильев М. В. Электрохимия твердых электролитов. М.: Химия. 1978. 312 с.
7. Гусейнов Р. М., Раджабов Р. А., Магомедов А. Г., Бахмудкадиева З. Н., Багдуев Г. Б. Поведение границы блокированный электрод – твердый электролит в гальваногармоническом режиме заряжения // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2013. № 2(23). С. 28-32. EDN: RUXBAD
8. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов: в 2 т. Т. 1. М.: Наука, 1985. 416 с.
9. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. М.: Наука, 1965. 287 с.
10. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. М.: Наука, 1979. 832 с.
1. Guseynov RM, Salpagarova ZI, Voropaeva LV. Charging kinetics of the inert electrode – solidelectrolyte interface using a pulsed galvanostatic method. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2025;19(3):12-24. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2025-19-3-12-24. EDN: CKPFND
2. Guseynov RM, Kukoz FI. Electronic processes in solid electrolytes. Rostov-on-Don: Rostov University, 1986:126. (In Russ)
3. Damaskin BB, Petriy OA, Tsirlina GA. Electrochemistry: A textbook. 3rd ed., revised. St. Petersburg: Lan, 2015:670. (In Russ)
4. Guseinov RM, Makhmudov KhM, Radzhabov RA, Bakhmudkadiyeva ZN, et al. Behavior of the blocked electrode – solid electrolyte boundary in the galvanoharmonic charging regime. The Case of slowdiffusion and adsorption – desorption of two different types of particles. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2016;59(3):59-64. (In Russ). EDN: VTFUSV
5. Nevsky OI, Burkov VM, Grishina EP, GavriloVA EL, et al. electrochemical dimensional machining of metals and alloys: theoretical and practical issues. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 2006:282. (In Russ). EDN: FXGOYM
6. Chebotin VN, Perfiliev MV. Electrochemistry of solid electrolytes. Moscow: Khimiya, 1978:312. (In Russ)
7. Guseynov RM, Radjabov RA, Magomedov AG, Bakhmudkadiyeva ZN, et al. Behavior of the blocked electrode – solid electrolyte interface in the galvanoharmonic charging mode. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2013(2(23):28-32. (In Russ). EDN: RUXBAD
8. Piskunov NS. Differential and integral calculus for technical universities: in 2 vols. Vol. 1. Moscow: Nauka, 1985.:416. (In Russ)
9. Dech G. Guide to the practical application of the Laplace transform. Moscow: Nauka, 1965:287. (In Russ)
10. Abramowitz M, Stigan I. Handbook of special functions with formulas, graphs and mathematical tables. Moscow: Nauka, 1979:832. (In Russ)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Салпагарова Зулфия Исмаиловна, кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии, естественно-географический факультет, Карачаево-Черкесский государственный университет им. У. Д. Алиева, Карачаевск, Россия, salpagarova.zulfiya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5864-1844>

Лайпанов Мурат Занарустумович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, физико-математический факультет, Карачаево-Черкесский государственный университет им. У. Д. Алиева, Карачаевск, Россия, lamur80@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9604-7172>

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.03.2026
Одобрена после рецензирования 25.05.2026
Принята к публикации 23.06.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Zulfiya I. Salpagarova, Ph.D. (Chemistry), Associate Professor, Department of Biology and Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Geography, Umar Aliyev Karachay-Cherkess State University, Karachaevesk, Russia, salpagarova.zulfiya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5864-1844>

Murat Z. Laypanov, Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Physics and Mathematics, Umar Aliyev Karachay-Cherkess State University, Karachaevesk, Russia, lamur80@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9604-7172>

Contribution of the authors

All authors made equivalent contributions to the publication.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 15.03.2026
Approved after reviewing 25.05.2026
Accepted for publication 23.06.2026

Химические науки / Chemical Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 544.723.2
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-32-39
EDN: WFOFZO

Компьютерное квантово-химическое моделирование термодинамики адсорбции метана на В-, N- и O-монопированном циркумкоронене

© 2026 Султанов Ю. М.¹, Рамазанова С. М.¹,
Кадиев М. В.², Сулейманов С. И.^{✉2}

¹Дагестанский государственный технический университет
Махачкала, Россия, yusultanov@mail.ru, sefinatr@bk.ru

²Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Махачкала, Россия, s.sagim.i@ya.ru[✉], k.mahmud@yandex.ru

РЕЗЮМЕ. В работе представлена разработка имитационных компьютерных моделей для оценки перспективных адсорбционных материалов на основе графеновых наноструктур. **Целью** работы было комплексное исследование термодинамики адсорбции метана на поверхности чистого и монопированного (O, N, B) циркумкоронена в рамках вычислительного эксперимента и оценка энергетического и энтропийного вклада. **Методы.** Исследование проведено с применением современной технологии математического моделирования (квантово-химический метод r²SCAN-3c). **Результаты.** Расчеты показали, что допирование гетероатомами усиливает взаимодействие метана с поверхностью, причем наибольший эффект наблюдается в случае допирования азотом, однако термодинамическая выгодность процесса определяется балансом энергетического и энтропийного вкладов. Установлено, что более сильная адсорбция на допированных структурах сопровождается значительным уменьшением энтропии, что в итоге делает процесс менее выгодным по энергии Гиббса по сравнению с недопированным аналогом. **Выводы.** Результаты подчеркивают важность учета энтропийного вклада при проектировании материалов на основе допированных графеновых наноструктур.

Ключевые слова: адсорбция метана, допирование азотом, допирование бором, допирование кислородом, циркумкоронен, вычислительный эксперимент.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-13-20087).

Формат цитирования: Султанов Ю. М., Рамазанова С. М., Кадиев М. В., Сулейманов С. И. Компьютерное квантово-химическое моделирование термодинамики адсорбции метана на В-, N- и O-монопированном циркумкоронене // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 32-39. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-32-39. EDN: WFOFZO

Computer Quantum Chemical Modeling of Methane Adsorption Thermodynamics on B-, N- and O-Monodoped Circumcoronene

© 2026 Yusuf M. Sultanov¹, Sefinat M. Ramazanov¹,
Makhmud V. Kadiev², Sagim I. Suleymanov^{✉2}

¹Dagestan State Technical University
Makhachkala, Russia, yusultanov@mail.ru, sefinatr@bk.ru

²Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
Makhachkala, Russia, s.sagim.i@ya.ru[✉], k.mahmud@yandex.ru

ABSTRACT. The paper presents the development of simulation computer models for assessing promising adsorption materials based on graphene nanostructures. The **aim** of the work was to conduct a comprehensive study of the thermodynamics of methane adsorption on the surface of pure and monodoped (O, N, B) circumcoronene within the framework of a computational experiment and to assess the energy and entropy contributions. **Methods.** The study was conducted using modern mathematical modeling technology (the quantum-chemical r^2 SCAN-3c method). **Results.** Calculations have shown that doping with heteroatoms enhances the interaction of methane with the surface, with the greatest effect observed in the case of nitrogen doping. However, the thermodynamic favorability of the process is determined by the balance of energy and entropy contributions. It has been established that stronger adsorption on doped structures is accompanied by a significant decrease in entropy, which ultimately makes the process less favorable in terms of Gibbs energy compared to the undoped counterpart. **Conclusions.** The results emphasize the importance of taking into account the entropic contribution when designing materials based on doped graphene nanostructures.

Keywords: methane adsorption, nitrogen doping, boron doping, oxygen doping, circumcoronene, computational experiment.

Acknowledgments

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 25-13-20087).

For citation: Sultanov YuM, Ramazanova SM, Kadiyev MV, Suleymanov SI. Computer Quantum Chemical Modeling of Methane Adsorption Thermodynamics on B-, N- and O-Monodoped Circumcoronene. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):32-39. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-32-39. EDN: WFOFZO

Введение

Повышение эффективности адсорбции метана (CH_4) остается фундаментальной задачей при разработке высокочувствительных сенсоров и энергоэффективных систем хранения газа. В качестве перспективных адсорбентов выступают наноструктуры на основе графена, в частности графеновые квантовые точки (GQDs) и их полициклические ароматические аналоги, такие как циркумкоронен ($\text{C}_{54}\text{H}_{18}$). Однако поверхность идеального (бездефектного) графена химически инертна. Взаимодействие с молекулами осуществляется преимущественно за счет слабых сил Ван-дер-Ваальса, что обуславливает низкую энергию адсорбции (порядка 10-15 кДж/моль) и затрудняет работу сенсоров при комнатной температуре [1; 2].

Эффективной стратегией модификации адсорбционных свойств является химическое допирование, при котором в углеродную решетку встраиваются гетероатомы. Наиболее изученными донорно-акцепторными парами допирования являются азот (N) и бор (B). Как показывают исследования, N-допирование создает в решетке локальные зарядовые неоднородности («активные центры»), усиливая взаимодействие с неполярными молекулами метана. В свою очередь, B-допирование, выступая в роли акцептора электронов, модифицирует электронную структуру материала, что также способствует увеличению энергии адсорбции [3; 4].

В данной работе проведено комплексное исследование научной проблемы повышения адсорбционной емкости с применением современного квантово-химического композиционного метода r^2 SCAN-3c [5]. Исследована термодинамика адсорбции метана на недопированном (чистом) и O-, N- и B-монопированном циркумкоронене – компактной полициклической ароматической молекуле, рассматриваемой в качестве модельной системы для GQDs [6].

Материал и методы исследования

Квантово-химические расчеты термодинамических параметров молекулярных структур CH_4 , $\text{C}_{54}\text{H}_{18}$ (циркумкоронен), $\text{C}_{53}\text{BH}_{18}$ (B-монопированный циркумкоронен), $\text{C}_{53}\text{NH}_{18}$ (N-монопированный циркумкоронен) и $\text{C}_{53}\text{OH}_{18}$ (O-монопированный циркумкоронен) выполнены с использованием метода r^2 SCAN-3c [5]. Углеродные структуры моделировались в приближении конденсированной фазы.

Для газообразного CH_4 расчеты проведены в приближении идеального газа при стандартных условиях с учетом вклада поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы. Исследуемые углеродные структуры (до и после адсорбции) рассматривались в приближении конденсированной фазы, в силу этого их термодинамические параметры были рассчитаны без учета поступательных и вращательных степеней свободы. Вычис-

лительный эксперимент включал расчет полной внутренней энергии (E), энтропийной энергии ($T \cdot S$) и энергии Гиббса (G) по формулам (1-3).

Полная внутренняя энергия (E):

$$E = E_{el} + E_{ZPE} + E_{vib}, \quad (1)$$

где: E_{el} – полная электронная энергия, полученная из расчета электронной структуры методом $r^2SCAN-3c$; E_{ZPE} – энергия нулевых колебаний, учитывающая квантовые колебательные эффекты при $T = 0$ K, рассчитанная методом $r^2SCAN-3c$; E_{vib} – поправка к колебательной энергии при конечной температуре, учитывающая заселенность возбужденных колебательных состояний, рассчитанная методом $r^2SCAN-3c$.

Энтропийная энергия ($T \cdot S$):

$$T \cdot S = T \cdot S_{el} + T \cdot S_{vib}, \quad (2)$$

где: S_{el} – электронная энтропия; S_{vib} – колебательная энтропия (определяемая заселенностью колебательных уровней). Обе величины рассчитаны методом $r^2SCAN-3c$.

Поскольку графеновые структуры (до и после адсорбции) моделируются в конденсированном состоянии, их энтальпия (H) приближенно равна внутренней энергии (E). Поэтому энергия Гиббса рассчитывалась по формуле:

$$G = E - T \cdot S \quad (3)$$

Все расчеты проводились в программе ORCA 6.1.0 [7; 8]. Визуализацию структур осуществляли с помощью программы ChemCraft 1.8 [9]. Исходные геометрии всех структур были построены и предварительно оптимизированы в вакууме с использованием силового поля MMFF94 [10] в программе Avogadro [11]. На заключительном этапе расчетов для всех полученных структур методом $r^2SCAN-3c$ [5] был выполнен расчет частот колебательных мод в гармоническом приближении [12]. Частотный анализ подтвердил отсутствие мнимых частот, что свидетельствует о нахождении систем в минимумах на поверхности потенциальной энергии и подтверждает стабильность исследуемых структур. Атомные заряды по Левдину [13] были также рассчитаны композиционным методом $r^2SCAN-3c$ [5].

Термодинамические параметры адсорбции CH_4 на графеновых поверхностях ($C_{54}H_{18}$, $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}NH_{18}$ и $C_{53}OH_{18}$) были определены на основе полученных расчетных данных для индивидуальных молекулярных структур по формуле:

$$\Delta G = G_{GQD+g} - G_{GQD} - G_g, \quad (4)$$

где: $G = E, T \cdot S, G$; $GQD = C_{54}H_{18}$, $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}NH_{18}$, $C_{53}OH_{18}$; $g = CH_4$.

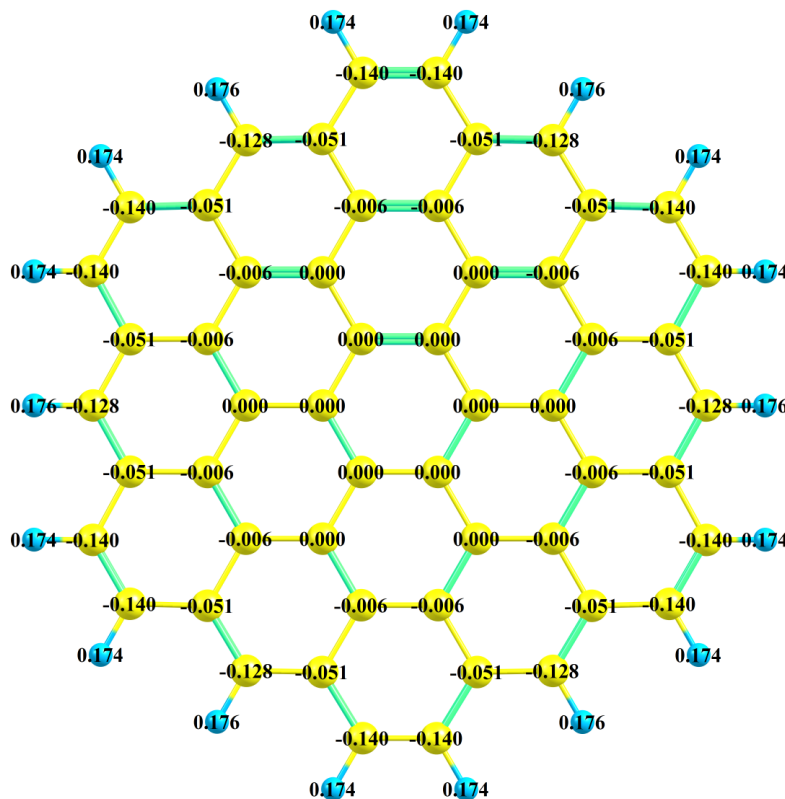


Рис. 1. Атомные заряды недопированного циркумкоронена $C_{54}H_{18}$

Fig. 1. Atomic charges of undoped circumcoronene $C_{54}H_{18}$

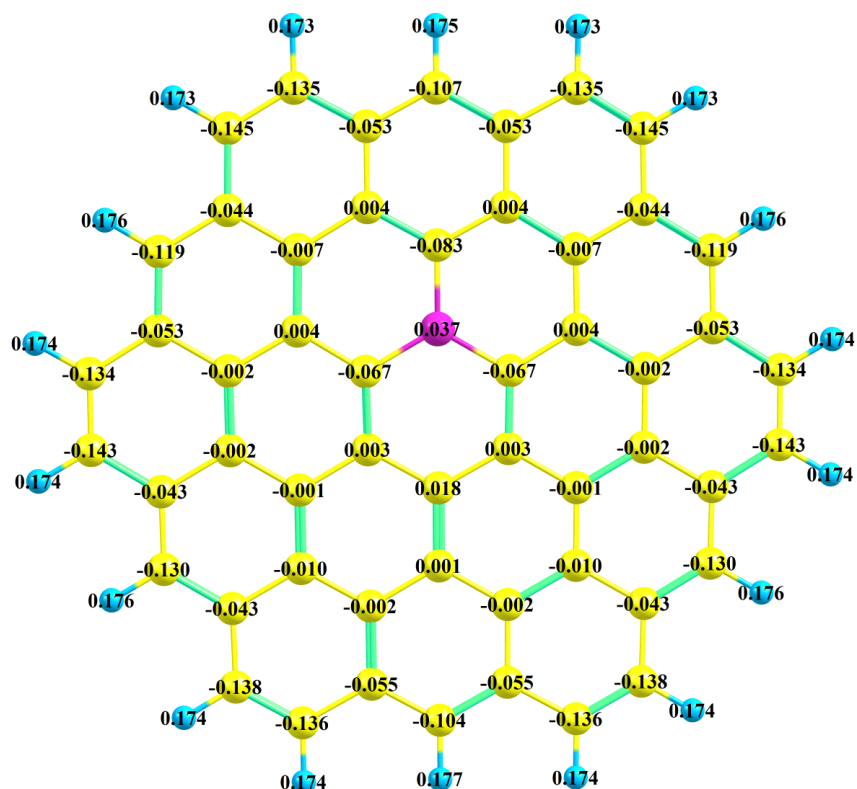


Рис. 2. Атомные заряды В-допированного циркумкоронена $C_{53}BH_{18}$
 Fig. 2. Atomic charges of B-doped circumcoronene $C_{53}BH_{18}$

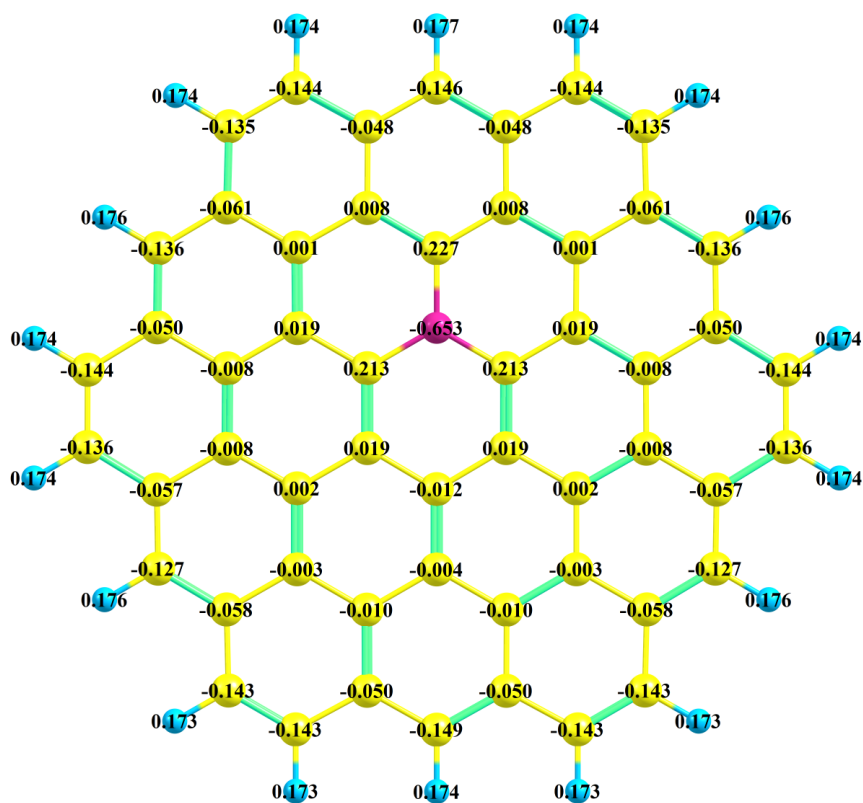


Рис. 3. Атомные заряды N-допированного циркумкоронена $C_{53}NH_{18}$
 Fig. 3. Atomic charges of N-doped circumcoronene $C_{53}NH_{18}$

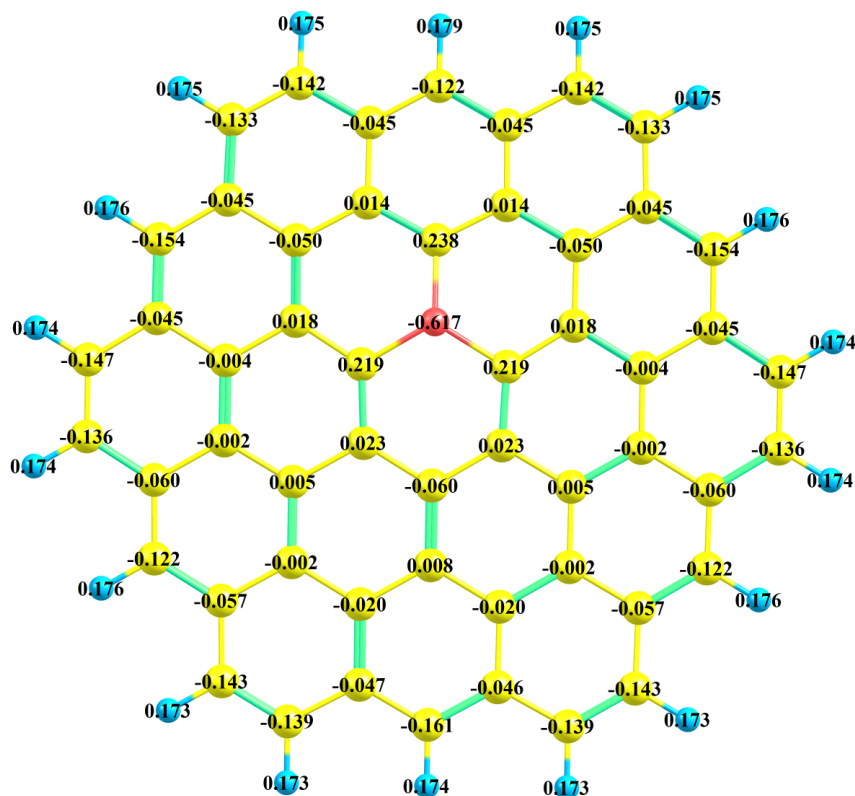


Рис. 4. Атомные заряды О-допированного циркумкоронена $C_{53}OH_{18}$

Fig. 4. Atomic charges of O-doped circumcoronene $C_{53}OH_{18}$

Результаты и их обсуждение

На рисунках 1-4 приведены атомные заряды, рассчитанные методом $r^2SCAN-3c$ [5] в рамках популяционного анализа по Левдину [13] для недопированного, а также В-, N- и О-монопированного циркумкоронена.

Отрицательные заряды на атомах азота (-0,653) и кислорода (-0,617), а также положительный заряд на атоме бора (+0,037) служат прямым количественным подтверждением формирования «активных центров». Несмотря на различную электронную природу допантов (избыток электронной плотности у атомов кислорода и азота и ее недостаток у атома бора), все рассмотренные варианты допирования приводят к увеличению энергии адсорбции CH_4 . Величины зарядов гетероатомов уменьшаются в ряду $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}OH_{18}$ и $C_{53}NH_{18}$.

Наибольший по модулю отрицательный заряд наблюдается на атоме азота (-

0,653), тогда как на атоме кислорода он составляет -0,617. Данное отклонение от ожидаемой тенденции, обусловленной электроотрицательностью элементов ($O > N$), объясняется различием в координационном окружении допантов. Если атом азота реализует стандартное для графеноподобной 2D-решетки трехцентровое окружение, то атом кислорода, замещая атом углерода в плоскости, также вынужден формировать три связи. Такое нестандартное трехкоординированное состояние кислорода, в сочетании с особенностями разложения волновой функции в методе Левдина [13], приводит к специфическому перераспределению электронной плотности, снижающему величину эффективного заряда на гетероатоме по сравнению с азотистым аналогом.

В таблице представлены термодинамические параметры адсорбции метана на $C_{54}H_{18}$, $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}NH_{18}$ и $C_{53}OH_{18}$.

**Таблица. Термодинамические параметры
адсорбции метана на $C_{54}H_{18}$, $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}NH_{18}$ и $C_{53}OH_{18}$**
*Table. Thermodynamic parameters
of methane adsorption on $C_{54}H_{18}$, $C_{53}BH_{18}$, $C_{53}NH_{18}$ и $C_{53}OH_{18}$*

Структуры Structures	ΔE , кДж/моль ΔE , kJ/mol	$T \cdot \Delta S$, кДж/моль $T \cdot \Delta S$, kJ/mol	ΔG , кДж/моль ΔG , kJ/mol
$C_{54}H_{18}+CH_4$	-8,684	-25,648	16,964
$C_{53}BH_{18}+CH_4$	-4,667	-29,655	24,988
$C_{53}NH_{18}+CH_4$	-10,335	-28,470	18,135
$C_{53}OH_{18}+CH_4$	-6,184	-31,362	25,178

Во всех 4-х случаях процесс адсорбции является самопроизвольным при стандартных условиях, о чем свидетельствуют положительные значения изменения энергии Гиббса ($\Delta G > 0$).

Сравнительный анализ энергии адсорбции (ΔE) показывает, что допирование оказывает заметное влияние на энергию связи метана с поверхностью GQDs. Наиболее сильное экзотермическое взаимодействие наблюдается для N-допированного циркумкоронена ($C_{53}NH_{18}$). Это значение примерно в 1,2 раза выше, чем у недопированной системы ($C_{54}H_{18}$). О- и В-допированные системы ($C_{53}OH_{18}$ и $C_{53}BH_{18}$) демонстрируют более низкие значения по сравнению с $C_{54}H_{18}$. Данный результат подтверждает, что введение гетероатомов создает более благоприятные центры для адсорбции, причем в рамках использованной модели азот оказывается более эффективной примесью для усиления взаимодействия с метаном, чем бор и кислород.

Однако анализ энтропийного вклада ($T \cdot \Delta S$) вносит важное уточнение. Адсорбция на допированных структурах, особенно на $C_{53}OH_{18}$, сопровождается значительной большей потерей энтропии (-31,362 кДж/моль против -25,648 кДж/моль для недопированной системы). Это указывает на большую потерю степеней свободы молекулой метана при ее связывании с активными центрами, созданными гетероатомами, что, вероятно, связано с

более жесткой и специфической фиксацией молекулы.

В итоге существенный отрицательный вклад энтропийного члена является определяющим для изменения энергии Гиббса (ΔG). Несмотря на более выгодную энергию связи, именно большая потеря энтропии приводит к тому, что ΔG для допированных систем оказывается даже выше, чем для недопированной.

Заключение

Проведенное компьютерное квантово-химическое моделирование демонстрирует двоякий эффект от допирования. С одной стороны, гетероатомы (особенно азот) усиливают энергию взаимодействия метана с поверхностью, что является желательным эффектом, например, для сенсоров. С другой стороны, это усиление связи приводит к большим ограничениям в движении адсорбированной молекулы метана, что выражается в сильном отрицательном энтропийном факторе. В результате с термодинамической точки зрения при стандартных условиях адсорбция на допированных структурах оказывается менее выгодной, чем на недопированной. Это важное наблюдение указывает на то, что для практического применения таких материалов в сенсорах или системах хранения необходимо оптимизировать внешние условия (например, давление), чтобы компенсировать неблагоприятный энтропийный вклад и использовать выгоду от повышенной энергии адсорбции.

Список источников

1. Anithaa VS, Shankar R, Subramaniam V. DFT-based investigation on adsorption of methane on pristine and defected graphene. *Structural Chemistry*. 2017;28(6):1935-1952.
2. Lawal R, Hossain MM. CO₂ Adsorption using graphene-based materials: a review. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2025;50(6):3699-3715.

References

1. Anithaa VS, Shankar R, Subramaniam V. DFT-based investigation on adsorption of methane on pristine and defected graphene. *Structural Chemistry*. 2017;28(6):1935-1952.
2. Lawal R, Hossain MM. CO₂ Adsorption using graphene-based materials: a review. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2025;50(6):3699-3715.

3. Zhao L, Zou Y, She Y, Kouet C, et al. Enhanced adsorption of CO on B, N, Ni co-doped graphene: a first-principles study. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2025;189:109307. DOI:10.2139/ssrn.5020933

4. Bhuiya M, Kumar S, Kumar A, Agnihotri N. Nitrogen-doped graphene quantum dots for efficient detection of toxic gas. *Journal of Electronic Materials*. 2024;53(7):3569-3581.

5. Grimme S, Hansen A, Ehlert S, Mewes J. r²SCAN-3c: A "Swiss army knife" composite electronic-structure method. *The Journal of Chemical Physics*. 2021;154(6):064103. DOI: 10.1063/5.0040021

6. Rano NA, Martsinovich N. Stability of sp³ carbons in hydrogenated graphene quantum dots and their electronic and optical properties studied using density functional theory. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2025;129(17):3790-3806. DOI: 10.1021/acs.jpca.4c07825

7. Neese F, Wennmohs F, Becker U, Riplinger C. The ORCA quantum chemistry program package. *The Journal of Chemical Physics*. 2020;152(22):224108. DOI: 10.1063/5.0004608

8. Neese F. The ORCA program system. *WIREs Computational Molecular Science*. 2011;2(1):73-78. DOI: 10.1002/wcms.81

9. Chemcraft – graphical software for visualization of quantum chemistry computations. Version 1.8, build 682. URL: <https://www.chemcraftprog.com> (accessed 12.03.2026).

10. Halgren TA. Merck molecular force field. I. Basis, form, scope, parameterization, and performance of MMFF94. *Journal of Computational Chemistry*. 1996;17(5-6):490-519.

11. Hanwell MD, Curtis DE, Lonie DC, Vandermeersch T, et al. Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *Journal of Cheminformatics*. 2012;4(1):1-17. DOI:10.1186/1758-2946-4-17

12. Schlegel HB. Geometry optimization. *WIREs Computational Molecular Science*. 2011;1(5):790-809. DOI: 10.1002/wcms.34

13. Löwdin PO. On the non-orthogonality problem connected with the use of atomic wave functions in the theory of molecules and crystals. *The Journal of Chemical Physics*. 1950;18(3):365-375. DOI: 10.1063/1.1747632

3. Zhao L, Zou Y, She Y, Kouet C, et al. Enhanced adsorption of CO on B, N, Ni co-doped graphene: a first-principles study. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2025;189:109307. DOI:10.2139/ssrn.5020933

4. Bhuiya M, Kumar S, Kumar A, Agnihotri N. Nitrogen-doped graphene quantum dots for efficient detection of toxic gas. *Journal of Electronic Materials*. 2024;53(7):3569-3581.

5. Grimme S, Hansen A, Ehlert S, Mewes J. r²SCAN-3c: A "Swiss army knife" composite electronic-structure method. *The Journal of Chemical Physics*. 2021;154(6):064103. DOI: 10.1063/5.0040021

6. Rano NA, Martsinovich N. Stability of sp³ carbons in hydrogenated graphene quantum dots and their electronic and optical properties studied using density functional theory. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2025;129(17):3790-3806. DOI: 10.1021/acs.jpca.4c07825

7. Neese F, Wennmohs F, Becker U, Riplinger C. The ORCA quantum chemistry program package. *The Journal of Chemical Physics*. 2020;152(22):224108. DOI: 10.1063/5.0004608

8. Neese F. The ORCA program system. *WIREs Computational Molecular Science*. 2011;2(1):73-78. DOI: 10.1002/wcms.81

9. Chemcraft – graphical software for visualization of quantum chemistry computations. Version 1.8, build 682. URL: <https://www.chemcraftprog.com> (accessed 12.03.2026).

10. Halgren TA. Merck molecular force field. I. Basis, form, scope, parameterization, and performance of MMFF94. *Journal of Computational Chemistry*. 1996;17(5-6):490-519.

11. Hanwell MD, Curtis DE, Lonie DC, Vandermeersch T, et al. Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *Journal of Cheminformatics*. 2012;4(1):1-17. DOI:10.1186/1758-2946-4-17

12. Schlegel HB. Geometry optimization. *WIREs Computational Molecular Science*. 2011;1(5):790-809. DOI: 10.1002/wcms.34

13. Löwdin PO. On the non-orthogonality problem connected with the use of atomic wave functions in the theory of molecules and crystals. *The Journal of Chemical Physics*. 1950;18(3):365-375. DOI: 10.1063/1.1747632

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Султанов Юсуф Магомед-Агаевич, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры химии, Дагестанский государственный технический университет, yusultanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6507-6374>

Рамазанова Сефинат Мухтаровна, аспирантка кафедры химии, Дагестанский государственный

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Yusuf M. Sultanov, Doctor of Science (Chemistry), Associate Professor, Professor of the Department of Chemistry, Dagestan State Technical University, yusultanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6507-6374>

Sefinat M. Ramazanova, Ph.D. Student, Department of Chemistry, Dagestan State Technical Uni-

технический университет, sefinatr@bk.ru,
<https://orcid.org/0009-0005-6294-6277>

Кадиев Махмуд Витальевич, инженер-исследователь аналитического центра коллективного пользования, Институт физики им. Х. И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, k.mahmud@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6191-1495>

Сулейманов Сагим Икрамович, старший научный сотрудник аналитического центра коллективного пользования, Институт физики им. Х. И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, s.sagim.i@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6191-1495>

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.04.2026
Одобрена после рецензирования 26.05.2026
Принята к публикации 09.06.2026

versity, sefinatr@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6294-6277>

Makhmud V. Kadiev, Research Engineer, Analytical Centre for Collective Use, Amirkhanov Institute of Physics, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, k.mahmud@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6191-1495>

Sagim I. Suleymanov, Senior Researcher, Analytical Center for Collective Use, Amirkhanov Institute of Physics, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, s.sagim.i@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6191-1495>

Contribution of the authors

Authors made equivalent contributions to the publication.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 10.04.2026
Approved after reviewing 26.05.2026
Accepted for publication 09.06.2026

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Науки о Земле / Earth Science

Оригинальная статья / Original Article

УДК: 911.2

DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-40-49

EDN: XMDALW

Первый учебник географии Дагестана: научное наследие Б. Ф. Добрынина спустя столетие

© 2026 Атаев З. В. ✉

Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова,
Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Махачкала, Россия, zagir05@mail.ru

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Нальчик, Россия, zagir05@mail.ru ✉

Резюме. Цель – раскрыть научное, учебно-методическое и историко-географическое значение первого учебника географии Дагестана Б. Ф. Добрынина как опыта регионального географического синтеза. **Методы.** Источниковедческий и историко-географический анализ текста, сопоставление структуры книги и схем районирования. **Результаты.** Установлено, что региональный синтез опирается на взаимосвязь природных компонентов, сочетание высотной и поперечной дифференциации, объяснение размещения хозяйства. Сопоставлены схемы из 24 естественных и 11 земледельческих районов. Рассмотрены связи между состоянием горных лесов, водным режимом и земледелием прилегающих территорий. Уточнены ограничения использования исторической статистики. **Выводы.** Пособие представляет ранний опыт применения ландшафтного подхода в региональном учебном курсе; его современная ценность связана с принципами комплексного анализа территории и критического использования источников.

Ключевые слова: Б. Ф. Добрынин, география Дагестана, история географии, ландшафтное районирование, региональный синтез, природопользование, географическое краеведение.

Формат цитирования: Атаев З. В. Первый учебник географии Дагестана: научное наследие Б. Ф. Добрынина спустя столетие // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 40-49. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-40-49. EDN: XMDALW

The First Textbook on the Geography of Dagestan: B. F. Dobrynin's Scientific Legacy a Century Later

© 2026 Zagir V. Ataev ✉

Gamzatov Dagestan State Pedagogical University,
Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
Makhachkala, Russia, zagir05@mail.ru
Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Nalchik, Russia, zagir05@mail.ru ✉

ABSTRACT. The aim is to reveal the scientific, educational-methodological and historical-geographic significance of B. F. Dobrynin's first geography textbook on Dagestan as an example of regional geographic synthesis. **Methods.** Source-based and historical-geographic analysis of the text; comparison of the book's structure with regionalization schemes. **Results.** It was established that the regional synthesis relies on the interrelationship of natural components, a combination of altitudinal and transverse differentiation, and an explanation of economic distribution. Schemes comprising 24 natural regions and 11 agricultural regions were compared. The interconnections between the state of mountain forests, the water regime and agriculture in adjacent territories were examined. Limitations regarding the use of historical statistics were clarified. **Conclusions.** The textbook represents an early instance of applying the landscape approach within a regional educational course; its contemporary value lies in the principles of comprehensive territorial analysis and the critical use of sources.

Keywords: B. F. Dobrynin, geography of Dagestan, history of geography, landscape regionalization, regional synthesis, nature management, regional geographic studies.

For citation: Ataev ZV. The First Textbook on the Geography of Dagestan: B. F. Dobrynin's Scientific Legacy a Century Later. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences.* 2026;20(2):40-49. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-40-49. EDN: XMDALW

Введение

В 2026 г. исполняется 100 лет со времени выхода книги Б. Ф. Добрынина «География Дагестанской Социалистической Советской Республики», изданной Дагестанским государственным издательством и отпечатанной в Буйнакске [1]. На об-

ложке обозначена принадлежность издания к Наркомпросу ДССР, на титульном листе приведены имя автора и полное название труда (рис. 1). В истории географического образования республики книга известна как первый специальный учебник по географии Дагестана [2; 3].

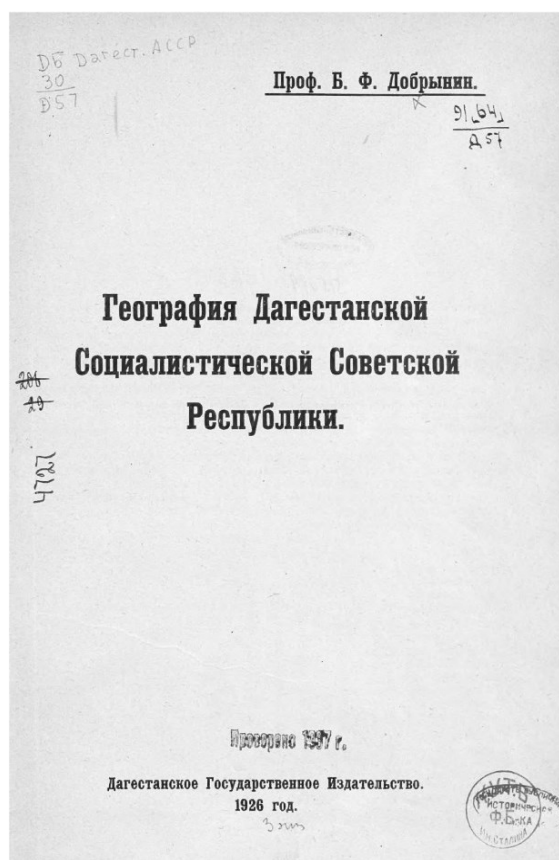
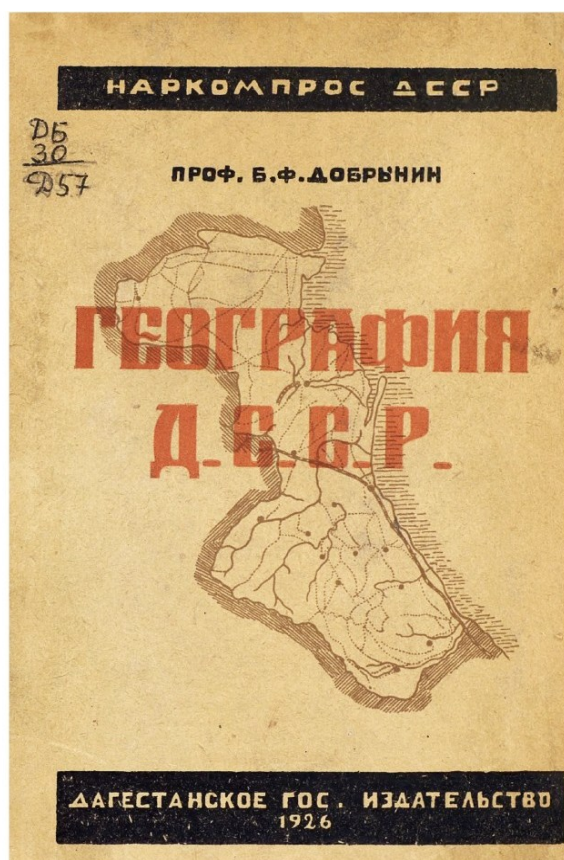


Рис. 1. Обложка и титульный лист книги Б. Ф. Добрынина «География Дагестанской Социалистической Советской Республики» (1926) [1]

Fig. 1. Cover and title page of B. F. Dobrynin's Geography of the Dagestan Socialist Soviet Republic (1926) [1]

Научная проблема состоит в определении характера географического обобщения, положенного в основу этого учебного курса. Совместное изложение сведений о природе, населении и хозяйстве само по себе еще не доказывает их синтеза. Необходимо установить, каким образом автор связывал природные компоненты, выделял территориальные различия и использовал их для объяснения расселения и хозяйственной деятельности.

В предисловии Б. Ф. Добрынин определил книгу как руководство для дагестанской трудовой школы, необходимое одновременно ученику и учителю. Краеведение, изучение природных ресурсов и способов их хозяйственного использования, познание ландшафтов и районирование составляют единую авторскую программу [1, с. 5]. Поэтому юбилейное обращение к книге позволяет рассмотреть не только историю учебного издания, но и способы построения регионального географического знания в 1920-е гг.

В прежних публикациях был охарактеризован вклад Б. Ф. Добрынина в изучение ландшафтов Дагестана и показано место пособия в его научной биографии [2; 3]. В настоящей работе внимание сосредоточено на внутренней логике книги 1926 г., соотношении ее естественного и земельного районирования, а также на условиях использования содержащихся в ней исторических сведений. Такой ракурс дополняет биографическое рассмотрение наследия ученого анализом конкретного научно-учебного труда.

Цель исследования – раскрыть научное, учебно-методическое и историко-географическое значение первого учебника географии Дагестана Б. Ф. Добрынина как опыта регионального географического синтеза. Для этого рассматриваются структура пособия, принципы районирования, природно-хозяйственные связи и источниковедческие ограничения его современного использования.

Материал и методы исследования

Основной источник – текст и картографические материалы издания 1926 г. [1]. Номера страниц в ссылках соответствуют печатной пагинации книги. Проанализированы предисловие и оглавление, разделы о естественных районах, водном хозяйстве, почвах, растительности, насе-

лении, земледелии, животноводстве, промышленности и путях сообщения. Иллюстрации воспроизводятся факсимильно; их исторические надписи сохранены.

Источниковедческий анализ применялся для разграничения авторского текста, издательских примечаний и приведенных статистических данных. Историко-географический подход позволил рассмотреть сведения в границах и хозяйственных условиях описываемого времени. Структурно-сопоставительный анализ использован для выявления связи между последовательностью разделов книги и схемами территориального деления. Число районов подсчитано по нумерованным перечням естественных районов на с. 59-63 и земельных районов на с. 81-82.

Региональный географический синтез в данной статье понимается как объяснение территориальной организации природы, населения и хозяйства через их взаимосвязи. Его признаками приняты: рассмотрение природных компонентов в сочетании; выделение районов по совокупности признаков; объяснение территориальных различий хозяйства; выявление связей между разными частями региона. Эта аналитическая схема используется для интерпретации текста и не приписывается Б. Ф. Добрынину как сформулированная им система критериев.

Исторические наименования воспроизводятся в кавычках при первом употреблении и сопровождаются пояснениями, если их значение отличается от современного. Термины «региональный синтез» и «природно-хозяйственные связи» относятся к языку настоящего исследования. Авторские понятия «ландшафт», «ландшафтная зона» и «естественный район» рассматриваются в контексте книги, без отождествления с позднейшими таксономическими системами ландшафтоведения.

Результаты и их обсуждение

Научные предпосылки и замысел учебного курса

Подготовке пособия предшествовали полевые исследования Б. Ф. Добрынина в Дагестане. Материалы маршрутов 1916 г. получили отражение в работах «Горный Дагестан и элементы его ландшафтов» и «Сулакский каньон в Дагестане», опубликованных в 1917 г. [4; 5]. В 1920-е гг. исследователь перешел к более широким

ландшафтным обобщениям. В 1924 г. вышли «Ландшафты Дагестана», в 1925 г. – «Ландшафтные (естественные) районы и растительность Дагестана» [6; 7]. Издание этой работы появилось также в Махачкале в 1927 г. [8]. Книга 1926 г. занимает в этой последовательности место учебного обобщения накопленного регионального материала.

Предисловие позволяет установить, как сам автор оценивал обеспеченность курса исходными данными. Он отмечал малую изученность края и незавершенность обследований, проводившихся при участии республиканских учреждений. Особенно осторожно Б. Ф. Добрынин относился к экономической статистике: недостаточность и ненадежность части сведений заставили его отказаться от количественного представления хозяйственной динамики и составления экономических диаграмм [1, с. 5]. Это ограничение принципиально для последующего использования книги: ее цифры имеют разную временную и методическую основу.

Педагогический замысел также сформулирован определенно. Руководство должно было дать учащемуся материал и приемы для исследовательской проработки курса, хотя бы частичной [1, с. 5]. Оценивать эту установку следует как авторскую программу обучения. Научно-методическое значение книги устанавливается здесь по содержанию и организации учебного материала.

Структура книги и картографический способ объяснения территории

Пособие последовательно рассматривает географическое положение, рельеф и геологическое строение, полезные ископаемые, климат, реки, почвы, растительность и животный мир. За ними следует раздел о естественных районах, затем – главы о населении, истории, сельском хозяйстве, промыслах, промышленности, административном делении и путях сообщения [1, оглавление]. Природный блок завершает территориальное обобщение, которое используется далее при характеристике хозяйства.

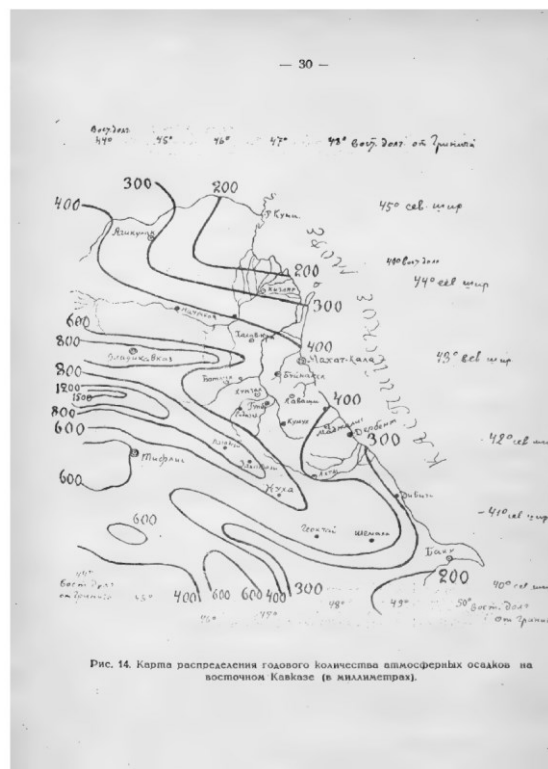
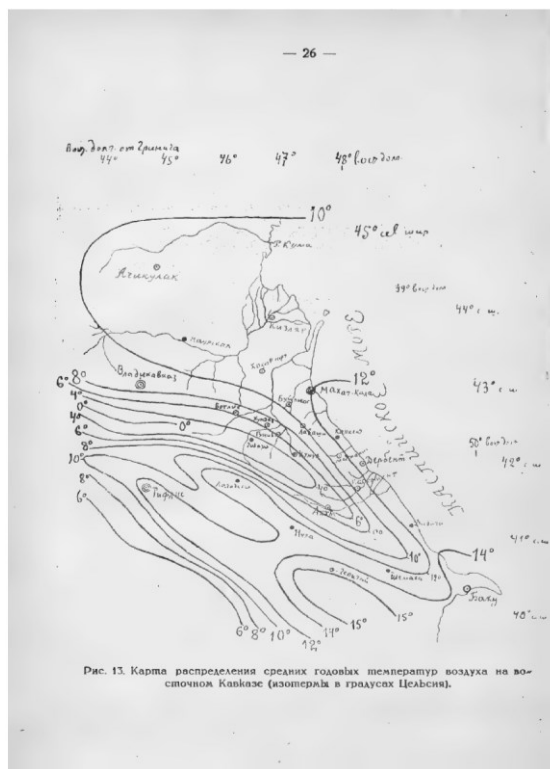


Рис. 2. Карты средних годовых температур воздуха (слева) и годового количества осадков (справа) на Восточном Кавказе. Факсимиле из пособия Б. Ф. Добрынина [1, с. 26, 30]
Fig. 2. Maps of mean annual air temperature (left) and annual precipitation (right) in the Eastern Caucasus. Facsimiles from B. F. Dobrynin's textbook [1, pp. 26, 30]

Такое построение курса существенно для понимания его комплексности. Общие сведения о природных компонентах переходят в описание устойчивых территориальных сочетаний, а природные различия становятся основанием для объяснения размещения населения, земледелия и скотоводства. При этом хозяйственные главы имеют и собственную логику: в них рассматриваются техника производства, формы использования земель, транспортные ограничения и направления развития республики.

Карты, таблицы, фотографии и геологические схемы обеспечивают переход от словесного описания к пространственному сопоставлению. В климатическом разделе приведены карты распределения средних годовых температур воздуха и годового количества осадков на Восточном Кавказе [1, с. 26, 30] (рис. 2). Они позволяют сопоставлять приморские, предгорные и горные территории, связывая различия тепла и увлажнения с положением в пределах горной страны.

Научно-историческая ценность этих карт определяется содержанием и местом в учебном курсе. Прямое использование изолиний для количественной оценки климатических изменений потребовало бы отдельного выяснения периодов осреднения, состава наблюдений, масштаба и точности картографирования. В настоящем исследовании карты рассматриваются как способ представления географических закономерностей в пособии 1926 г.

Ландшафтные основания и сочетание принципов районирования

В разделе «Естественные (ландшафтные) районы» Б. Ф. Добрынин связывает понятие географического ландшафта с сочетанием рельефа, климата, рек, почв, растительности и животного мира. Определяющим выступает их взаимное обуславливание. На природной основе размещается население, использующее ее в своей хозяйственной деятельности; различия районов проявляются также в формах быта и хозяйства [1, с. 58]. Это дает основание говорить о комплексном понимании территории, сохраняя различие между природным ландшафтом и его хозяйственным использованием.

Первоначально республика разделяется на «Собственно-Дагестан» и «Сулако-Терско-Кумскую низменность». Граница проходит приблизительно по линии Хасавюрт – Махачкала [1, с. 58]. Первое поня-

тие у Б. Ф. Добрынина охватывает не только горы, но и предгорья с приморской низменностью. Поэтому определять эту пару исключительно как противопоставление горной и равнинной частей было бы неточно.

В пределах Собственно-Дагестана выделены четыре продольные ландшафтные зоны: Приморская низменность, Предгорная, «Внутренно-Горная» и Высокогорная, или Альпийская. Предгорная зона подразделяется на нижнюю и верхнюю подзоны. Продольное деление дополняется поперечным: юго-восточная часть образует Южный, северо-западная – Центральный Дагестан. Вместе с Северным Дагестаном, соответствующим Сулако-Терско-Кумской низменности, получают три естественные области [1, с. 58-59]. На карте показана их дальнейшая дифференциация на районы (рис. 3).

Таким образом, схема объединяет два основания деления: последовательность природных условий от побережья к высокогорью и различия между южной и центральной частями горной страны. Зоны и области здесь нельзя представлять как полностью совпадающие ступени единой иерархии. Сопоставление их признаков позволяет выделить конкретные районы. В Северном Дагестане районирование связано с различиями речных низовий, песчаных пространств, солончаков, сухих степей и полупустынь [1, с. 62-63].

В книге описаны 24 естественных района: восемь в Южном, семь в Центральном и девять в Северном Дагестане [1, с. 59-63]. Район дельты Самура характеризуется через сочетание плоского рельефа, речных рукавов, почв и растительности влажных и сухих мест; Касумкентский район – через предгорные хребты, долины, сухой климат, почвы, фригану, шибляк и участки лиановых лесов [1, с. 59-60]. Для Центрального Внутренно-Горного района определяющими становятся известняковые хребты, глубоко врезанные долины, сравнительная сухость и контрасты почвенно-растительного покрова [1, с. 61]. Описания строятся по набору взаимосвязанных природных признаков.

Сопоставление разделов книги позволяет установить соотношение естественного и земледельческого районирования (табл. 1). В главе «Земледелие» Б. Ф. Добрынин выделяет 11 районов, распределяя их по тем же трем крупным областям [1, с. 81-82].



Рис. 3. Карта естественных (ландшафтных) районов ДССР из пособия Б. Ф. Добрынина. Факсимиле; исторические границы и названия сохранены [1, карта-вклейка]
Fig. 3. Map of the natural (landscape) regions of Dagestan SSR from B. F. Dobrynin's textbook. Facsimile with historical boundaries and names retained [1, inserted map]

Таблица 1. Естественные и сельскохозяйственные районы в пособии Б. Ф. Добрынина
Table 1. Natural and agricultural districts in B. F. Dobrynin's textbook

Естественная область Natural region	Количество естественных районов Number of natural districts	Количество сельскохозяйственных районов Number of agricultural districts
Южный Дагестан	8	4
Центральный Дагестан	7	4
Северный Дагестан	9	3
Всего	24	11

Примечание. Подсчет автора по перечням районов [1, с. 59-63, 81-82]. Совпадение названий областей не означает тождества границ естественных и сельскохозяйственных районов.

Note. Author's count from the district lists [1, pp. 59-63, 81-82]. Shared region names do not imply identical natural and agricultural district boundaries.

Естественное и сельскохозяйственное деление различаются дробностью и назначением. В первом случае обобщаются сочетания природных компонентов; во втором – состав культур, системы полеводства, роль орошения и особенности садоводства. Так, нижние предгорья Южного Дагестана объединены с отдельными участками Приморской низменности в один сельскохозяйственный район. Это показывает, что хозяйственное районирование не воспроизводит природную схему механически. Природные условия рассматриваются совместно со способами их использования, а общая областная основа обеспечивает сопоставимость двух описаний.

Природные ресурсы и связи между частями региона

Природно-хозяйственная направленность курса отчетливо выражена в анализе водных ресурсов. Реки рассматриваются как фактор формирования рельефа и условий обитания, источник орошения и механической энергии [1, с. 31]. Вопросы ирригации связаны с сухостью низменных и предгорных территорий, регулированием русел, строительством каналов и водохранилищ [1, с. 43-44]. Перспективы гидроэнергетики соотносятся с развитием добывающей и обрабатывающей промышленности. Приведенные в книге оценки энергетического потенциала характеризуют уровень знаний своего времени и не используются здесь как современные ресурсные показатели.

Почвенный раздел связывает изучение почв с размещением культур, удобрением и улучшением земледелия. Автор сообщает о начале их систематического исследования Дагнаркомземом в 1923 г. [1, с. 45]. В хозяйственных главах эта установка конкретизируется: предлагаются опытные поля, изучение местных сортов, совершенствование севооборотов, сельскохозяйственной техники и водного хозяйства [1, с. 88]. Пособие знакомит читателя с направлениями обследования территории и практического применения результатов.

Содержателен разбор сельскохозяйственных террас. Б. Ф. Добрынин различает естественные речные террасы и искусственно устроенные участки с опорными каменными стенками, выравниванием поверхности и переносом почвы [1, с. 85]. В этом примере природная основа и деятельность человека рассматриваются совместно: пригодность склона для земледелия опре-

деляется не только рельефом, но и накопленными приемами его преобразования. Такой анализ раскрывает содержание хозяйственной адаптации к горной среде.

При характеристике лесов ресурсная оценка дополнена рассмотрением их водорегулирующего и почвозащитного значения. Вырубка на крутых склонах и чрезмерный выпас связываются со смывом почв, ухудшением лугов, иссяканием источников и усилением неравномерности речного стока. Автор обращает внимание на ущерб сельскохозяйственным участкам не только в горах, но и в прилегающих предгорьях и низменностях [1, с. 54-56]. Тем самым показана связь состояния верхних частей территории с хозяйственными условиями нижележащих участков.

Из этого объяснения следуют предложения сохранять лесные массивы, выделять заповедные и защитные участки, проводить лесоразведение и ограничивать выпас в местах восстановления леса [1, с. 56]. Данные положения можно интерпретировать как природоохранную составляющую регионального анализа. Вместе с тем их наличие не дает оснований приписывать Б. Ф. Добрынину современные концепции экологических услуг или устойчивого развития: значение имеет установленная им связь процессов и хозяйственных последствий.

Другой вид пространственной связи раскрыт в описании сезонного использования пастбищ. Летние горные луга и зимние низменные пастбища образуют взаимодополняющую кормовую базу. В книге различаются кочевание ногайцев и сезонные перемещения горского населения, сохраняющего постоянные селения [1, с. 97-100]. Поэтому все описанные формы нельзя без уточнений объединять современным термином «кочевое скотоводство».

Маршруты перегонов связывали районы Дагестана, а часть их выходила к пастбищам Грузии и Азербайджана. Б. Ф. Добрынин рассматривал обеспеченность зимними угодьями, пути движения стад, места отдыха и кормления как общую задачу организации хозяйства [1, с. 98-102]. Здесь регион предстает не только совокупностью районов, но и пространством сезонных перемещений. Природная дифференциация объясняет необходимость этих связей, а хозяйственная практика – способы их поддержания.

В разделе о промышленности развитие переработки сельскохозяйственной продукции, добычи полезных ископаемых и гидроэнергетики рассматривается во взаимной зависимости [1, с. 116]. Эти положения придают книге прикладную направленность. Однако изложение перспектив следует отличать от количественного прогноза и от доказанного влияния книги на последующие хозяйственные решения: такие выводы потребовали бы специальных архивных исследований.

Историческая статистика и границы ее интерпретации

Демографические и хозяйственные материалы пособия неоднородны по времени составления. Это особенно заметно в разделе о населении. Основная таблица построена по данным переписи 1897 г., приведенным к границам республики времени подготовки книги. Категория «лезгины или горцы» объединяет несколько групп дагестанских народов и не совпадает с современным значением этнонима «лезгины». Аналогично обозначение «турко-татары» используется как историческая собирательная категория [1, с. 63-68].

Доли 62,59 % для первой группы, 20,19 % для второй и 10,55 % для русских приведены в исходной таблице на с. 67. Издательское примечание использует оценку Дагплана в 992 732 человека и переносит на нее прежние процентные соотношения [1, с. 67-68]. Следовательно, полученные таким способом численности групп являются расчетными оценками, а не результатами самостоятельной переписи 1926 г. Эта разница должна сохраняться при цитировании данных.

Число городских жителей – 69 889 человек – отнесено в книге к переписи 1923 г.; рядом приведены округленные доли городского и сельского населения – 8 и 92 % [1, с. 70, 122]. Эти показатели свидетельствуют о преобладании сельского населения в описании Б. Ф. Добрынина, но не образуют единого статистического среза с издательской оценкой Дагплана. Их прямое объединение в расчетах исказило бы временную основу источника.

Расселение объясняется, прежде всего, природными условиями, однако Б. Ф. Добрынин учитывает также историю, хозяйственную технику и ремесленные

навыки населения. В характеристике густо заселенных Даргинского, Лакского и Аварского округов он связывает пригодность отдельных участков для жизни и земледелия с речными террасами, почвами, водообеспеченностью, пастбищами и развитием промыслов [1, с. 69-70]. Поэтому сводить его объяснение исключительно к природной обусловленности было бы упрощением.

Административная таблица фиксирует 14 округов и районов, 61 участок, 515 сельсоветов и 1655 населенных пунктов; столицей указана Махачкала [1, с. 121]. Эти сведения относятся к исторической территории республики. При сопоставлении с современными данными необходимо предварительно согласовать границы и единицы учета. Естественные районы Б. Ф. Добрынина также не следует автоматически отождествлять с одноименными административными образованиями.

Раздел о путях сообщения характеризует значение железнодорожной магистрали Ростов – Баку и ветки Шамхал – Буйнакск, ограниченность шоссейной сети и преобладание вьючных путей во многих горных районах [1, с. 122]. В сочетании с описаниями пастбищных перегонов этот материал позволяет исследовать историческую доступность территории. Книга сохраняет сведения как о размещении ресурсов, так и о препятствиях к их использованию.

Значение пособия для географического образования и дальнейших исследований

Учебно-методическая ценность книги определяется согласованностью авторского замысла и организации материала. Последовательность от природных компонентов к районам, а затем к хозяйству дает основу для объяснения территориальных различий. Карты и региональные примеры позволяют соотносить общие положения с конкретными местностями. Критические замечания о статистике показывают читателю необходимость различать установленные сведения и приблизительные оценки.

Для современного курса географии Дагестана этот труд может использоваться как исторический источник и материал для анализа научного метода. Сопоставление естественных и земледельческих районов, разбор описаний террас и сезонных пастбищ, изучение связей горных лесов с

режимом рек позволяют проследить развитие регионального географического мышления. При таком использовании исторические классификации, названия и количественные показатели требуют пояснений; их нельзя переносить в современный учебный курс без проверки.

Перспективное направление исследований – пространственная привязка карт Б. Ф. Добрынина и сопоставление выбранных участков с позднейшими картами и полевыми описаниями. Достоверность такого сравнения будет зависеть от согласования масштабов, границ районов, содержания легенд и времени исходных наблюдений. Пособие предоставляет материал для постановки этих задач, но само по себе не доказывает характер и величину изменений ландшафтов за столетие.

Заключение

Анализ книги Б. Ф. Добрынина 1926 г. показывает, что ее значение для истории географии Дагестана определяется сочетанием учебной задачи с комплексным объяснением территории. Региональный синтез проявляется в рассмотрении взаимосвязей природных компонентов, сочетании продольной и поперечной дифференциации, использовании районирования для характеристики хозяйства и выявлении связей между горными и равнинными районами.

Сопоставление схем, включающих 24 естественных и 11 сельскохозяйственных районов, раскрывает связь природного и хозяйственного анализа при различии их задач и степени дробности. Примеры террасного земледелия, сезонного использования пастбищ и влияния горных лесов на водный режим показывают, что хозяйственная деятельность рассматривалась одновременно как приспособление к природной среде и как фактор ее изменения.

Источниковедческая ценность труда связана с сохранением сведений о ландшафтах, населении, хозяйстве и транспортной доступности Дагестана. Корректное использование этих материалов требует разграничивать авторские сведения и издательские расчеты, учитывать даты статистических данных, исторические границы и значение терминов. Эти условия определяют надежность последующих сравнений.

Столетие первого учебника дает основание вновь обратиться к заложенным в нем принципам комплексного изучения края. Сохраняют значение связь компонентного и территориального анализа, внимание к природным основаниям хозяйства и требовательность к исходным данным. Именно в этих принципах состоит научное наследие пособия, названного автором «первым опытом географии Дагестана» [1, с. 6].

Список источников

1. Добрынин Б. Ф. География Дагестанской Социалистической Советской Республики. Буйнакс: Дагестанское государственное издательство, 1926. 122 с.
2. Атаев З. В. Вклад профессора МГУ Б. Ф. Добрынина в развитие ландшафтной географии Дагестана // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2010. № 3. С. 92-96.
3. Ataev ZV. Professor Boris Fyodorovich Dobrynin and his contribution to Dagestan Landscapes Study. *European Researcher*. 2013;46(4-2):947-951.
4. Добрынин Б. Ф. Горный Дагестан и элементы его ландшафтов // Землеведение. 1917. Т. 25. Вып. 2. С. 48-120.
5. Добрынин Б. Ф. Сулакский каньон в Дагестане // Известия Кавказского отдела Русского географического общества. 1917. Т. 25. № 1. С. 50-104.
6. Добрынин Б. Ф. Ландшафты Дагестана // Землеведение. 1924. Т. 26. Вып. 1-2. С. 93-113.

References

1. Dobrynin BF. Geography of the Dagestan Socialist Soviet Republic. Buynaksk: Dagestan State Publ., 1926:122. (In Russ)
2. Ataev ZV. The contribution of MSU Professor B. F. Dobrynin to the development of landscape geography in Dagestan. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2010(3):92-96. (In Russ)
3. Ataev ZV. Professor Boris Fyodorovich Dobrynin and his contribution to Dagestan Landscapes Study. *European Researcher*. 2013;46(4-2):947-951.
4. Dobrynin BF. Mountainous Dagestan and elements of its landscapes. *Zemlevedenie*. 1917;25(2):48-120. (In Russ)
5. Dobrynin BF. The Sulak Canyon in Dagestan. *Izvestiia Kavkazskogo otdela Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 1917;25(1):50-104. (In Russ)
6. Dobrynin BF. Landscapes of Dagestan. *Zemlevedenie*. 1924;26(1-2):93-113. (In Russ)
7. Dobrynin BF. Landscape (natural) regions and vegetation of Dagestan. Moscow, 1925:42. (Mem-

7. Добрынин Б. Ф. Ландшафтные (естественные) районы и растительность Дагестана. М.: [б. и.], 1925. 42 с. (Мемуары Географического отделения Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии; вып. 1).

8. Добрынин Б. Ф. Ландшафтные (естественные) районы и растительность Дагестана. Махач-Кала: [б. и.], 1927. 42 с. (Материалы к изучению Дагестана / ДССР, Народный комиссариат земледелия, Плановая комиссия; вып. 1).

oirs of the Geographical Section of the Society of Lovers of Natural Science, Anthropology and Ethnography; Iss. 1). (In Russ)

8. Dobrynin BF. Landscape (natural) regions and vegetation of Dagestan. Makhach-Kala, 1927:42. (Materials for the study of Dagestan / DSSR, People's Commissariat of Agriculture, Planning Commission; Iss. 1). (In Russ)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор кафедры географии и методики преподавания, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова; ведущий научный сотрудник Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия; ведущий научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, zagir05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.06.2026
Одобрена после рецензирования 09.06.2026
Принята к публикации 22.06.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Affiliation

Zagir V. Ataev, Ph.D. (Geography), Professor, Department of Geography and Teaching Methods, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University; Leading Researcher, Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia; Leading Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, zagir05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

Conflict of interest

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 02.06.2026
Approved after reviewing 09.06.2026
Accepted for publication 22.06.2026

Науки о Земле / Earth Science
Обзорная статья / Review Article

УДК: 551.311.21

DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-50-60

EDN: ARRWEE

Обзор изученности и выявление причин активизации селевых потоков в бассейне реки Герхожансу (Центральный Кавказ)

© 2026 Гедуева М. М.^{✉1}, Юанов М. Т.¹, Джаппуев Д. Р.^{1, 2}

¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Нальчик, Россия, m.gyaurgieva@mail.ru[✉], murat_yuanov@mail.ru,
dakhirdjappuev@mail.ru

²Национальный парк «Приэльбрусье»
с. Эльбрус, Россия, dakhirdjappuev@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Работа посвящена обзору научных и фондовых материалов, описывающих селепроявления в бассейне р. Герхожансу (Центральный Кавказ), и анализу крупных селей, зафиксированных за последние десятилетия. **Цель** работы заключается в выявлении причин и факторов, способствующих возникновению селевых потоков в бассейне р. Герхожансу, опираясь на научную литературу. **Методы.** Исследование основано на анализе данных, включающих результаты полевых наблюдений, проведенных сотрудниками центра географических исследований, также работ, описывающих предыдущие сходы селей и подвижки оползня Бузулган. В работе приводится обзор и анализ фактического материала по сходу селевого потока в 2025 г. в бассейне р. Герхожансу. **Результаты.** Значительные массы рыхло-обломочного материала в русле р. Герхожансу увеличивают вероятность формирования и последовательного схода нескольких селевых потоков с заполнением селепропускного лотка и выходом селевых масс на территорию населенного пункта. **Выводы.** В формировании селевых потоков в бассейне р. Герхожансу основную роль играют ливни и таяние ледников. Вовлекая в селевой процесс твердый рыхлообломочный материал в средней и нижней части русла, зачастую формируются сели, представляющие опасность для г. Тырнауза.

Ключевые слова: селевой поток, селевое русло, Герхожансу, Тырнауз, оползень Бузулган.

Формат цитирования: Гедуева М. М., Юанов М. Т., Джаппуев Д. Р. Обзор изученности и выявление причин активизации селевых потоков в бассейне реки Герхожансу (Центральный Кавказ) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 50-60. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-50-60. EDN: ARRWEE

Review of Research and Identification of Causes for Increased Mudflow Activity in the Gerkhozhansu River Basin (Central Caucasus)

© 2026 Maryana M. Gedueva^{✉1}, Murat T. Yuanov¹, Dakhir R. Dzappuev^{1, 2}

¹Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Nalchik, Russia, m.gyaurgieva@mail.ru[✉], murat_yuanov@mail.ru,
dakhirdjappuev@mail.ru

²Prielbrusye National Park
Elbrus village, Russia, dakhirdjappuev@mail.ru

ABSTRACT. This paper reviews scientific literature and archival data regarding debris flow activity in the Gerkhozhansu River basin (Central Caucasus) and analyzes major debris flow events recorded in recent

decades. The research **aims** to identify the causes and factors contributing to debris flow generation in the Gerkhozhansu River basin based on existing scientific literature. **Methods.** The research relies on data analysis, including field observations conducted by staff from the Center for Geographical Research, as well as studies describing past debris flow events and movements of the Buzulgan landslide. The paper presents an overview and analysis of factual data concerning the debris flow event that occurred in the Gerkhozhansu River basin in 2025. **Results.** Significant accumulations of loose clastic material in the Gerkhozhansu riverbed increase the likelihood of the formation and successive release of multiple debris flows, potentially filling the debris flow diversion channel and causing debris masses to spill over into the inhabited area. **Conclusions.** Heavy rainfall and glacier melt play a primary role in debris flow formation in the Gerkhozhansu River basin. By incorporating loose solid material from the middle and lower sections of the river channel into the flow, debris flows are frequently generated that pose a threat to Tyrnauz town.

Keywords: debris flow, debris flow channel, Gerkhozhansu, Tyrnauz, Buzulgan landslide.

For citation: Gedueva MM, Yuanov MT, Dzhabbaev DR. Review of Research and Identification of Causes for Increased Mudflow Activity in the Gerkhozhansu River Basin (Central Caucasus). *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):50-60. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-50-60. EDN: ARRWE

Введение

Селевые потоки представляют угрозу для любых объектов на пути их движения. В наибольшей степени подвержены разрушениям автомобильные дороги в горных районах, а также населенные пункты в предгорьях, попадающие в зону схода селя.

На территории Российской Федерации наиболее селеопасным считается Кавказский регион, в частности это Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Карачаево-Черкесская Республика и Республика Дагестан. Среди них по интенсивности селепроявлений лидирует Кабардино-Балкария (КБР), где особой селеопасностью отличается бассейн р. Герхожансу [1].

Река Герхожансу – правый приток р. Баксан, длина которой составляет 12 км, площадь водосборного бассейна – 76,3 км², протекает в Эльбрусском районе КБР. Истоки Герхожансу (в верховьях – Сакашилсу) расположены у ледников к северо-востоку от г. Каяартыбани. Основные притоки – правый – Уллу-Ставатсу, левые – Ачикан, Каяартысу. Активный очаг гляциальных селей в верховьях Герхожансу вместе с оползневой участком Бузулган, расположенным в средней части русла, ежегодно в весенне-летний период создают в бассейне напряженную обстановку, что делает защиту г. Тырнауза от селевых потоков исключительно актуальной проблемой.

Материалы и методы исследования

В данной работе представлены результаты исследований, направленные на изу-

чение селевых потоков. Исследования проводились на основе сбора и анализа имеющихся научных публикаций, фондовых материалов, а также результатов полевых исследований, проводимых на территории КБР сотрудниками ЦГИ КБНЦ РАН с учетом опасных природных процессов. Использовались также методы дешифрирования космических снимков с сервиса Google Earth, содержащих данные в открытом доступе (дата съемки 10.17.2019 г.).

Полевые обследования в бассейне Герхожансу по маршруту от устья до оползневой массива Бузулган проводились 1 мая 2025 г., 22 июля 2025 г., 12 августа 2025 г., 24 октября 2025 г., 19 ноября 2025 г. (рис. 1).

Обработка полученных материалов полевых наблюдений и фотосъемки произведена частично с применением ГИС-технологий, а именно в программе Quantum GIS. На рисунке 1 приведена обзорная карта-схема бассейна (скриншот с программы Quantum GIS) с ледником Каяарты, оползнем Бузулган, селепропускным лотком и точками наблюдений. Снимки, отображенные на рисунке, имеют географическую привязку. Также при обработке снимков в проекте использовался метод всплывающих фото, что дает возможность проведения более подробного изучения состояния исследуемого объекта в дистанционном режиме, опираясь на привязку к местности. Например, на рисунке 1 справа на всплывающем фото фрагмент левого борта селевого русла Герхожансу у основания оползня Бузулган.

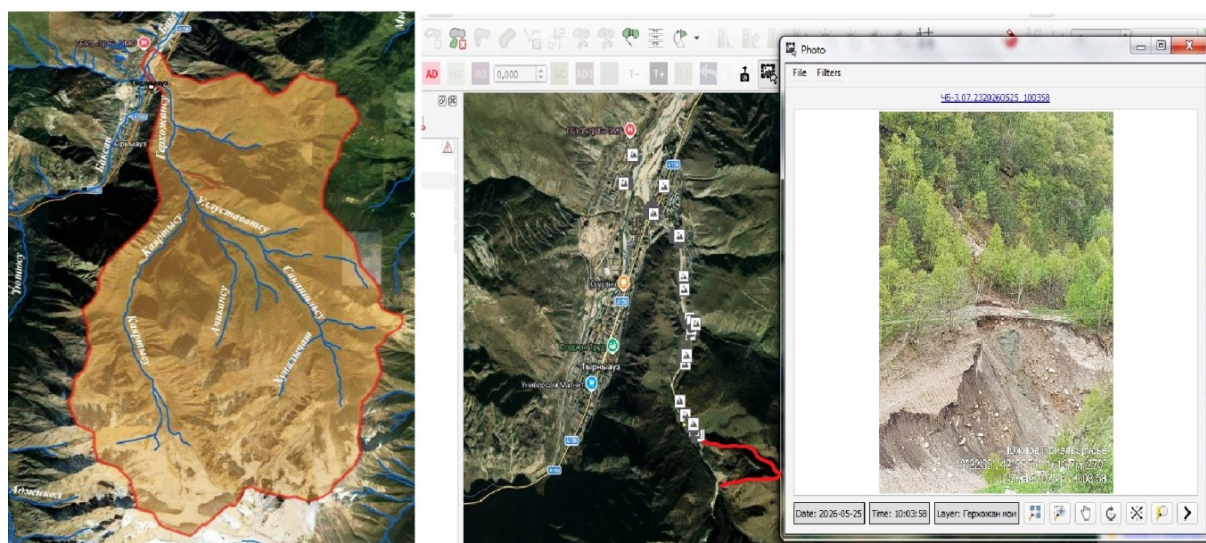


Рис. 1. Слева – селевой бассейн Герхожансу. Справа – скриншот проекта QGIS с точками проведения полевых наблюдений в бассейне р. Герхожансу по маршруту от устья до оползневого массива Бузулган

Fig. 1. Left: The Gerkhozhansu mudflow basin. Right: A screenshot of a QGIS project showing field observation points in the Gerkhozhansu River basin along the route from the mouth to the Buzulgan landslide mass

Результаты и их обсуждение

В бассейне р. Герхожансу сели отмечались еще с XVI в., однако после основания г. Тырнауза в 1937 г., значительная часть которого была построена в устье селеносной реки, степень селевой опасности для данного бассейна многократно возросла. С этого периода начались активные наблюдения и разработка мер по защите города и его жителей от селевых потоков в бассейне реки, нередко носящих катастрофический характер.

Специалисты различных научных организаций – ВГИ, ЦГИ КБНЦ РАН, МГУ, Ростовского ЦГМС-Р и др. многие годы активно занимаются исследованиями селевых процессов на территории КБР, в том числе в бассейне Герхожансу. Результаты проведенных исследований опубликованы в научных работах.

Факторы и причины формирования селевых процессов в бассейне р. Герхожансу. На изучаемой территории имеются все необходимые условия для развития селевых процессов. Это обусловлено влиянием таких факторов, как геология, геоморфология (орография), климат, гидрология и почвенно-растительный покров.

Наиболее важными факторами при формировании селевых потоков в горных районах Кавказа являются *рельеф и климат*.

Горный рельеф выступает одним из основных факторов образования и схода селя из-за сильной расчлененности территории, обуславливающей крутизну склонов.

Современное изменение климата ведет к учащению метеорологических пиков, что, в свою очередь, повышает частоту схода селей. Среди климатических факторов наибольшее влияние на селевую активность оказывают такие характеристики, как количество осадков, интенсивность выпадения осадков, температура воздуха. Осадки формируют водную составляющую селей и часто служат триггером для их запуска. Температура же, регулируя интенсивность абляции на ледниках и снежниках, также во многом определяет объемы воды в селевом потоке.

Таким образом, огромные массы моренного материала в верховьях русла, большие запасы влаги в тающих льдах, выпадение осадков ливневого характера, крутые уклоны русла в совокупности создают все необходимые условия для формирования мощных селевых потоков ледникового и ледниково-дождевого происхождения.

Также существенна роль оползневых и обвально-осыпных склонов. В настоящее время в формировании селей в бассейне Герхожансу значительную роль играет оползневой массив Бузулган, служащий

источником дополнительного твердого материала для селя.

Одним из важных факторов в зарождении селей в бассейне Герхожансу является ледник Каяарты. Его динамика значительно повлияла на активность селевых процессов, особенно в период с 1957 по 2000 г. [2-4].

Все вышеперечисленные факторы в совокупности создают условия и становятся причинами для формирования селевых потоков в бассейне р. Герхожансу.

По данным [5] в последние десятилетия возникновение благоприятной обстановки для схода селей обусловлено сочетанием двух факторов: освобождение верхнего цирка ледника Каяарты от снега и устойчивое превышение температуры воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ на высоте более 3000 м н. у. м. в течение семи и более дней [5].

Город периодически подвергался разрушениям от селевых потоков разной мощности. Сходы селей за последние 50 лет по Герхожансу наблюдались в 1975, 1977, 1983, 1995, 1999, 2000, 2001, 2011, 2015, 2017, 2022, 2025 гг. В некоторые годы объемы выноса превышали 500 тыс. м^3 [1; 6-10].

За последние десятилетия произошли существенные изменения в исследуемой долине. В 1999 г. селевой поток объемом до 1 млн м^3 частично разрушил селезащитную плотину, незадолго до этого введенную в строй, повредил селепропускной канал, снес мосты и уничтожил несколько жилых домов [1].

В июле следующего, 2000 г., по Герхожансу прошел сель, ставший самым катастрофическим за всю историю наблюдений в долине р. Баксан и превзошедший по масштабам все известные ранее события. Объем вынесенного грязекаменного материала достиг 6 млн м^3 . В результате были разрушены один девятиэтажный и несколько пятиэтажных домов, часть городской территории оказалась занесена грязекаменной массой, имелись человеческие жертвы [1].

Причиной столь серьезных разрушений г. Тырныауза послужила не только экстремальная мощность самого селя, но и то обстоятельство, что последствия селевого потока 1999 г. не были устранены: нижняя часть долины и селепропускной канал по р. Герхожансу остались заполненными отложениями. Вследствие этого мощные селевые потоки значительно переуглубили днище долины Герхожансу и большую часть канала. В то же время в

русле Баксана, в зоне растекания потока, образовался селевой конус, который сыграл роль перемычки. Это привело к возникновению подпрудного озера и затоплению значительной территории города выше по течению [1]. По данным [11] катастрофический сель 2000 г. на р. Герхожансу был подготовлен накануне продолжительным таянием ледника при ясной погоде и высокой температуре воздуха. Решающим было накопление талой воды в подледниковых условиях и прорывной водный импульс [11].

Также имеется версия роли оползня Бузулган (расположенного в бассейне р. Герхожансу на участке ниже слияния рек Каяартысу и Сакапилсу) в формировании селевой волны 19 июля 2000 г., уничтожившей 9-этажный дом на глазах у жителей населенного пункта. Со слов очевидцев, многочисленные трещины отрыва возникли как по границам оползня (в местах его контакта с массивом), так и внутри него. Повсюду происходили отрывы и падения породы из тела оползня. Предположительно, в районе оползня образовался затор; после его прорыва сформировалась волна селя [10].

Сход селей в июле-августе 2017 г. был подготовлен аномальной погодой: длительный период среднесуточные температуры превышали $+15^{\circ}\text{C}$ (данные ГМС «Терскол»), осадков в августе почти не было, а снеговая линия в первой декаде августа проходила выше 3800 м. Это повлияло на состояние моренно-ледникового комплекса в верховьях р. Каяартысу. Высокие температуры привели к образованию больших объемов талой ледниковой воды, которая накапливалась внутри ледника, а затем прорывалась, вызывая гляциальные паводки и сели [11]. В источнике [12] указывается, что августовский сель 2017 г. зародился не в каньоне (в результате оползней со склонов), а на участке ледника. Главным поставщиком обломочного материала послужил нижний моренный каньон, где 15 августа селевые процессы были вызваны обрушениями склонов, подрезанных селом накануне, 14 августа. На участке оползня Бузулган и новом оползне на правом склоне долины (длиной более 450 м) в поток поступала дополнительная масса. Также материал добавлялся за счет осыпного плейфа у подножия левого склона долины р. Герхожансу [12]. Селевым потоком

был снесен пешеходный мост, установленный в русле р. Герхожансу непосредственно внутри селепропускного лотка (рис. 2).

Оползень Бузулган представляет собой активный ярусный сложный оползень скольжения, суммарный объем которого по данным [13] оценивается в 7-7,2 млн м³.

В середине августа 2020 г. в бассейне р. Герхожансу произошла anomальная подвижка оползня Бузулган (рис. 3), в результате чего русло р. Герхожансу было перекрыто оползневой массой на протяжении 480 м и смещено к левому борту долины до 100 м. Однако река быстро промыла новое русло в оползневой дамбе, сложенной рыхлыми породами, и образования крупномасштабного завального озера не произошло [10; 13].

Очередным селевым потоком, прошедшим в русле Герхожансу в августе 2022 г. был размыт и спрямлен 150-метровый участок русла р. Герхожансу в нижней части оползня Бузулган [13]. Сели 2022 г. в русле Герхожансу сформирова-

лись в результате накопления талых вод под ледником и их прорыва. Выпадение осадков не играло главной роли в образовании селей [9].

В начале мая 2025 г. сотрудниками ЦГИ КБНЦ РАН проводились обследования селевого русла Герхожансу в его приустьевой части. Было зафиксировано, что на данном участке в селепропускном лотке имелись отложения селевых потоков, проходивших ранее (рис. 4).

Позднее, с 21 по 22 июля 2025 г., по руслу Герхожансу прошли грязекаменные селевые потоки, имевшие как схожие черты с предыдущими селями, так и свои особенности, которые были выявлены в результате проведения исследований его последствий и условий формирования (рис. 5). Сход селя спровоцировали обильные ливневые осадки, в комплексе со значительными объемами донных отложений и боковой эрозии в средней части русла, которые предположительно были вовлечены в селевой процесс.



Рис. 2. Пешеходный мост, снесенный селевым потоком в 2017 г.

Fig. 2. A pedestrian bridge destroyed by a mudflow in 2017



Рис. 3. Оползень Бузулган: а) фрагмент космоснимка с сервиса Google Earth 10.17.2019 г. б) Фото с квадрокоптера С. С. Черноморец, 07.09.2020 [10]

Fig. 3. Buzulgan landslide: a) fragment of a satellite image from the Google Earth service on 10.17.2019; b) Photo from a quadcopter by S. S. Chernomorets, 09.07.2020 [10]



Рис. 4. Состояние селевого русла 1 мая 2025 г. (с действующей газопроводной трубой) «до» схода селя 21.07.25 (фото М. Т. Юанова)

Fig. 4. The state of the mudflow channel on May 1, 2025 (with an active gas pipeline) “before” the mudflow on July 21, 2025 (photo by M. T. Yuanov)



Рис. 5. (а) Линия газопровода, занесенная селевыми отложениями; (б) селевые отложения в устье р. Герхожансу (фото Д. Р. Джаппуева 25 июля 2025 г.)
Fig. 5. (a) Gas pipeline section covered by mudflow deposits; (b) mudflow deposits at the mouth of the Gerkhozhansu River (photo by D. R. Dzhapsuev, July 25, 2025)

Сели проходили волнами в течение суток. Первой волной, прошедшей 21 июля в 20 ч вечера, был заполнен селепропускной лоток, к тому моменту не очищенный от отложений селевых потоков, проходивших ранее.

Вторая мощная волна, прошедшая в 23 ч ночи по руслу, частично разрушила селепропускной лоток. Из-за больших объемов грязевая масса вышла за пределы лотка и заполнила часть улиц в устьевой зоне. В результате схода селевого потока зафиксировано смещение пролетного строения автомобильного моста, разрушение линии газопровода (рис. 5).

Третья волна селя прошла днем 22 июля, материал которой также отложился на территории нижней части г. Тырнауза, во дворе здания городской администрации и близлежащих территорий, в устьевой части р. Герхожансу и в долине р. Баксан (рис. 5).

Спустя 10 дней, вечером 31 июля, за ними последовал еще один селевой поток дождевого генезиса с участием осыпных и

оползневых участков, имеющих в русле Герхожансу. Селевым потоком был поврежден водопровод и частично разрушен правый борт селепропускного лотка (рис. 6), после чего грязевой массой высокой плотности были занесены примыкающие к селевому руслу территории населенного пункта (рис. 6).

В связи с выходом селевой массы из защитного лотка и угрозой подтопления близлежащих домов была произведена эвакуация жителей города. После схода первого селя началось восстановление системы газо-, водо- и электроснабжения. Работы по расчистке территории начали проводить лишь в августе, из-за угрозы схода очередного селя.

Расчистка селевого лотка и близлежащих территорий от селевых наносов производится непрерывно, хотя на момент проведения обследований 24.10.2025 г. еще остается большое количество отложенного рыхлообломочного материала после схода селя в июле 2025 г. (рис. 7).



Рис. 6. Заполнение селевой массой, разрушение водопроводной трубы и частичное обрушение правого борта селепропускного лотка в бассейне р. Герхожансу 31.07.2025 г.
Fig. 6. Mudflow filling, destruction of a water pipe and partial collapse of the right side of a mudflow chute in the Gerkhozhansu River basin on July 31, 2025



Рис. 7. Селевые отложения и состояние селепропускного лотка в бассейне р. Герхожансу на 24.10.2025 г. (фото М. М. Гедуевой)

Fig. 7. Mudflow deposits and the condition of the mudflow channel in the Gerkhozhansu River basin as of October 24, 2025 (photo by M. M. Gedueva)

При несвоевременной расчистке селевого лотка селевые потоки подобной мощности могут повлечь за собой катастрофические последствия для инфраструктуры и населения г. Тырныауза.

Важным моментом при проведении оценки опасности селей р. Герхожансу является анализ возможности последовательного схода нескольких селевых потоков, как это наблюдалось в июле 2025 г. С каждым селепроявлением возрастает риск

заполнения селепропускного лотка и выхода селевых масс на территорию населенного пункта. В связи с этим, необходимо проведение регулярного мониторинга за склоновыми процессами в русле р. Герхожансу. Предположительно, значительная часть твердого рыхлообломочного материала при формировании селя вовлекается у основания оползневого массива Бузулган (рис. 8, 9).



Рис. 8. Нижний участок оползня Бузулган и состояние русла р. Герхожансу на 08.2025 г. (фото Х. Ю. Гузиева)

Fig. 8. The lower section of the Buzulgan landslide and the state of the Gerkhozhansu River channel as of August 2025 (photo by Kh. Yu. Guziev)



Рис. 9. Состояние оползня Бузулган 19.11.2025 г. (фото Е. В. Кюль)

Fig. 9. The state of the Buzulgan landslide on November 19, 2025 (photo by E.V. Kyul)

Важно отметить тот факт, что в настоящее время наличие такого количества легкоразмываемого рыхлообломочного материала в средней части русла р. Герхожансу может послужить твердой составляющей для потоков, зарождающихся в верховьях. Это остается поводом для волнения многих исследователей, занимающихся данной проблемой.

Заключение

Изучением селевого вопроса в бассейне Герхожансу занимались и занимаются исследователи многих научных организаций. Из рассмотренного в данной работе научного материала можно сказать, что большую роль в формировании селевых потоков в бассейне р. Герхожансу играют как ливневые осадки, так и активные процессы абляции на леднике Каяарты. Фор-

мируя селевой процесс из моренного материала у языка ледника и далее вовлекая рыхлые породы из оползневых и эрозийных участков в средней и нижней части русла, поток образует селевые массы порою катастрофического характера. Проводя оценку динамики наносов, важно отслеживать, где и как накапливается материал: в верховьях долин или переносится вниз по течению.

Необходимо продолжать проведение разного уровня и характера наблюдений, включая полевые и дистанционные исследования, с применением более современных методов и технологий, позволяющих определять параметры селевого потока для проведения прогнозов и успешной защиты г. Тырнауза и его жителей.

Список источников

1. Кондратьева Н. В., Аджиев А. Х., Беккиев М. Ю., Гедуева (Гяургиева) М. М., Перов В. Ф. и др. Кадастр селевой опасности юга европейской части России. М.: Феория; Нальчик: Печатный двор, 2015. 148 с. EDN: VHCUJH
2. Золотарев Е. А., Поповнин В. В., Сейнова И. Б. Режим ледника Каяарты на Центральном Кавказе – активного селевого очага // Материалы гляциологических исследований. 1982. Вып. 43. С. 69-75.
3. Крыленко И. В., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Журавлева П. Г. Динамика селевого бассейна р. Герхожан-Су (Кабардино-Балкария) после катастрофы 18-25 июля 2000 года // Материалы гляциологических исследований. 2004. Вып. 96. С. 159-167.
4. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Золотарев Е. А., Лабутина И. А. Картографо-фотограмметрическое направление гляциологических исследований в Московском университете // Гляциология в начале XXI века: материалы Международной научной конференции. М.: Университетская книга, 2009. С. 30-40.
5. Черноморец С. С., Крыленко И. В., Крыленко И. Н., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Шахмина М. С., Эванс С. Д. Ледниковые озёра на Кавказе: опасность прорыва и опыт прогноза // Снежные лавины, сели и оценка риска. М.: Университетская книга, 2009. С. 84-94.
6. Золотарев Е. А., Сейнова И. Б. Катастрофические сели Приэльбрусья за два последних тысячелетия. Материалы гляциологических исследований. 1997. Вып. 82. С. 184-189.
7. Кюль Е. В., Корчагина Е. А., Джаппуев Д. Р. Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики за период с 2012 по 2018 годы. Пространственные законо-

References

1. Kondratyeva NV, Adzhiev AKh, Bekkiev MYu, Gedueva (Gyaurgieva) MM, Perov VF, et al. Cadastre of mudflow hazard in the South of European Russia. Moscow: Feoriya; Nalchik: Pechatny Dvor, 2015:148. (In Russ). EDN: VHCUJH
2. Zolotarev EA, Popovnin VV, Seynova IB. Regime of the Kayaarty Glacier in the Central Caucasus – an active mudflow source area. *Proceedings of Glaciological Studies*. 1982(43):69-75. (In Russ)
3. Krylenko IV, Petrakov DA, Tutubalina OV, Chernomorets SS, Zhuravleva PG. Dynamics of the Gerkhozhan-Su River mudflow basin (Kabardino-Balkaria) following the catastrophe of July 18-25, 2000. *Proceedings of Glaciological Studies*. 2004(96):159-167. (In Russ)
4. Knizhnikov YuF, Kravtsova VI, Zolotarev EA, Labutina IA. Cartographic-photogrammetric direction of glaciological research at Moscow University. *Glaciology at the Beginning of the 21st Century: Proceedings of the International Scientific Conference*. Moscow: Universitetskaya Kniga, 2009. С. 30-40. (In Russ)
5. Chernomorets SS, Krylenko IV, Krylenko IN, Petrakov DA, Tutubalina OV, et al. Glacial lakes in the Caucasus: outburst hazard and forecasting experience. *Snow Avalanches, Mudflows and Risk Assessment*. Moscow: Universitetskaya Kniga, 2009:84-94. (In Russ)
6. Zolotarev EA, Seynova IB. Catastrophic mudflows in the Elbrus region over the last two millennia. *Proceedings of Glaciological Studies*. 1997(82):184-189. (In Russ)
7. Kyul EV, Korchagina E, Dzhappuev DR. Geoeological studies in the Kabardino-Balkarian Republic (2012-2018): Spatial patterns of hazardous exogenous processes. Thematic volume. Nalchik: Kabardin-Balkar Scientific Center of the RAS,

мерности образования опасных экзогенных процессов. Тематический том. Нальчик: Кабардино-Балкарский научный центр РАН, 2019. 170 с. EDN: SPHQKK

8. Марченко П. Е., Гедуева М. М., Джаппуев Д. Р. Фактическая и потенциальная подверженность селевым процессам верховьев реки Баксан // Известия Кабардино-Балкарского Научного Центра РАН. 2017. № 3(77). С. 33-43. EDN: YSSEFF

9. Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Акаев А. Р., Анаев М. А. Особенности селевого потока 5 августа 2022 г. на р. Герхожансу // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с Международным участием (Владикавказ, 04-08 октября 2023 г.). М., 2023. С. 445-454. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.43.54.057. EDN: VUSXSK

10. Куровская В. А., Черноморец С. С., Крыленко И. Н., Виноградова Т. А., Докукин М. Д., Запороженченко Э. В. Сход оползня Бузулган: моделирование селей по реке Герхожан-Су и сценарии их воздействия на город Тырныауз после произошедших в 2020 году изменений // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 1. С. 43-53. DOI: 10.31857/S0321059622010114. EDN: DJORZZ

11. Мальнева И. В., Докукин М. Д., Акаев А. Р., Хаджиев М. М., Анаев М. А. Условия развития склоновых процессов в Кабардино-Балкарской Республике в 2022 и 2023 гг. // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы XVIII Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций (Москва, 28 ноября – 01 декабря 2023 г.). М.: Геомаркетинг, 2023. С. 159-169. EDN: VQHVDN

12. Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Хаджиев М. М., Богаченко Е. М., Савернюк Е. А. Селевые потоки 14-15 августа 2017 г. в бассейне р. Герхожан-Су (Центральный Кавказ): условия и причины формирования, динамика, последствия // ГеоРиск. 2018. Т. 12. № 3. С. 82-94. EDN: UYXKNT

13. Зеркаль О. В., Черноморец С. С., Савернюк Е. А. Оползень «Бузулган» и его влияние на селевую опасность // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 30-31 марта 2023 г.). М.: ГеоИнфо, 2023. С. 95-98. EDN: AUIZPW

2019:170. (In Russ). EDN: SPHQKK

8. Marchenko PE, Gedueva MM, Dzhappuev DR. Actual and potential susceptibility of upper courses of the Baksan River to sill torrential processes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2017(3(77)):33-43. (In Russ). EDN: YSSEFF

9. Bekkiyev MYu, Dokukin MD, Kalov RKh, Akayev AR, Anayev MA. Characteristics of the mud-flow event of August 5, 2022, on the River Gerko-zhan-su. *Recent Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus: Proceedings of the 13th All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation (Vladikavkaz, October 4-8, 2023)*. Moscow, 2023:445-454. (In Russ). DOI: 10.26200/GSTOU.2023.43.54.057. EDN: VUSXSK

10. Kurovskaia VA, Chernomorets SS, Krylenko IN, Vinogradova TA, Dokukin MD, et al. Buzulgan rockslide: simulation of debris flows along Gerkhozhan-su River and scenarios of their impact on Tyrnyauz town after changes in 2020. *Water Resources*. 2022;49(1):43-53. (In Russ). DOI: 10.31857/S0321059622010114. EDN: DJORZZ

11. Malneva IV, Dokukin MD, Akaev AR, Khadzhiyev MM, Anayev MA. Conditions for the development of slope processes in the Kabardino-Balkarian Republic in 2022 and 2023. *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the 18th All-Russian Scientific and Practical Conference of Surveying Organizations (Moscow, November 28 – December 1, 2023)*. Moscow: Geomarketing, 2023:159-169. (In Russ). EDN: VQHVDN

12. Dokukin MD, Bekkiyev MYu, Kalov RKh, Khadzhiyev MM, Bogachenko EM, et al. Debris flows 14 and 15 august, 2017 in the basin of gerhozhan-su river (Central Caucasus): conditions and causes of formation, dynamics, consequences. *Georisk World*. 2018;12(3):82-94. (In Russ). EDN: UYXKNT

13. Zerkal OV, Chernomorets SS, Savernyuk EA. The “Buzulgan” landslide and its impact on debris flow hazard. *Sergeev Readings. Fundamental and Applied Issues of Engineering Geodynamics: Proceedings of the Annual Session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology (Moscow, March 30-31, 2023)*. Moscow: GeolInfo, 2023:95-98. (In Russ). EDN: AUIZPW

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**Принадлежность к организации**

Гедуева Марьяна Мартиновна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, m.gyaurgieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8131-2908>

Юанов Мурат Темурович, научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, murat_yuanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1048-726X>

Джаппуев Дахир Ратминович, научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия; старший научный сотрудник, Национальный парк «Приэльбрусье», с. Эльбрус, Россия, dakhirdjappuev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9956-5439>

Критерии авторства

Гедуева М. М. – общая научная редакция статьи, написание статьи, обработка и анализ данных, описательный анализ результатов; Юанов М. Т. – сбор данных, работа над текстом статьи, библиография, оформление статьи; Джаппуев Д. Р. – сбор данных, обработка и анализ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.03.2026
Одобрена после рецензирования 25.03.2026
Принята к публикации 16.04.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**Affiliations**

Maryana M. Gedueva, Ph.D. (Geography), Senior Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, m.gyaurgieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8131-2908>

Murat T. Yuanov, Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, murat_yuanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-1048-726X>

Dakhir R. Dzhappuev, Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia; Senior Researcher, Prielbrusye National Park, Elbrus village, Russia, dakhirdjappuev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9956-5439>

Contribution of the authors

Gedueva M. M. – general scientific editing, writing the paper, data processing and analysis, descriptive analysis of results; Yuanov M. T. – data collection, work on the text of the paper, bibliography, formatting the paper; Dzhappuev D. R. – data collection, data processing and analysis.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 03.03.2026
Approved after reviewing 25.03.2026
Accepted for publication 16.04.2026

Науки о Земле / Earth Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 528.9:37
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-61-70
EDN: ASTUBF

Особенности шрифтового оформления карт для изучения географической номенклатуры в вузах

© 2026 Глебова Д. Н.✉, Ковалева О. В.

Московский государственный университет геодезии и картографии
Москва, Россия, glebova.d.00@gmail.com✉, cart777@yandex.ru

РЕЗЮМЕ. Цель исследования – систематизировать и обосновать требования к шрифтовому оформлению специализированных учебных карт, предназначенных для изучения географической номенклатуры в высшей школе, с учетом различий печатного и электронного форматов, а также разработать последовательность формирования их топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии. **Методы.** Выполнен теоретико-методический анализ научных и нормативно-методических источников по картографическому дизайну, визуализации и топонимии; требования систематизированы по параметрам читаемости, гарнитуры, размера, насыщенности, контраста, иерархии, способа размещения и условий воспроизведения. В качестве иллюстративного материала использованы авторские картографические примеры. **Результаты.** Сформирована система требований к шрифтовому оформлению печатных и электронных учебных карт; обоснована необходимость дифференциации проектных решений в зависимости от формата представления. Предложена последовательность формирования топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии: от базовой школьной номенклатуры к вузовской и далее к объектам-ориентирам. **Выводы.** Предложенный подход позволяет формализовать проектирование шрифтового оформления специализированных учебных карт и может применяться при создании и актуализации картографических пособий для изучения географической номенклатуры. Проверка влияния предложенных решений на результаты обучения требует отдельной экспериментальной апробации.

Ключевые слова: географическая номенклатура, шрифтовое оформление карт, картографические пособия, электронные карты, печатные карты, учебные карты.

Формат цитирования: Глебова Д. Н., Ковалева О. В. Особенности шрифтового оформления карт для изучения географической номенклатуры в вузах // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 61-70. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-61-70. EDN: ASTUBF

Specifics of Typographic Design for Maps Used to Study Geographical Nomenclature in Higher Education

© 2026 Darya N. Glebova✉, Olga V. Kovaleva

Moscow State University of Geodesy and Cartography
Moscow, Russia, glebova.d.00@gmail.com✉, cart777@yandex.ru

ABSTRACT. The aim of the research is to systematize and substantiate requirements for the typographic design of specialized educational maps intended for studying geographical nomenclature in higher education, taking into account the differences between printed and digital formats, and to develop a sequence for forming their toponymic content and typographic hierarchy. **Methods.** A theoretical and methodological analysis of scientific and methodological sources on cartographic design, visualization and toponymy was conducted. The requirements were systematized according to readability, typeface, size, weight, contrast, hierarchy, label placement and reproduction conditions. Author-created cartographic examples were used as illustrative material. **Results.** A system of requirements for the typographic design of printed and digital

educational maps was formulated, and the need to differentiate design solutions depending on the presentation format was substantiated. A sequence for forming toponymic content and typographic hierarchy was proposed: from basic school-level nomenclature to university-level nomenclature and then to reference features. **Conclusions.** The proposed approach formalizes the design of typographic elements in specialized educational maps and can be applied when creating and updating cartographic aids for studying geographical nomenclature. The educational effect of the proposed solutions requires separate experimental validation.

Keywords: geographical nomenclature, map typographic design, cartographic aids, electronic maps, printed maps, educational maps.

For citation: Glebova DN, Kovaleva OV. Specifics of Typographic Design for Maps Used to Study Geographical Nomenclature in Higher Education. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):61-70. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-61-70. EDN: ASTUBF

Введение

Представленное исследование посвящено систематизации и обоснованию требований к прифтовому оформлению специализированных учебных карт для изучения географической номенклатуры в высшей школе в рамках разработки методики и технологии создания мультимедийных карт с регулируемой топонимической нагрузкой. В ранее опубликованной работе авторов [1] вопросы оформления печатных и электронных картографических материалов рассматривались в составе общей проблематики проектирования пособий для изучения дисциплин модуля «Науки о Земле». В настоящей работе прифтовое оформление выделено в самостоятельный предмет анализа: систематизированы требования к печатному и электронному форматам, предложено разграничение уровней топонимической нагрузки и формализована последовательность проектирования прифтовой иерархии специализированной карты. Экспериментальная оценка влияния предложенных решений на результаты обучения не входит в задачи настоящего исследования и рассматривается как направление дальнейшей апробации.

В системе высшего географического образования карта выступает не только средством наглядного представления пространственной информации, но и важным инструментом освоения и систематизации географической номенклатуры. Работа с картами в вузе предполагает формирование у обучающихся устойчивых знаний о размещении географических объектов, их иерархии и взаимосвязях, что требует более высокого уровня аналитического восприятия по сравнению со школьным обучением [2].

В отличие от школьных карт, ориентированных преимущественно на формирование базовых представлений о территории, учебные карты для вузов используются при решении более сложных учебно-аналитических задач: сопоставлении объектов, выявлении пространственных связей и работе с расширенным перечнем географической номенклатуры. В этих условиях возрастает значение структурированности картографического содержания и визуальной иерархии подписей. Шрифтовое оформление рассматривается в настоящей работе как один из инструментов такого структурирования.

Шрифт на карте выполняет номинальную и классификационную функции: обозначает географический объект и посредством размера, начертания, цвета и других характеристик может передавать его относительную значимость и принадлежность к определенной категории. Классические принципы шрифтового оформления сформировались преимущественно применительно к печатным картам; электронный формат дополняет условия проектирования масштабируемостью, изменяемым составом отображаемых подписей и зависимостью от характеристик устройства вывода. Поэтому требования к прифтовому оформлению специализированных учебных карт целесообразно рассматривать дифференцированно для печатного и электронного форматов.

Цель исследования – систематизация и обоснование требований к прифтовому оформлению специализированных карт для изучения географической номенклатуры в вузах и разработка последовательности формирования их топонимической

нагрузки и шрифтовой иерархии. Для достижения цели решались следующие задачи: систематизировать требования к шрифтовому оформлению учебных карт по параметрам читаемости, гарнитуры, размера, насыщенности, контраста, иерархии и способа размещения подписей; определить различия проектных требований для печатного и электронного форматов; формализовать последовательность формирования топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии специализированной учебной карты.

Методы и материалы исследования

Методологическую основу исследования составил теоретико-методический анализ научных и нормативно-методических источников, посвященных картографическому дизайну, шрифтовому оформлению, экранной визуализации и нормализации географических названий. Анализ проводился по группе сопоставимых параметров: читаемость, гарнитура, размер, насыщенность, контраст с фоном, визуальная иерархия, способ размещения подписи, условия воспроизведения и масштабируемость. Полученные положения систематизировались с учетом функциональных различий печатного и электронного форматов. Авторские картографические фрагменты использованы как примеры реализации сформулированных проектных решений. Ограничением исследования является отсутствие на данном этапе экспериментальной оценки образовательной эффективности, поэтому выводы статьи относятся к области картографического проектирования и не интерпретируются как доказательство повышения результатов обучения.

Географическая номенклатура – система географических названий, выступающая основой для формирования пространственных представлений и рассматриваемая в учебной картографии как структурированный перечень объектов, подлежащих освоению. Изучение географической номенклатуры – процесс, который сопровождает обучающихся по направлению «Науки о Земле» на протяжении большей части обучения [2]. Существует ряд методов изучения географической номенклатуры, которые представлены в научных статьях и методических материалах [3-6]. Назовем некоторые из них:

картографический метод, метод ассоциаций, метод ментальных карт, метод, основанный на использовании игровых технологий и др. Существующие методы изучения географической номенклатуры применяются на практике во время процесса обучения, для каждого из них важно наличие качественного картографического обеспечения, важной составляющей которого является шрифтовое оформление.

В картографии шрифт рассматривается как специфический носитель картографической информации. В отличие от условных знаков, отражающих пространственные, количественные и качественные параметры, подпись объекта выполняет функцию точной вербальной идентификации объекта, что определяет ее ключевую роль в структуре учебной карты [7]. Таким образом, существенное значение приобретает нормативность в написании топонимов. Одним из устойчивых источников орфографической вариантности в официальной топонимии является употребление буквы «ё»: в материале Государственного каталога географических названий показано, что сотни географических названий оказываются несогласованными именно из-за различий в написании, требуя нормализации. В нормативных источниках отмечается, что буква «ё» рекомендуется для предупреждения неправильного прочтения и указания произношения, в том числе в собственных именах и географических названиях. Для учебных карт, ориентированных на усвоение номенклатуры, целесообразно придерживаться единообразного воспроизведения «ё» в тех топонимах, где она нормативна, чтобы исключить разночтения и ошибки при запоминании [8].

Важным аспектом для чтения и запоминания названий географических объектов является орфоэпическая корректность, прежде всего постановка ударения в топонимах. В русской письменной традиции знак ударения рассматривается как средство, облегчающее правильное чтение, и применяется, в частности, для малоизвестных слов, в том числе собственных имен. При этом правила закрепляют использование ударений прежде всего в специализированных учебных текстах и словарях для указания правильного произношения. В связи с этим постановка

ударений непосредственно на карте уместна не как универсальная практика, а как целевой дидактический прием: на печатной карте ударения рационально использовать выборочно – для потенциально неоднозначных или трудных для чтения топонимов, тогда как в электронном формате корректнее реализовывать ударение по запросу, например, при наведении курсора на название или выборе объекта. Кроме того, электронные карты позволяют внедрить интерактивную вербализацию (произношение), что в контексте рассматриваемой темы приобретает важное значение и не требует постановки ударений в географических названиях.

Подписи географических объектов наряду с условными знаками являются основными элементами карты и обеспечивают вербальную идентификацию объектов в их пространственном положении. Для карт, предназначенных для изучения географической номенклатуры, это придает шрифтовому оформлению самостоятельную информационную функцию: параметры подписи должны обеспечивать различимость названий, их категориальное разграничение и согласование с остальными элементами картографического изображения.

Свойство информативности шрифта реализуется через его характеристики – размер, начертание, жирность/насыщенность, наклон, контрастность, плотность, цвет и др., которые позволяют не только передавать название объекта, но и отражать его относительную значимость, типологическую принадлежность и место в системе географических понятий.

Одной из функций шрифтового оформления учебной карты является формирование визуальной иерархии картографической информации. Размер, насыщенность, начертание и контраст позволяют выделять подписи различного уровня приоритета и задавать последовательность их визуального считывания. Для специализированной карты это особенно важно при одновременном отображении нескольких уровней географической номенклатуры.

Иерархия шрифтов служит средством упорядочения географической информации и разграничения объектов различного уровня значимости. Размер, гарнитура,

наклон и начертание могут использоваться для визуального ранжирования номенклатуры и облегчения поиска требуемой категории объектов [9]. При отсутствии выраженной иерархии подписи разных уровней конкурируют между собой, что затрудняет чтение карты; поэтому параметры шрифтового оформления должны назначаться не изолированно, а в составе общей системы условных обозначений [10].

Принцип многоплановости, являющийся классическим для условных обозначений на тематических картах, может применяться в шрифтовом оформлении карт, используемых для изучения географической номенклатуры. Такой подход может быть реализован в интерактивных функциях или анимации.

Объем текстовой информации непосредственно влияет на плотность картографического изображения. При высокой концентрации подписей возрастает вероятность их взаимного перекрытия и конкуренции с другими элементами карты. Различия в размере, насыщенности, цвете и начертании позволяют графически ранжировать подписи и регулировать визуальную выраженность отдельных категорий номенклатуры.

Таким образом, шрифтовое оформление выступает инструментом управления топонимической нагрузкой и визуальной иерархией карты. Для печатных учебных карт характерны постоянство масштаба и фиксированные условия воспроизведения, что определяет специфику требований к их шрифтовому оформлению [9-11]. Размер и начертание шрифта подбираются с учетом предполагаемого способа использования карты и плотности ее содержания. Существенное значение имеет достаточный контраст между надписью и фоном, поскольку после печати параметры отображения не могут динамически изменяться.

При выборе шрифтового оформления необходимо учитывать способ использования карты: настенный, настольный или электронный. Для каждого варианта различаются дистанция чтения, физический или экранный размер изображения и допустимая плотность подписей. Поэтому фиксированный универсальный кегль для вузовских карт не предлагается; его следует определять по результатам проектирования конкретного произведения с учетом

масштаба, формата, способа воспроизведения и уровня топонимической нагрузки.

Электронные учебные карты функционируют в условиях изменяемого масштаба и разнообразия устройств вывода. Масштабируемость и возможность динамического изменения изображения предъявляют иные требования к шрифтовому оформлению, ориентированные на адаптивность и устойчивую читаемость при различных параметрах вывода [12].

Технические характеристики электронных устройств необходимо учитывать при проектировании экранного картографического изображения [13]. На основе анализа научных и методических источников систематизированы следующие проектные ориентиры для шрифтового оформления электронных учебных карт:

- преимущественное использование прямых начертаний для основного массива подписей; наклон и размещение по кривой целесообразно сохранять как функциональный прием для отдельных категорий объектов;
- выбор гарнитур с хорошо различимыми знаками и достаточной высотой строчных букв для подписей малого экранного размера;
- контраст подписи с фоном должен обеспечивать устойчивую различимость знаков; конкретные параметры контраста следует определять с учетом фоновой окраски, размера подписи и условий экранного воспроизведения;
- применение контурных и полупрозрачных шрифтов для подписей значительных по площади объектов (материки, стран и др.);
- использование вариативных шрифтов как инструмента настройки насыщенности, ширины и других параметров в пределах единого семейства при сохранении стилистической согласованности подписей;
- сохранение различимости подписей при предусмотренных сценарием использования уровнях масштабирования электронной карты [12].

При выборе гарнитуры необходимо учитывать условия ее лицензирования, включая разрешенные способы использования, распространения и модификации файлов шрифта. Для картографического проекта предпочтительны гарнитуры,

условия лицензии которых однозначно допускают требуемые способы публикации в печатной и/или электронной форме.

Систематизация требований к шрифтовому оформлению печатных и электронных учебных карт показывает, что параметры шрифтовой системы необходимо назначать с учетом формата представления. Печатная карта проектируется для фиксированного масштаба и способа воспроизведения, тогда как электронная карта требует учета масштабирования, экранного разрешения и возможности изменения состава отображаемых подписей.

Таким образом, печатный и электронный форматы требуют дифференцированного проектирования шрифтового оформления. Общими остаются требования к различимости, иерархии и согласованности подписей с картографическим фоном, однако способы их реализации определяются носителем, масштабом, плотностью топонимической нагрузки и сценарием использования.

Результаты и их обсуждение

Проведенная систематизация показывает, что при проектировании карт для изучения географической номенклатуры необходимо отдельно учитывать состав топонимической нагрузки и способы ее графического ранжирования. В рамках настоящего исследования специализированная учебная карта рассматривается как картографическое произведение, в котором перечень изучаемых названий, их уровни приоритета и параметры шрифтового оформления задаются в соответствии с учебной задачей и форматом представления.

Предложена формализованная последовательность проектирования топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии. На входе задаются перечень географических объектов, учебный уровень, формат карты и параметры ее использования. На первом этапе из общего перечня выделяется базовая номенклатура, соответствующая школьному уровню и сохраняемая как опорный слой. На втором этапе к ней добавляется номенклатура, предусмотренная программой высшего образования. На третьем этапе при необходимости включаются объекты-ориентиры, обеспечивающие пространственную привязку изучаемых объектов.

Для каждого уровня назначаются приоритет подписи и шрифтовые параметры. Далее выполняется проверка визуальных конфликтов, различимости и соответствия условий воспроизведения выбранному формату. При возникновении коллизий корректируются размещение, размер или приоритет второстепенных подписей; при отсутствии коллизий формируется итоговая версия карты. Таким образом, результатом процедуры является не единый универсальный набор шрифтов, а согласованная система подписей, параметры которой определяются уровнем номенклатуры и форматом карты.

Для печатной карты масштаб и параметры просмотра изображения фиксированы. В этой связи при проектировании шрифтового оформления необходимо обеспечить различимость букв и гарнитур, согласованность подписей с фоном и воспроизводимость при выбранном способе

печати. Рубленые и серифные гарнитуры могут использоваться в одной системе при условии функционального разграничения категорий и сохранения общей стилистической согласованности. Курсив целесообразно применять как функциональный прием, например для части гидрографических подписей. Цвет и насыщенность следует назначать с учетом фоновой окраски и приоритета объекта (рис. 1).

Для электронного формата предложен сценарий многопланового представления содержания на единой картографической основе. Разделение номенклатуры по уровням может реализовываться через переключение тематических слоев, этапов представления или картографическую анимацию. Такой подход обеспечивает визуальное разграничение базовой, вузовской и ориентирующей номенклатуры без одновременного отображения всего массива подписей (рис. 2) [1].

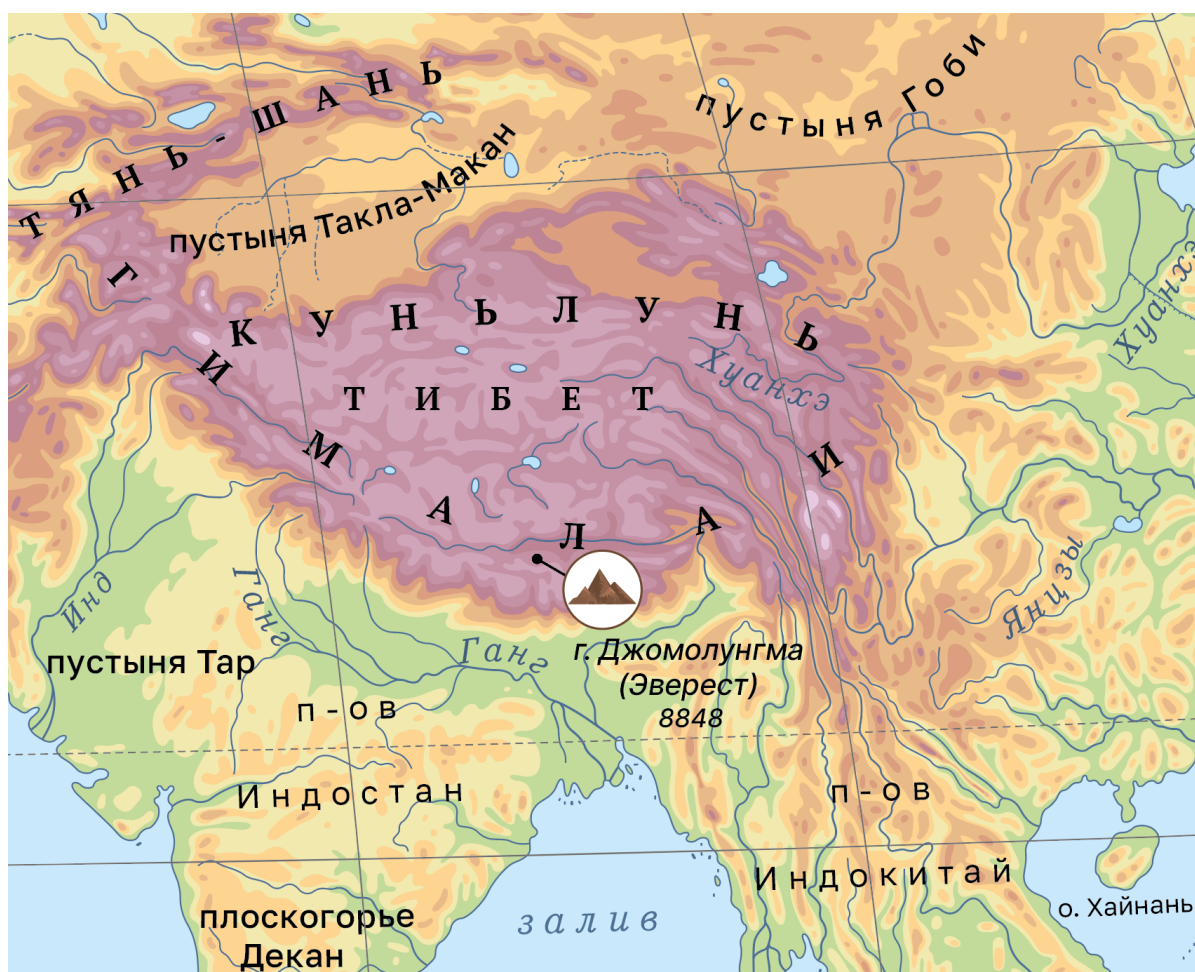


Рис. 1. Шрифтовое оформление фрагмента печатной настольной карты (авторская разработка)

Fig. 1. Typographic design of a printed tabletop map fragment (authors' original design)



Рис. 2. Шрифтовое оформление фрагмента электронной карты: подписи вузовской номенклатуры и объектов-ориентиров второго плана (авторская разработка; принцип многопланового представления ранее рассмотрен авторами в [1])

Fig. 2. Typographic design of a digital map fragment: labels of university-level nomenclature and second-level reference objects (authors' original design; the multilayer presentation principle was previously discussed in [1])

Систематизация рассмотренных требований подтверждает актуальность базовых критериев картографической типографики: различимость знаков, иерархичность, экономичность размещения, воспроизводимость и согласованность с картографическим фоном. Для электронного формата эти критерии дополняются требованиями к масштабируемости и устойчивости отображения на устройствах с различными характеристиками. Вариативные шрифты могут использоваться как один из инструментов настройки параметров начертания, но не рассматриваются как обязательное условие качественного электронного оформления.

На основе проведенной систематизации предложено формировать шрифтовую иерархию прежде всего за счет размера, насыщенности, начертания и цвета при сохранении различимости категорий подписей. Для основного массива топонимических подписей применение декоратив-

ных гарнитур нецелесообразно при малых размерах и высокой плотности содержания. Выбор гарнитуры и ее параметров должен учитывать назначение карты, характеристики носителя или устройства вывода и предполагаемые условия использования.

Полученные результаты согласуются с существующими положениями картографического дизайна о необходимости обеспечения различимости, иерархичности и согласованности подписей с картографическим фоном [9-11]. Вместе с тем предложенный подход конкретизирует эти положения применительно к специализированным учебным картам для изучения географической номенклатуры: шрифтовые параметры связываются не только с типом объекта и условиями воспроизведения, но и с уровнем номенклатуры в структуре учебного материала. В отличие от работ, посвященных преимущественно особенностям восприятия кар-

тографического изображения на различных устройствах [13] и визуализации шрифтового оформления мультимасштабных карт [14], в настоящем исследовании акцент сделан на согласованном проектировании топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии для печатного и электронного форматов. По отношению к ранее опубликованной работе авторов [1] полученный результат развивает общие положения о проектировании учебных карт до формализованной последовательности отбора уровней номенклатуры, назначения приоритетов подписей и проверки визуальных конфликтов.

Заключение

В результате исследования систематизированы требования к шрифтовому оформлению специализированных учебных карт для изучения географической номенклатуры и установлены проектные различия печатного и электронного форматов. Они связаны с фиксированностью масштаба и условий воспроизведения печатной карты и масштабируемостью, изменяемостью состава отображаемых подписей и характеристиками устройств вывода электронной карты.

Предложена формализованная последовательность формирования топонимической нагрузки и шрифтовой иерархии, предусматривающая выделение базовой школьной номенклатуры, добавление вузовского уровня, включение при необходимости объектов-ориентиров, назначение приоритетов и параметров подписей и последующую проверку визуальных конфликтов. Тем самым шрифтовое оформление рассматривается не как изолированный декоративный элемент, а как управляемый компонент структуры специализированной учебной карты.

Полученные результаты могут использоваться при проектировании и актуализации печатных и электронных картографических пособий для высшей школы. Ограничением настоящего исследования является отсутствие пользовательского эксперимента, поэтому влияние предложенных решений на скорость поиска, точность определения положения объектов и устойчивость усвоения географической номенклатуры требует отдельной экспериментальной проверки.

Список источников

1. Glebova D, Kovaleva O. current questions in the design and production of maps for studying the earth sciences module in universities. Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS (Nessebar, Bulgaria 16-21 June 2024). Sofia: Bulgarian Cartographic Association, 2024:25-34.
2. Ковалева О. В., Кошевой В. А. Проблемы изучения студентами географической номенклатуры и пути их решения // Научные труды географического факультета МПГУ (Москва, 11 марта 2024 г.). М., 2024. С. 87-97. EDN: ABUWQX
3. Глебова Д. Н. Использование современных технологий трёхмерного моделирования в изучении географической номенклатуры в вузах // 80-ая научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК (Москва, 07-11 апреля 2025 г.). М., 2025. С. 168-177. EDN: GVVUHA
4. Дамбуев И. А. К вопросу о нормализации употребления буквы ё в российской топонимии // Вопросы ономастики. 2018. Т. 15. № 2. С. 239-262. DOI: 10.15826/vopr_onom.2018.15.2.024
5. Поспелов Е. М. Картография и народное об-

References

1. Glebova D, Kovaleva O. current questions in the design and production of maps for studying the earth sciences module in universities. Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS (Nessebar, Bulgaria 16-21 June 2024). Sofia: Bulgarian Cartographic Association, 2024:25-34.
2. Kovaleva OV, Koshevoy VA. Challenges for students in learning geographical nomenclature and ways to address them. *Scientific Works of the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University (Moscow, March 11, 2024)*. Moscow, 2024:87-97. (In Russ). EDN: ABUWQX
3. Glebova DN. The use of modern 3D modeling technologies in the study of geographical nomenclature at the university level. *80th Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists of MIIGAiK (Moscow, April 7-11, 2025)*. Moscow, 2025:168-177. (In Russ). EDN: GVVUHA
4. Dambuev IA. On the standardization of the use of the letter "ё" in Russian toponymy. *Problems of Onomastics*. 2018;5(2):239-262. (In Russ). DOI: 10.15826/vopr_onom.2018.15.2.024
5. Pospelov EM. Cartography and public educa-

разование // Геогр. о-во СССР, Моск. филиал. М.: МФГО, 1975. 120 с.

6. Поспелов Е. М. Топонимика и картография: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1970. 430 с.

7. Беляев А. Н. О разных подходах к системному изучению географических названий // Вестник Челябинского государственного университета. 2008. № 16. С. 21-26. EDN: MUFQZL

8. Кошевой В. А., Зейналова, Е. Ю. Концептуальная основа учебно-методического пособия для бакалавров «Самостоятельная работа студентов по физической географии России» // Научные труды географического факультета МПГУ: сборник статей. М., 2022. С. 64-68.

9. Альбом картографических шрифтов // Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии. М.: Издательство геодезической и картографической литературы, 1956. Вып. 109. 195 с.

10. Биктимирова Н. М., Бугаевский Ю. Л. Об опыте разработки оформления карт и атласов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. Вып. 5. С. 66-71. EDN: UMRBFT

11. Краак М.-Я. Картография: визуализация геопространственных данных. –М.: Научный мир, 2005. 324 с. EDN: QKFHND

12. Сокольников Н. М., Сокольников Е. В. Формирование визуальных коммуникаций средствами дизайна // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2016. Т. 2. С. 69-72. EDN: WNCKFH

13. Утробина Е. С., Кокорина И. П., Радченко Л. К., Молокина Т. С. Особенности восприятия картографического изображения на картах и мобильных устройствах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 1. № 2. С. 103-109. DOI: 10.33764/2618-981X-2020-1-2-103-109. EDN: BSLJPO

14. Шилов Г. Г. Проблемы визуализации шрифтового оформления мультимасштабных карт // 79-ая научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 08-12 апреля 2024 г.). М., 2024. С. 268-276. EDN: EIDSLS

tion. *Geographical Society of the USSR, Moscow Branch*. Moscow: MFGO, 1975:120. (In Russ)

6. Pospelov E. M. Toponymy and Cartography: Dr. Sci. (Geography) diss. Moscow, 1970:430. (In Russ)

7. Belyaev AN. On various approaches to the systemic study of geographical names. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2008(16):21-26. (In Russ). EDN: MUFQZL

8. Koshevoy VA, Zeynalova EYu. Conceptual basis of the educational and methodological manual for bachelor's students "Independent Student Work on the Physical Geography of Russia". *Scientific Works of the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University: Collection of Articles*. Moscow, 2022:64-68. (In Russ)

9. Album of Cartographic Fonts. *Proceedings of the Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography*. Moscow: Geodesic and Cartographic Literature Publ., 1956(109):195. (In Russ)

10. Biktimirova NM, Bugaevsky YuL. On the experience of developing map and atlas design. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2015(5):66-71. (In Russ). EDN: UMRBFT

11. Kraak M-J. Cartography: Visualization of geospatial data. Moscow: Nauchny Mir, 2005:324. (In Russ). EDN: QKFHND

12. Sokolnikova NM, Sokolnikova EV. Formation of visual communications through design means. *Aktual'nye Problemy Sovremennoj Nauki, Tekhniki i Obrazovaniya*. 2016;2:69-72. (In Russ). EDN: WNCKFH

13. Utrobina ES, Kokorina IP, Radchenko LK, Molokina TS. Features of perception of the cartographic image on maps and mobile devices. *Interekspo Geo-Sibir*. 2020;1(2):103-109. (In Russ). DOI: 10.33764/2618-981X-2020-1-2-103-109. EDN: BSLJPO

14. Shilov GG. Issues regarding the visualization of typography for multi-scale maps. *79th Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists (Moscow, April 8-12, 2024)*. Moscow, 2024:268-276. (In Russ). EDN: EIDSLS

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Дарья Николаевна Глебова, аспирантка кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия, glebova.d.00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-1335-3020>

Ольга Владимировна Ковалева, кандидат тех-

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Darya N. Glebova, Ph.D. student, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia, glebova.d.00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-1335-3020>

Olga V. Kovaleva, Ph.D. (Technical Science), Associate Professor, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Moscow State Univer-

нических наук, доцент кафедры визуализации гео-
данных и картографического дизайна, Москов-
ский государственный университет геодезии и
картографии, Москва, Россия, cart777@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-0524-7454>

Критерии авторства

Глебова Д. Н. – концепция исследования, по-
становка цели и задач, проведение исследования,
анализ и систематизация материалов, разработка
картографических примеров, подготовка и дора-
ботка текста статьи; Ковалева О. В. – предостав-
ление материалов, научное консультирование и
редакционная корректировка текста статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Статья поступила в редакцию 22.05.2026
Одобрена после рецензирования 11.06.2026
Принята к публикации 22.06.2026

sity of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia,
cart777@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0524-7454>

Contribution of the authors

Glebova D. N. – research concept, formulation of
aim and objectives, conducting the research, analy-
sis and systematization of materials, development
of cartographic examples, preparation and revision
of the paper text; Kovaleva O. V. – provision of ma-
terials, scientific consultation and editorial revision
of the paper text.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 22.05.2026
Approved after reviewing 11.06.2026
Accepted for publication 22.06.2026

Науки о Земле / Earth Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК 911.2
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-71-80
EDN: EISWLA

Река Количи – новый «старый» географический объект в Дагестане

© 2026 Идрисов И. А.^{✉1}, Липилин Д. А.^{2, 3}, Черноморец С. С.⁴, Омаров Г. М.⁵

¹Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Махачкала, Россия, idris_gun@mail.ru[✉]

²Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина,

³Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Россия, lipilin_dmitrii@mail.ru

⁴Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Москва, Россия, sc@geogr.msu.ru

⁵Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова
Махачкала, Россия, gamzat.djigit@ya.ru

РЕЗЮМЕ. Интенсивные осадки весны 2026 г. привели к развитию множества ярких природных явлений на Восточном Кавказе. Возникновение крупных оползней, паводков и селей значительно изменило природную среду региона. **Цель.** Представить состояние географической среды региона, изменившееся в результате резкой активизации экзогенных процессов весной 2026 г. **Методы.** Выполнен анализ разновременных космоснимков, карт и иной пространственной информации по району работ. Проведены полевые маршрутные обследования. **Результаты.** Установлено формирование значительного эрозионного размыва длиной более 8 км между реками Количи и Какаозень, возникшего весной 2026 г. **Выводы.** В результате паводков и селей произошло соединение русел нескольких ранее изолированных рек с образованием единого водотока р. Количи протяженностью более 64 км. В пределах исследуемого участка сформирован единый водоток, включающий реки Капрах, Какаозень и Количи, ранее рассматривавшиеся обособленно. Бассейн единой реки занимает 10-е место среди рек Дагестана. Новая река в целом возобновила древнюю речную систему, существовавшую в недавнем геологическом прошлом.

Ключевые слова: Восточный Кавказ, Количи, речной перехват, сель, интенсивные осадки, паводок.

Благодарность

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ 25-47-00020 (Механизм формирования оползней, вызванных сильными землетрясениями, и оценка обусловленной ими опасности в тектонически активных регионах Китая и России) и 25-27-00741 (Формирование юга Прикаспийской низменности по геолого-геоморфологическим данным), а также НИР МГУ «Лавины, сели и сопряженные опасные природные процессы: оценка, моделирование и управление рисками».

Формат цитирования: Идрисов И. А., Липилин Д. А., Черноморец С. С., Омаров Г. М. Река Количи – новый «старый» географический объект в Дагестане // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 71-80. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-71-80. EDN: EISWLA

The Kolichi River – a New “Old” Geographical Feature in Dagestan

©2026 Idris A. Idrisov^{✉1}, Dmitry A. Lipilin^{2, 3}, Sergey S. Chernomorets⁴,
Gamzatbek M. Omarov⁵

¹Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Makhachkala, Russia, idris_gun@mail.ru[✉]

²Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin,

³Kuban State Technological University

Krasnodar, Russia, lipilin_dmitrii@mail.ru

⁴Lomonosov Moscow State University

Moscow, Russia, sc@geogr.msu.ru

⁵Gamzatov Dagestan State Pedagogical University

Makhachkala, Russia, gamzat.djigit@ya.ru

ABSTRACT. Heavy precipitation in the spring of 2026 triggered a series of dramatic natural phenomena in the Eastern Caucasus. The occurrence of large-scale landslides, floods and debris flows significantly altered the region's natural environment. **Aim.** To present the state of the region's geographical environment following the sharp intensification of exogenous processes in the spring of 2026. **Methods.** Multi-temporal satellite imagery, maps and other spatial data regarding the study area were analyzed, alongside field surveys. **Results.** The formation of a significant erosional channel over 8 km long between the Kolichi and Kakaozen rivers, which originated in the spring of 2026, was identified. **Conclusions.** As a result of floods and mudflows, the channels of several previously isolated rivers merged to form a single watercourse – the Kolichi River – spanning over 64 km. A unified watercourse has formed within the study area, comprising the Kaprakh, Kakaozen and Kolichi rivers, which were previously considered distinct entities. The basin of this unified river ranks tenth among the rivers of Dagestan. Overall, the new river has re-established an ancient river system that existed in the recent geological past.

Keywords: Eastern Caucasus, Kolichi, river capture, mudflow, intense precipitation, flood.

Acknowledgments

The research was supported by Russian Science Foundation (RSF) grants 25-47-00020 (Mechanism of landslide formation triggered by strong earthquakes and assessment of associated hazards in tectonically active regions of China and Russia) and 25-27-00741 (Formation of the southern Caspian Lowland based on geological and geomorphological data), as well as the Moscow State University research project “Avalanches, mudflows and associated hazardous natural processes: assessment, modeling and risk management”.

For citation: Idrisov IA, Lipilin DA, Chernomorets SS, Omarov GM. The Kolichi River – a New “Old” Geographical Feature in Dagestan. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences.* 2026;20(2):71-80. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-71-80. EDN: EISWLA

Введение

Весна 2026 г. на Восточном Кавказе характеризовалась интенсивными осадками. По экспертным оценкам, объем выпавшей воды составил несколько кубических километров. Характерно, что большая часть выпавшей влаги поступила в атмосферу при испарении с Каспийского моря. Этому способствовали высокая температура воды и благоприятная атмосферная циркуляция.

Предварительные данные по количеству осадков весной 2026 г. и в предыдущий период в пределах района работ представлены в таблице 1, данные получены с сайта [1]. По данным метеостанции Избербаш, за осенне-весенний период 2025-2026 гг. количество выпавших осадков составило около трех годовых норм. На метеостанции Сергокала, расположенной в центре района работ (рис. 1), зафиксировано порядка полутора годовых норм осадков.

Ярким проявлением подобного выпадения осадков было формирование многочисленных крупных оползней и подпрудных озер, также активизация селевых процессов и развитие паводков. Значительные объемы влаги в осенний период привели к переувлажнению склонов, что способствовало созданию условий и дальнейшему формированию многочисленных селевых потоков весной 2026 г. Эти явления произошли на фоне существенного увеличения расходов воды в реках в связи с обильными осадками.

Значительным геоморфологическим преобразованием в регионе стало формирование в центральной части Дагестана долины р. Количи на всем ее протяжении – от истоков до впадения в море. Оформление единого русла произошло в результате прохождения нескольких селевых потоков и паводков.

В этой связи следует особо отметить, что гидрографические исследования в Республике Дагестан проведены недоста-

точно и фрагментарно. Научные публикации охватывают лишь отдельные участки рек и в основном связаны с решением специализированных задач.

К настоящему времени изученность гидрографической сети района исследований выглядит следующим образом. В учебном пособии [2] приводятся справочные данные о реках региона, схема расположения которых показана на рисунке 1. На эту схему нами наложено положение

актуального на май 2026 г. русла р. Количи. В еще одной обзорной работе эта река не отмечена ввиду малого масштаба ранее известных ее отдельных участков [3].

Основной целью представленной статьи является описание актуального состояния географической среды Восточного Кавказа, в значительной степени измененной в результате резкой активизации разнообразных экзогенных процессов в регионе весной 2026 г.

Таблица 1. Осадки метеостанций
Table 1. Weather station precipitation

Название Name	Осадки за период в мм Period precipitation (mm)				Сумма в мм, весна 2026 Total in mm, spring 2026	Среднее за год в мм Annual average in mm
	Сентябрь 2025 – Февраль 2026 September 2025 – February 2026	Март 2026 March 2026	Апрель 2026 April 2026	Май 2026 May 2026		
Сергокала	382	55	90	80	225	404
Избербаш	420	91	67	84	242	244



Рис. 1. Гидрографическая схема бассейнов малых рек Предгорного Дагестана [2].
(Положение р. Количи на май 2026 г. показано синей линией)

Fig. 1. Hydrographic map of small river basins in the foothills of Dagestan [2].
(The course of the Koliichi River as of May 2026 is shown by a blue line)

Материал и методы исследования

Для получения актуального положения русла реки авторами были использованы данные дистанционного зондирования Земли, а именно материалы спутниковой съемки с космического аппарата Sentinel на 7 мая 2026 г. (ID снимка: GS2B_20260507T073609_047880_N05.12). Отметим, что применение материалов спутниковой съемки для дешифрирования объектов землепользования в общем

[4] и водных объектов в частности является хорошо зарекомендовавшей практикой, подробно описанной в научной литературе [5; 6]. Участок исследования представлен на рисунке 2. Применение актуальных космоснимков для анализа изменений природной среды позволяет оперативно реагировать на процессы, происходящие вследствие развития опасных экзогенных геологических явлений.

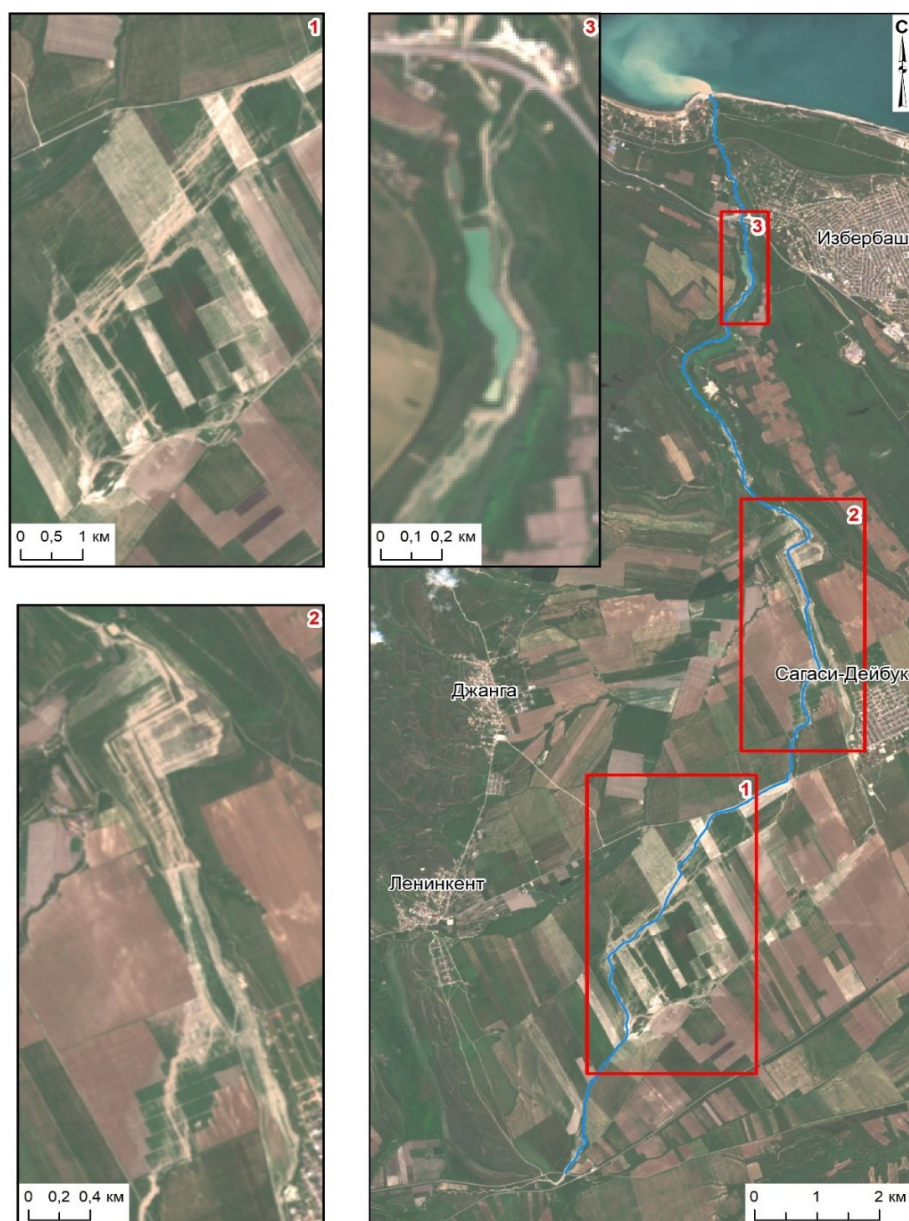


Рис. 2. Участок формирования русла р. Количи. Космический снимок 7 мая 2026 г.

Врезка 1: Участок формирования нового русла «сквозь» сельхозугодья.

Врезка 2: участок размыва виноградников; Врезка 3: участок обхода малого водохранилища

Fig. 2. Riverbed formation section of the Kolichi River. Satellite image from May 7, 2026.

Inset 1: Section where a new channel is forming across agricultural land.

Inset 2: Area of vineyard erosion; Inset 3: Section bypassing the small reservoir.

Таблица 2. Параметры основных частей бассейна р. Количи

Table 2. Parameters of the main sections of the Kolichi River basin

Название частей бассейна Name of basin section	Длина в км Length (km)	Площадь в км ² Area (km ²)
Капрах (1)	28,4	137
Какаоозень (2)	13,7	172
Количи (3)	22,1	277
Всего	64,2	586

Уточнение природного состояния долины рек, в том числе в районе размыва, проводилось в ходе двух маршрутных полевых обследований в конце мая 2026 г. В ходе работ было выявлено и осмотрено множество селевых форм рельефа и проявлений в бассейне реки. Были осмотрены особенности строения поймы р. Какаоозень.

Результаты

По данным дешифрирования космоснимков, в сравнении с материалами предшествующего периода, вдоль магистральных русел рек Количи и Какаоозень зафиксирован размыв прибрежной полосы шириной в первые десятки метров. В пределах этой зоны отмечено полное уничтожение древесно-кустарниковой растительности. Такие же наблюдения были сделаны в ходе полевого обследования долин рек Какаоозень и Капрах в мае 2026 г.

На участке между исчезающим устьем р. Какаоозень и руслом р. Количи можно выявить сложную картину размыва. Фиксируется несколько зон размыва за счет бифуркации русла в 2-4 км к северу от автодороги Сергокала-Первомайское. Два русла отчетливо фиксируются на космоснимках, основным из которых стало западное русло (рис. 2, врезка 1). Также отмечается наличие нескольких зон бифуркации для каждого из этих русел. Характерной особенностью является сложный характер размыва территории и формирования нового магистрального русла. Протяженность этого размытого участка нового русла превысила 8 км.

Верхняя часть реки по анализу исследованных карт региона носит название Капрах, средняя – Какаоозень, нижняя – Количи. В рамках настоящего исследования предложено назвать всю систему в целом – р. Количи. Количественные показатели речного бассейна установлены с помощью общедоступных систем предоставления данных ДЗЗ (Yandex, Google). Бассейн реки занимает 10-е место в Дагестане [2] с общей площадью около 590 км² и длиной более 64 км. Исток реки находится на вы-

соте порядка 2071 м на северном склоне г. Кулалбел. Устье находится на высоте -29 м на берегу Каспийского моря в пределах Буйнакской бухты. Падение реки составляет 2100 м.

Бассейн реки в целом имеет следующие особенности. Река пересекает различные геологические элементы, и бассейн может быть разделен на три крупные части, в основном соответствующие ранее выделяемым трем рекам (табл. 2). Границы частей бассейна и трасса русла реки показаны на рисунке 3.

Участок Капрах (1, рис. 3) занимает верхнюю и юго-западную часть бассейна. В целом соответствует бассейну р. Капрах. На исследованных топографических картах показано, что эта река просто исчезает в районе с. Зурилаудимахи. По нашим данным это не так, река на всем данном участке течет в глубокой долине, где принимает крупный правый приток – р. Какаоозень. Долина реки огибает периклиналь крупной Мутринской антиклинали, расположенной южнее [7]. Эта периклиналь бронируется мощной толщей известняков нижнего мела и представлена хребтом Лес. Р. Капрах (Количи) на отдельных участках прорезает эти породы в виде крутостенных каньонов глубиной первые сотни метров. Такое же строение имеют долины и ее правых притоков, в том числе верховья р. Какаоозень. Левые притоки дренируют склоны хребта Шамхалдаг. Хребет сформирован трещиноватыми известняками верхнего мела и терригенными породами верхов нижнего мела. Эта часть бассейна генерирует значительные объемы обломочного материала, мощным плейфом покрывающего подножья хребта, которые могут быть источником развития интенсивных селевых процессов. На обзорных картах селевой активности Кавказа данная особенность региона не отражена [8]. Большую часть участка занимают горные луга, меньшую – широколиственные леса.

Участок Какаоозень (2, рис. 3) расположен ниже передового хребта верхнемелового

вых известняков. Также к нему относится обширная область дренирования северных склонов хребта Шамхалдаг. В восточной части занимает территорию уплотненной акчагыльской террасы на высотах около 600 м, на которой расположено крупное с. Сергокала. Большая часть участка покрыта широколиственными лесами и пашней.

Участок Количи (3, рис. 3) занимает северную часть бассейна. Он имеет сложное строение. В его разных частях развиты известняки верхнего мела, терраса акчагыльского этапа, хребты из песчаников и известняков неогена, морские террасы плейстоцена. В пределах участка распространены сухие степи, редколесья, леса, горные луга и пашни.

Анализ рельефа бассейна р. Количи показывает, что развитие речной сети здесь было сложным. В частности, выделена древняя широкая долина в нижней части бассейна р. Какаоzenь. Эта палеодолина протягивается с юга на север вдоль хребта Кацакамыш в сторону хребта Катынтау (1, рис. 4). Отчетливо фиксируются правый и левый борта древней долины. Также за-

метно, что современное русло р. Какаоzenь (Количи) пересекает речную террасу правого борта палеодолины. Характерно резкое морфологическое несоответствие узкой современной долины шириной 20 м и палеодолины шириной более 1000 м. Время функционирования этой палеодолины и речного перехвата оценить сложно. Палеодолина отчетливо фиксируется вниз по рельефу и проходит между хребтами Катынтау и Кацакамыш в районе с. Новое Мутри. Ниже и восточнее пересечения хребтов отмечается отчетливо выраженный уступ врезания в поверхность плейстоценовой террасы. Хорошо выраженным является и правый приток этой палеодолины, который протягивается от с. Сагаси Дейбук на север в сторону с. Дабиш (рис. 4). Здесь отчетливо отмечаются борта высотой до 20 м древней долины этого притока. Вероятно, современное русло р. Количи на участке актуального прорыва русла выпло именно в эту древнюю долину (2, рис. 2). Обращает на себя внимание значительный размер этой палеодолины.

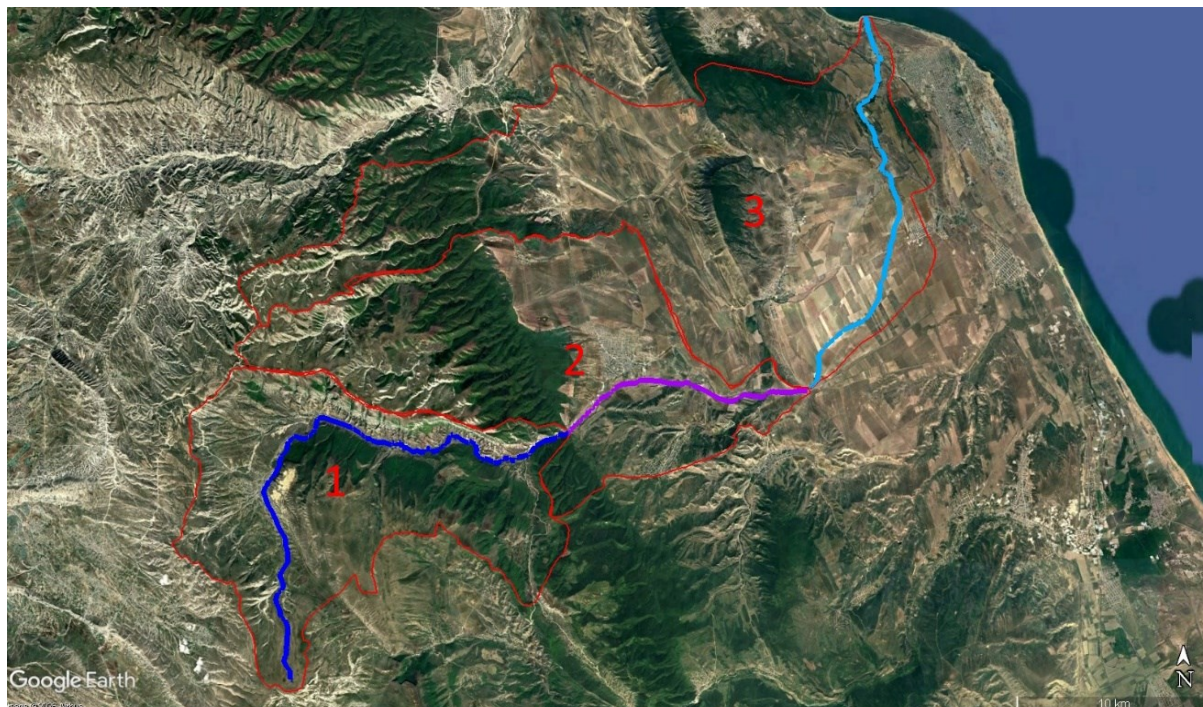


Рис. 3. Бассейн р. Количи
Fig. 3. The Kolichi River basin

Перестройки речной сети и формирование речных перехватов широко распространены на Кавказе и часто охватывают древние речные системы. Рассматриваемый участок соответствует месту перехода реки в межгорную равнину (синклинальное плато), где происходит резкий перегиб продольного профиля реки и формирование веерообразной сети русел [9]. Для рек, дренирующих мощные толщии трещиноватых известняков верхнего мела Восточного Кавказа, характерны значительные мощности аллювия, представленного преимущественно щебнистыми обломками этих известняков, поступление которого в долины происходит квазипериодическими селевыми процессами в течение большей части неотектонического этапа. Например, для р. Губденозень на протяжении первых десятков километров долины, для нижних частей рек Манасозень и Гамриозень (ближайших бассейнов с севера и юга) мощность подобных отложений достигает первых десятков метров, и они разрабатываются многочисленными карьерами. Для Восточного Кавказа ранее от-

мечались примеры перестройки речных русел [10].

Еще один участок со значительной перестройкой рельефа расположен в 2 км ниже по течению. Здесь отмечается относительно плоская слабонаклонная поверхность конуса выноса (рис. 4, 2), выходящего на восток в сторону одной из древних морских террас. Следует отметить, что эта терраса в целом занимает крупную Каранайаульскую синклиналь. Вероятно, конус выноса является наложенным на эту поверхность, и сформировался значительно позднее основной части террасы. Восточная периферия конуса интенсивно разрезана и относится к бассейну р. Инчхеозень. В некоторых источниках русло р. Какаоозень трассировалось на северо-восток [2, с. 30] вплоть до моря. Полевые исследования не подтверждают наличия поверхностного стока в этом направлении. При этом мощная толща галечников и песков, слагающих конус выноса и в целом обширную морскую террасу, предполагает возможность подземного стока из низовий р. Какаоозень в восточном направлении.

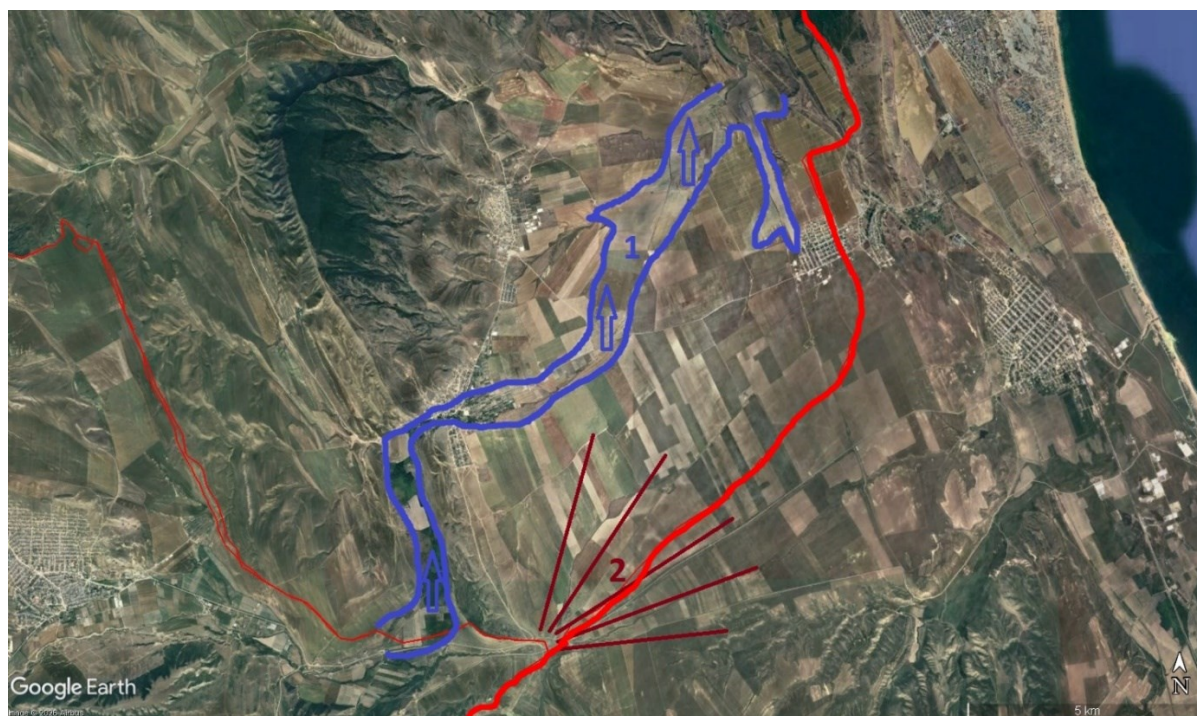


Рис. 4. Положение древних форм рельефа в бассейне р. Количи.

1 – палеорусло р. Количи. 2 – конус выноса р. Какаоозень

Fig. 4. Location of ancient landforms in the Kolichi River basin.
1 is paleochannel of the Kolichi River; 2 is alluvial fan of the Kakaozen River

Обсуждение

Произшедший весной 2026 г. интенсивный размыв вдоль долины с прорывом р. Какаоzenь и ее воссоединение с р. Количи таким образом возобновило единую геоморфологическую и гидрологическую систему, которая существовала в этом районе в недавнем геологическом прошлом. Формирование нового сквозного русла (рис. 5) способствовало выносу значительного объема аллювиальных отложений в устьевую часть р. Количи. В условиях современного падения уровня Каспийского моря и интенсивного развития аккумулятивных форм рельефа в береговой зоне это может оказать существенное влияние на развитие береговых процессов на участках берега, прилегающих к устью р. Количи.

Отдельно следует отметить сложившуюся практику отображений речной сети района работ. На листах топографических карт для данного участка предполагается специфическая конфигурация направлений рек. Представленная там трассировка отображена и на обзорных картах, и в атласах Республики [11; 12]. В частности, отмечается р. Джангакулачай, которая показана как продолжение р. Губденозень. В низовьях эта река наименована как р. Количи. Следует отметить, что р. Джангакулачай существует в реальности. Однако она является самостоятельной небольшой рекой бассейна р. Количи. Она начинается на склонах хребта Шамхалдаг

в пределах этого участка, и на картах до 1970-х гг. не указывалась в какой-либо связи с р. Губденозень. Вероятно, перенос названия связан со строительством оросительных систем в середине XX в. на данном участке. На картах конца XIX в. [13] представлен еще один вариант отображения речной сети района, где р. Какаоzenь стекает на восток и впадает в море, то есть в пределах низовья р. Инчхе. Этот же вариант представлен и в работе [2] (рис. 1).

Интенсивные перестройки географической среды Дагестана ранее отмечались при исследовании различных частей региона [14-15]. По существующим данным основным фактором подобных изменений являются масштабные изменения климата в Кавказско-Каспийском регионе в последние десятилетия.

Заключение

Представленные данные показывают формирование нового единого русла р. Количи в Дагестане. Такое крупное географическое событие было обусловлено значительным количеством атмосферных осадков и предшествующим увлажнением склонов. Это привело к резкой активизации экзогенных процессов весной 2026 г. Развитие единого русла реки произошло в результате формирования крупных селевых потоков. Река с предлагаемым названием Количи стала новым ярким природным объектом, обогатившим природу Республики Дагестан.



Рис. 5. Участок размыва русла р. Какаоzenь (Количи) ниже моста на а/д Сергокала – Первомайское (фото И. Идрисова)

Fig. 5. Channel erosion site on the Kakaozen (Kolichi) River downstream of the bridge on the Sergokala – Pervomayskoye highway (photo by I. Idrisov)

Список источников

1. Климатический монитор – мониторинг погоды в России и СНГ. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (дата обращения: 11.06.2026).
2. Акаев Б. А., Атаев З. В., Гаджиев Б. С., Гаджиева З. Х., Ганиев М. И. и др. Физическая география Дагестана. М.: Школа, 1996. 380 с.
3. Идрисов И. А., Гусейнова А. Ш. Карта «Водные объекты Дагестана для атласа "Культурное и природное наследие Дагестана" // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2020. № 4(83). С. 46-50. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-83-4-46-50. EDN: LOOTTZ
4. Погорелов А. В., Липилин Д. А. О дешифрировании объектов землепользования по космическим снимкам на территории Краснодарского края // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 2(35). С. 46-51. EDN: RSCAWZ
5. Погорелов А. В., Липилин Д. А., Киселев Е. Н. Об изменении гидрографических характеристик рек в степных агроландшафтах за последние десятилетия (на примере бассейна р. Бейсуг, Краснодарский край) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 19-32. DOI 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32. EDN UNQJHH
6. Погорелов А. В., Липилин Д. А., Яроцкая Е. В. Геоинформационный анализ современных изменений гидрографических характеристик речной сети на Азово-Кубанской равнине (бассейн реки Ея) // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 2. С. 161-179. DOI 10.46698/VNC.2023.35.64.001. EDN: CUIIFZ
7. Барковская К. С., Безбородов Р. С., Брод И. О. и др. Геологическое строение восточной части северного склона Кавказа. Ленинград: Гостоптехиздат. Ленингр. отд-ние, 1960. 320 с.
8. Карта селевых бассейнов Северного Кавказа. М 1:200000. Перов В. Ф., Бударина О. И., Сидорова Т. Л., Сейнова И. Б. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, географический факультет, 2012. URL: https://www.debrisflow.ru/wp-content/uploads/2015/09/Perov_et_al_Map_of_Debris_Flow_Catchments_of_North_Caucasus.pdf (дата обращения: 11.06.2026).
9. Лебедева Е. В. Перестройки речной сети: причины и факторы // Геоморфология. 2012. № 3. С. 21-32. EDN: PFPGUN
10. Идрисов И. А. О структуре рельефа юго-запада Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. № 1(54). С. 36-43. EDN: PUVTUT
11. Атлас Республики Дагестан. М.: Роскартография, 1999, 64 с.
12. Атлас Республики Дагестан. Пятигорск: Сев.-Кав. АГП, 2011. 152 с.

References

1. Climate monitor – weather monitoring in Russia and CIS. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (accessed 11.06.2026). (In Russ)
2. Akaev BA, Ataev ZV, Gadzhiev BS, Gadzhieva ZKh, Ganiev MI, et al. Physical geography of Dagestan. Moscow: Shkola, 1996:380. (In Russ)
3. Idrisov IA, Guseynova ASH. Map "Water Bodies of Dagestan" for the Atlas "Cultural and Natural Heritage of Dagestan". *Trudy Instituta Geologii Dagestanskogo Nauchnogo Centra RAN*. 2020(4(83):46-50. (In Russ). DOI: 10.33580/2541-9684-2020-83-4-46-50. EDN: LOOTTZ
4. Pogorelov AV, Lipilin DA. Interpretation objects of land use on space images in the Krasnodar Region. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2013(2(35):46-51. (In Russ). EDN: RSCAWZ
5. Pogorelov AV, Lipilin DA, Kiselev EN. Changes in the hydrographic characteristics of rivers in steppe agrolandscapes over the past decades (on the example of the Beysug river, Krasnodar Territory). *InterCarto. Intergis*. 2021;27(4):19-32. (In Russ). DOI 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32. EDN UNQJHH
6. Pogorelov AV, Lipilin DA, Yarotskaya EV. GIS analysis of modern changes in the hydrographic characteristics of the river network on the Azov-Kuban plain (Eya river basin). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023;13(2):161-179. (In Russ). DOI 10.46698/VNC.2023.35.64.001. EDN: CUIIFZ
7. Barkovskaya KS, Bezborodov RS, Brod IO, et al. Geological structure of the Eastern Part of the Northern Slope of the Caucasus. Leningrad: Gostoptekhizdat (Leningrad Branch), 1960:320. (In Russ).
8. Perov VF, Budarina OI, Sidorova TL, Seynova IB. Map of debris-flow catchments of the North Caucasus. Scale 1:200,000. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2012. URL: https://www.debrisflow.ru/wp-content/uploads/2015/09/Perov_et_al_Map_of_Debris_Flow_Catchments_of_North_Caucasus.pdf (accessed 11.06.2026). (In Russ)
9. Lebedeva EV. Drainage network alterations: causes and factors. *Geomorfologiya*. 2012(3):21-32. (In Russ). EDN: PFPGUN
10. Idrisov IA. Relief structure in Southwestern Caspian lowland. *Arid Ecosystems*. 2013;19(1(54):36-43. (In Russ). EDN: PUVTUT
11. Atlas of the Republic of Dagestan. Moscow: Roscartography, 1999:64. (In Russ)
12. Atlas of the Republic of Dagestan. Pyatigorsk: North-Cauc. AGP, 2011:152. (In Russ)
13. Map of the Caucasian Region 1869. Scale 1:420000. Geoportal of the Russian Geographical Society. URL:

13. Карта Кавказского края 1869. М 1:420000. Геопортал РГО. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/topograficheskie-karty/karta-kavkaza-s-prilegayushchimi-chastyami-turcii-i-persii-i-3> (дата обращения: 11.06.2026).

14. Мамаев С. А., Юсупов А. Р., Идрисов И. А., Мамаев А. С., Юсупов З. А. Новый Дюльтычайский крупный оползень на Восточном Кавказе // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2020. № 1(80). С. 78-84. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-64-1-77-83. EDN: KYHGMZ

15. Идрисов И. А. Береговая зона Каспийского моря в условиях снижения его уровня в XXI веке // Навигация и гидрография. 2025. № 4(81). С. 150-156. EDN: QKGOXA

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Идрисов Идрис Абдулбутаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия, idris_gun@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7880-9016>

Липилин Дмитрий Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства и земельного кадастра, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина; доцент кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия, lipilin_dmitrii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3766-6063>

Черноморец Сергей Семенович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, sc@geogr.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1798-8724>

Омаров Гамзатбек Магомедалиевич, аспирант кафедры географии и методики преподавания, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала, Россия, gamzat.djigit@ya.ru

Критерии авторства

Идрисов И. А. – разработка концепции, написание текста; Липилин Д. А. – поиск и обработка космических снимков; Черноморец С. С., Омаров Г. М. – проведение полевых исследований, подготовка графического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.06.2026
Одобрена после рецензирования 22.06.2026
Принята к публикации 29.06.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Idris A. Idrisov, Ph.D. (Geography), Leading Researcher, Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia, idris_gun@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7880-9016>

Dmitry A. Lipilin, Ph.D. (Geography), Associate Professor, Department of Land Management and Land Cadastre, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin; Associate Professor, Department of Cadastre and Geoengineering, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, lipilin_dmitrii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3766-6063>

Sergey S. Chernomorets, Ph.D. (Geography), Leading Researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, sc@geogr.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1798-8724>

Gamzatbek M. Omarov, Ph.D. student, Department of Geography and Teaching Methods, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia, gamzat.djigit@ya.ru

Contribution of the authors

Idrisov I. A. – conceptualization, writing the text; Lipilin D. A. – acquisition and processing of satellite imagery; Chernomorets S. S., Omarov G. M. – conducting field research, preparation of graphic materials.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 15.06.2026
Approved after reviewing 22.06.2026
Accepted for publication 29.06.2026

Науки о Земле / Earth Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 551.24:556
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-81-93
EDN: EQIWQJ

Возможные причинно-следственные связи колебаний уровня Каспийского моря

©2026 Меликов М. М. [✉]1, Меликов Я. М.¹, Меликова Н. М.²

¹Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Махачкала, Россия, melikov1958@yandex.ru [✉], yasin3@inbox.ru

² Дагестанский государственный университет
Махачкала, Россия, naika8626@mail.ru

РЕЗЮМЕ. Цель. Выявление и анализ комплекса факторов, определяющих современное снижение уровня Каспийского моря, с акцентом на взаимодействие климатических, тектонических и антропогенных причин. **Материалы и методы.** Проведён междисциплинарный анализ долгосрочных данных об уровне моря, климатических показателях, геофизических и геологических материалах по региону, а также сведений о техногенных воздействиях (добыча углеводородов, подземные взрывы, гидростроительство). Использованы методы сравнительного анализа, картографирования и исторической реконструкции. **Результаты.** Установлено, что ведущим драйвером обмеления является антропогенное изменение климата, приводящее к росту испарения и сокращению речного стока. Показано, что этот тренд накладывается на природную цикличность и модулируется тектоническими процессами (фазы сжатия/растяжения литосферы), которые перераспределяют подземные воды. Обоснована значимая роль техногенных факторов (разработка месторождений, подземные ядерные взрывы) в дестабилизации гидрогеологического режима. Подтверждена вероятность существования подземной гидравлической связи между Каспийским и Аральским морями через карстовые системы плато Устюрт. **Выводы.** Современное падение уровня Каспия – многофакторный процесс. Доминирующий вклад вносит климатическое потепление, однако его эффекты усиливаются или ослабляются тектонической динамикой и антропогенным вмешательством в недра. Необходим комплексный мониторинг и учёт всех указанных факторов для прогнозирования изменений и предотвращения экологического кризиса в Арало-Каспийском регионе.

Ключевые слова: Каспийское море, колебания уровня, изменение климата, тектоника, добыча нефти и газа, подземный ядерный взрыв, карст, Аральское море.

Формат цитирования: Меликов М. М., Меликов Я. М., Меликова Н. М. Возможные причинно-следственные связи колебаний уровня Каспийского моря // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 81-93. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-81-93. EDN: EQIWQJ

Possible Causal Relationships of Fluctuations in the Caspian Sea Level

©2026 Mumin M. Melikov [✉]1, Yasin M. Melikov¹, Naida M. Melikova²

¹Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Makhachkala, Russia, melikov1958@yandex.ru [✉], yasin3@inbox.ru

²Dagestan State University
Makhachkala, Russia, naika8626@mail.ru

ABSTRACT. Aim. To identify and analyze the complex of factors driving the recent decline of the Caspian Sea level, focusing on the interaction of climatic, tectonic and anthropogenic causes. **Materials and Meth-**

ods. An interdisciplinary analysis was conducted using long-term data on sea levels, climatic indicators, geophysical and geological materials for the region, and information on technogenic impacts (hydrocarbon extraction, underground explosions, hydraulic engineering). Methods of comparative analysis, mapping and historical reconstruction were used. **Results.** It was found that the leading driver of shallowing is anthropogenic climate change, leading to increased evaporation and reduced river flow. It is shown that this trend is superimposed on natural variability and modulated by tectonic processes (lithospheric compression/extension phases) that redistribute groundwater. The significant role of technogenic factors (field development, underground nuclear explosions) in destabilizing the hydrogeological regime is substantiated. The likelihood of an underground hydraulic connection between the Caspian and Aral Seas through the karst systems of the Ustyurt Plateau is confirmed. **Conclusions.** The current decline in the Caspian Sea level is a multifactorial process. Climate warming plays the dominant role, yet its effects are amplified or mitigated by tectonic dynamics and anthropogenic interference with the subsurface. Comprehensive monitoring and consideration of all these factors are essential for forecasting changes and preventing an environmental crisis in the Aral-Caspian region.

Keywords: Caspian Sea, level fluctuations, climate change, tectonics, oil and gas extraction, underground nuclear explosion, karst, Aral Sea.

For citation: Melikov MM, Melikov YaM, Melikova NM. Possible Causal Relationships of Fluctuations in the Caspian Sea Level. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences.* 2026;20(2):81-93. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-81-93. EDN: EQIWQJ

*Скажи, родимый Каспий, на каком
Из сорока наречий Дагестана
Ты говоришь? Язык звучит твой странно,
Он непонятен мне, хоть и знаком...*
(Р. Гамзатов)

Введение

Каспийское море – крупнейший замкнутый водоем планеты – в последние десятилетия стремительно мелеет, что ведет к деградации экосистем и социально-экономическим потерям прибрежных регионов. Сокращаются места обитания рыб и тюленя, пересыхают нерестилища, мелеют причалы; на севере море местами отступило на 3-3,5 км. По прогнозам, к 2100 г. уровень может снизиться еще на 8-14 м, а при неблагоприятном сценарии – на 18-21 м [1]. Это грозит исчезновением мелководных заливов, обнажением обширных площадей дна и нарушением работы портов. Поэтому выявление причин снижения уровня является актуальной междисциплинарной задачей.

Основной причиной современного обмеления считается изменение климата. Потепление усиливает испарение с поверхности моря и уменьшает речной приток. Из примерно 130 впадающих рек 80-90 % годового стока обеспечивает Волга, среднегодовой сток которой снизился до 210-213 км³ против прежних 238 км³. Из-за мягких зим северная часть Каспия почти не замерзает, поэтому испарение продолжается круглый год. По моделям, к концу XXI в. оно может возрасти примерно на 25 %, тогда как осадки и речной сток из-

меняются незначительно либо сократятся. Уровень моря может снизиться примерно на 8 м при умеренном сценарии и до 14 м при высоком потеплении [1]. Даже спад на 5-6 м обнажит значительную часть северного шельфа.

Однако сложную картину колебаний уровня нельзя объяснить только климатом. Историко-геологические данные свидетельствуют о крупных колебаниях уровня моря и в доиндустриальный период, когда антропогенного влияния на климат не существовало. Так, в районе Дербента археологи отметили по крайней мере три уровня стояния Каспия за последнее тысячелетие (рис. 1), и все они были выше уровня 1970-х гг. Средневековые фортификационные сооружения (стены Дербентской крепости V-X вв.) указывают, что море в начале прошлого тысячелетия поднималось до отметок значительно выше современных, несмотря на отсутствие тогда заметных глобальных климатических изменений [2]. Известна и цикличность колебаний уровня: в новое время отмечались резкий спад уровня в 1930-х гг. (-3 м), затем устойчивый подъем в 1978-1995 гг. (+2,3 м) и новое снижение после 2005 г. по настоящее время. Таким образом, современные колебания уровня носят циклический характер, и текущий этап обмеления следует рассматривать как часть природного многолетнего

цикла. В то же время антропогенный фактор способен усилить амплитуду и скорость этих колебаний. Без своевременных мер дальнейшее падение уровня может привести к экологическому кризису: прогнозируются разрушение прибрежных экосистем, массовая гибель нерестилищ ценных видов рыб и утрата функционирования портов и других объектов береговой инфраструктуры.

В работе рассмотрены четыре группы возможных причин колебаний уровня Каспия: климатические изменения, тектонические процессы, техногенное воздействие и подземная гидрогеологическая связь с Аральским морем. Оценивается вклад каждого фактора и их взаимодействие.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на междисциплинарном анализе многолетних гидромет-

рических наблюдений и спутниковой альтиметрии, климатических рядов и сценариев СМIP6 [1], геологических, геофизических и сейсмологических материалов, а также данных о нефтегазовой разработке. Сопоставлены изменения уровня Каспия с температурой воздуха, осадками и речным стоком; проанализированы вертикальные движения земной коры, землетрясения и активность грязевых вулканов. Используются исторические планы береговой линии, современные геологические карты плато Устюрт и спутниковые снимки NASA Earth Observatory [3], зафиксировавшие появление в 2023 г. временного острова после извержения подводного грязевого вулкана. Выполнен критический обзор работ по тектоно-гидрогенному механизму каспийских колебаний, включая исследования Н. А. Шилов [4] и Б. Н. Голубова [5].

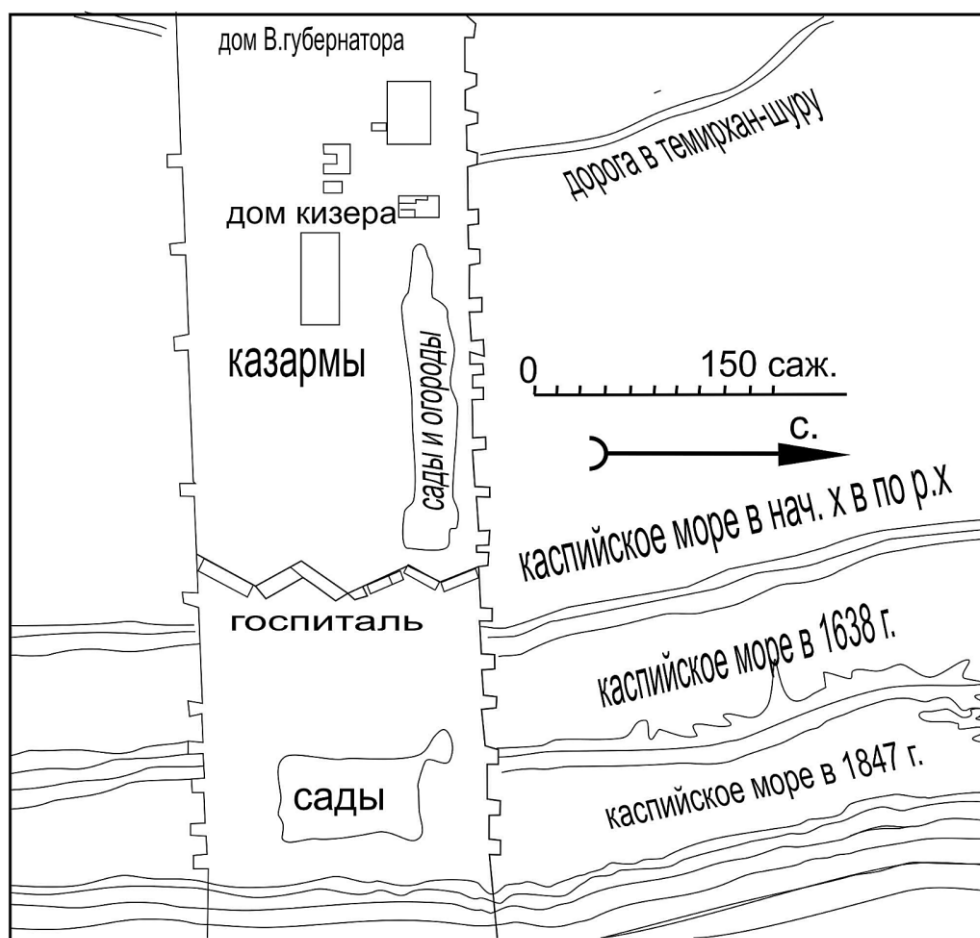


Рис. 1. План г. Дербента по съёмкам 1847 г. с указанием уровней стояния Каспийского моря в разные эпохи [2]

Fig. 1. Plan of Derbent city based on the 1847 survey, showing Caspian Sea levels during various epochs [2]

Данные об антропогенных воздействиях (разработка нефтегазовых месторождений, гидротехнические сооружения на реках, подземные ядерные испытания) собраны из научных публикаций и открытых источников. В частности, учитывались отчеты о промышленных подземных ядерных взрывах (ПЯВ) на плато Устюрт и в низовьях Амударьи и Сырдарьи в 1960-х гг., статистические сведения о добыче нефти и газа на каспийском шельфе с середины XX в. по настоящее время, материалы о масштабных мелиоративных работах в бассейнах рек региона и др. Для обобщения разнородных данных использован системный подход, позволяющий связать воедино факторы различной природы – от климатических до геодинамических и техногенных – в единую картину причинно-следственных связей изменения уровня Каспийского моря.

Результаты и их обсуждение

Климатические изменения и водный баланс Каспийского моря

Глобальное потепление является ключевым фактором современного снижения уровня Каспия. Рост температуры увеличивает испарение с моря и прилегающей суши, а дефицит влаги сокращает приток рек. Решающее значение имеет Волга, обеспечивающая до 80-90 % стока: в последние годы ее годовой сток на 10-15 % ниже многолетней нормы. Это связано как с уменьшением осадков на водосборе, так и с зарегулированием реки каскадом водохранилищ.

Повышение температуры усиливает испарение даже при близком к норме количестве осадков. Особенно велики летние потери; зимой испарение продолжается из-за сокращения ледового покрова на мелководном севере. Согласно климатическим прогнозам, к 2100 г. испарение может увеличиться примерно на четверть, тогда как осадки и речной приток возрастут незначительно либо сократятся [1]. В результате уровень моря способен упасть на 8-14 м, а при наихудшем сценарии – на 18-21 м [1]. Уже снижение на 5-6 м превратит в сушу значительную часть северного шельфа.

Климатический тренд накладывается на природную цикличность. Подъем уровня в 1980-е гг. связывают, в частности, с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции, однако в 1978-1995 гг. уровень вырос на 2,5 м всего за 17

лет. Освоенные после прежнего обмеления участки шельфа тогда вновь оказались под водой. Нынешнее отступление моря повторно стимулирует хозяйственное освоение обнажившегося дна без достаточного учета возможного возврата воды. История Каспия требует учитывать широкий диапазон колебаний при планировании прибрежной деятельности и рассматривать наряду с климатом дополнительные механизмы.

Тектонические процессы и влияние геодинамики на уровень моря

Каспийское море расположено в сложной геотектонической обстановке на стыке крупных литосферных плит. Южная Каспийская впадина фактически представляет собой небольшую «внутреннюю океаническую котловину»: по данным глубокого сейсмического зондирования, кора под дном южного Каспия относится к океаническому типу – она тонкая, с мощным базальтовым слоем, и отделена разломами от окружающих континентальных структур. Вокруг впадины подняты горные сооружения Кавказа и Иранского нагорья с аномально толстой корой. Регион южного и западного Прикаспия – тектонически активная зона взаимодействия Евразийской и Аравийской плит. Современные движения земной коры здесь весьма значительны: отдельные районы испытывают поднятия или опускания со скоростями от нескольких до десятков мм в год. Такие вертикальные перемещения дна непосредственно отражаются на относительном уровне моря: при опускании дна (за счет осадочного уплотнения или тектонического проседания) при прочих равных уровень воды относительно берегов будет расти, и наоборот.

Помимо медленных движений, в Прикаспийском регионе происходят землетрясения, что указывает на накопление напряжений в земной коре. Сейсмическая активность фиксируется как в прибрежной зоне, так и под акваторией моря. Особенно выделяется зона разломов в Южном Каспии у берегов Азербайджана – здесь сосредоточены многочисленные подводные грязевые вулканы (рис. 2). Грязевой вулканизм – характерная особенность Южно-Каспийского бассейна: на территории Азербайджана и прилегающего шельфа известно порядка 300 грязевых вулканов, периодически извергающихся на суше и под водой. Такие извержения

сопровождаются выбросом большого объема пород и флюидов, что может приводить к локальным деформациям морского дна. Например, в июле 2021 г. извержение грязевого вулкана на о. Дашлы (близ Апшеронского п-ова) вызвало подъем острова и увеличение его площади более чем в 1,5 раза за счет выхода 10^5 м^3 породы. А в начале 2023 г. мощное извержение подводного вулкана Куманы породило новый «остров-призрак» диаметром около 400 м, который вскоре размывом исчез. Подобные эпизоды происходили и ранее (задокументировано образование временных островов начиная с 1861 г.), указывая на постоянную активность глубинных флюидов и динамичность литосферы под морем. Сами по себе грязевые вулканы, конечно, не влияют на глобальный уровень моря, однако их активность свидетельствует о том, что геологическая среда под Каспием нестабильна и подвержена изменениям, способным влиять на объем порового пространства и циркуляцию подземных вод.

Согласно концепции Н. А. Шилов и М. И. Кривошея, циклы сжатия и растяжения литосферы изменяют обмен подземных вод с Каспийским бассейном [7]. При сжатии пластовые воды выдавливаются из осадочного чехла в море, а при растяжении возрастает емкость пористых пород и часть морской воды поглощается недрами. Поэтому геодинамический фактор может усиливать или компенсировать климатическое воздействие. Долговременные наблюдения связывают многие фазы подъема уровня с усилением сжимающих деформаций, а фазы падения – с растяжением коры. Дискуссионной остается гипотеза импактного происхождения Южно-Каспийской впадины: расчеты допускают образование 6-7 млн лет назад кратера диаметром около 210 км и глубиной до 30 км [6]. Предполагаемое радиально-концентрическое строение отражено в геологическом разрезе впадины (рис. 3), а землетрясения и грязевые вулканы концентрируются по ее периферии.

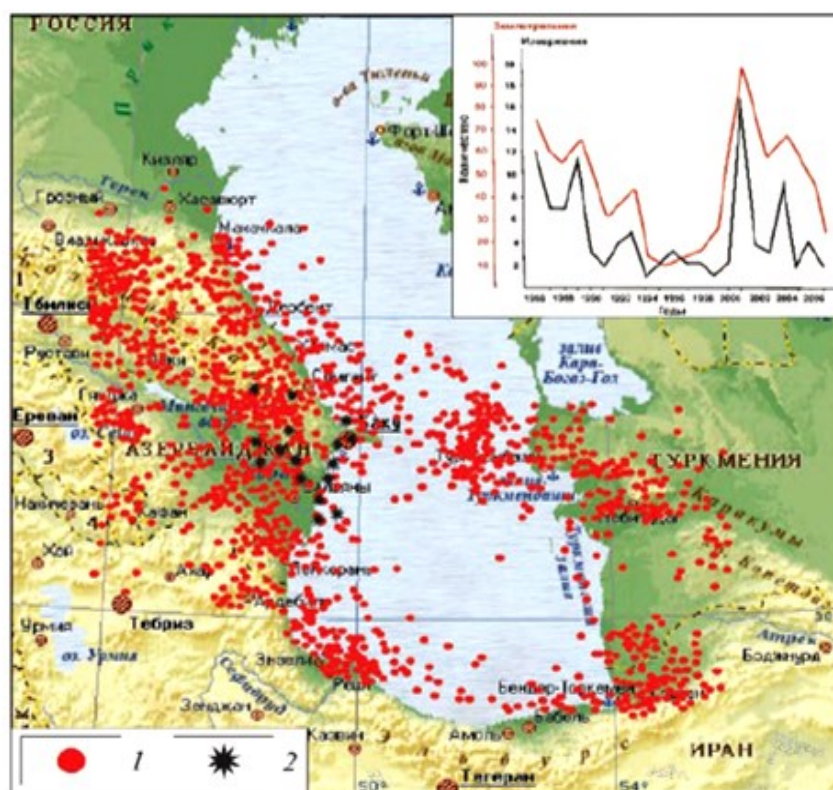


Рис. 2. Карта расположения грязевых вулканов и эпицентров землетрясений в Каспийском море и зависимость извержений грязевых вулканов от землетрясений [6]

Условные обозначения: 1 – эпицентры землетрясений, 2 – грязевые вулканы.

Fig. 2. Map of the location of mud volcanoes and earthquake epicenters in the Caspian Sea and the relationship between mud volcanoes eruptions and earthquakes [6]

Legend: 1 is earthquake epicenters, 2 is mud volcanoes.

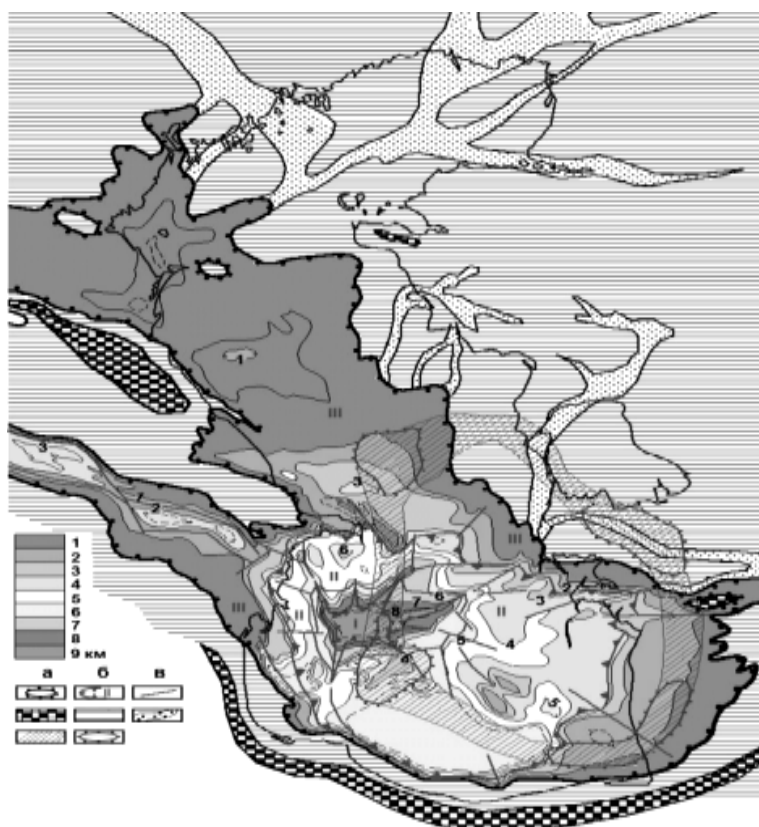


Рис. 3. Схема радиально-концентрического (кратерного) строения среднеплиоценовых отложений и глубинных границ земной коры Южно-Каспийской впадины с элементами палеогеографии [8]

Fig. 3. Diagram of the radial-concentric (crater-like) structure of Middle Pliocene deposits and deep crustal boundaries of the South Caspian Basin with paleogeographic elements [8]

Колонка: мощность среднеплиоценовых отложений, км. *Верхний ряд:* а – современный контур распространения среднеплиоценовых отложений; б – границы структурно-фациальных зон в этих отложениях: I – предполагаемая воронка ударного кратера; II – зона выброса обломочного материала вокруг кратера; III – область распространения отжатых на дневную поверхность подземных вод и активизации плоскостного смыва, возникшая после «метеоритного» удара; в – разломы. *Средний ряд:* область отсутствия среднеплиоценовых отложений и их частичного размыва: а – горные хребты; б – уплощенные и наклонные равнины; в – долины рек, зародившиеся в плиоцене. *Нижний ряд:* а – Южно-Каспийская концентрическая зона пониженной мощности земной коры; б – участки наиболее приподнятого современного залегания поверхности Мохоровичича (до глубин 24–26 км).

Column: Thickness of Middle Pliocene deposits, km. *Upper row:* a is modern contour of the Middle Pliocene deposits distribution; b is boundaries of structural-facies zones within these deposits: I is presumed impact crater funnel; II is zone of ejected clastic material around the crater; III is area of discharge of squeezed-out groundwater to the daylight surface and activation of surface washout, formed after the «meteoritic» impact; c is faults. *Middle row:* Area of absence and partial erosion of Middle Pliocene deposits: a is mountain ranges; b is flattened and sloping plains; c is river valleys that originated in the Pliocene. *Lower row:* a is South Caspian concentric zone of reduced crustal thickness; b is areas where the modern Mokhorovichich discontinuity lies at the shallowest depths (down to 24–26 km).

Несмотря на дискуссии, концепция литосферно-гидрогеологической взаимосвязи уровня моря сейчас считается весьма вероятной и подтверждается данными. В настоящее время фиксируются значительные современные тектонические движения в Арало-Каспийском регионе (местами 5–10 мм/год). Модельные оценки показывают, что изменение емкости кас-

пийской котловины вследствие таких деформаций дна и берегов может давать вклад, сопоставимый по величине с изменениями объема воды, особенно учитывая относительно небольшие абсолютные колебания водного баланса. Поэтому учет геодинамических процессов необходим для полного понимания изменчивости уровня Каспийского моря.

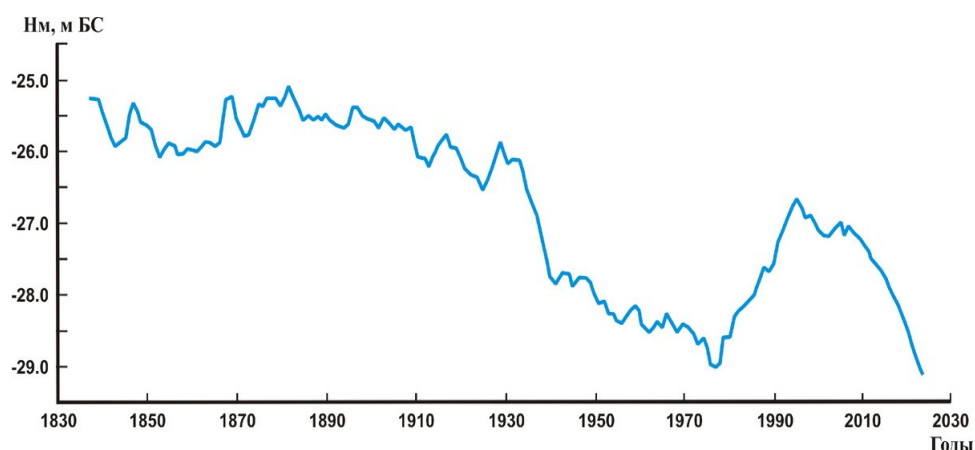


Рис. 4. Многолетний ход уровня Каспийского моря
(график изменений отметки уровня относительно условного нуля) [2; 7]
Fig. 4. Long-term trend of the Caspian Sea level
(graph showing changes in the water level relative to an arbitrary zero mark) [2; 7]



Рис. 5. Схема современных тектонических движений Арало-Каспийского региона за 1940-1950 – 1970-1975 гг. [2; 8]

Обозначения: 1 – изолинии скоростей вертикальных движений (мм/год); 2 – направления горизонтальных деформаций; 3 – области преобладающих поднятий; 4 – области преобладающих опусканий.

Fig. 5. Scheme of recent tectonic movements in the Aral-Caspian region for 1940-1950 – 1970-1975 [2; 8].

Legend: 1 is isolines of vertical movement rates (mm/year); 2 is directions of horizontal deformations; 3 is areas of predominant uplift; 4 is areas of predominant subsidence.

Долговременные ряды наблюдений уровня и данных о современных движениях коры подтверждают эти выводы. На рисунке 4 представлен многолетний ход уровня Каспийского моря (за последние примерно 100 лет), а на рисунке 5 – схема

современных тектонических движений в Арало-Каспийском регионе за 1940/1950-1970/1975 гг. [2; 8]. В рамках этой схемы изолинии отображают скорости вертикальных движений (мм/год), стрелки – направления горизонтальных деформаций.

ций, штриховкой выделены районы преобладающих поднятий и опусканий. Как видно, фазам сжатия тектоносферы соответствовали повышения уровня моря, а фазам растяжения – понижения. По оценке Н. А. Шилов и соавт. [4; 7], в настоящее время наблюдается фаза относительного растяжения коры, что совпадает с продолжающимся спадом уровня. Конечно, климатические и гидрологические факторы (приток 130 рек и др.) также влияют на уровень моря, однако геодинамический механизм показывает, что их действие накладывается на глубокие циклы в литосфере. Иными словами, одних климатических причин недостаточно для объяснения наблюдаемых колебаний уровня, особенно в исторической перспективе – необходим учет тектонических процессов и их взаимодействия с гидроклиматическими условиями.

Добыча углеводородов и другие антропогенные воздействия на недра

Прикаспийский регион обладает богатыми запасами нефти и газа, интенсивное освоение которых началось с середины XX в. Масштабное техногенное вмешательство в геологическую среду – еще один потенциальный фактор изменения уровня Каспийского моря. Речь идет прежде всего о массовой добыче углеводородов в прибрежных недрах и на шельфе, отборе подземных вод (для поддержания пластового давления), закачке воды и прочих флюидов в пласты, а также о крупных инженерных работах (бурение, строительство платформ и др.). Все эти процессы вызывают изменения напряженно-деформированного состояния пород, могут приводить к просадкам земной поверхности и активизации разломной деятельности. Известны случаи, когда интенсивная нефтедобыча провоцировала локальные землетрясения и прогибы земной поверхности (например, под крупными газовыми месторождениями в разных регионах мира). В районе Каспия также отмечались индуцированные сейсмические события, хотя отделить их от естественных сложно. Тем не менее, исследования геодинамики юга Восточно-Европейской равнины показывают, что разработка крупных месторождений способна влиять на режим подземных вод и деформации земной коры на значительном расстоянии. Например, изменения пластового давления при выкачивании

нефти (особенно при закачке воды для поддержания давления) могут распространяться на связанные с морем водоносные горизонты, изменяя поток подземных вод – питая море или отводя из него воду.

Гидротехнические сооружения также влияют на водный баланс. Строительство каскада плотин на Волге и ее притоках временно сократило сток в Каспий и совпало с падением уровня в 1950-1977 гг. Позднее влияние зарегулирования стабилизировалось, однако в засушливые годы удержание воды для энергетики и водоснабжения усиливает климатически обусловленное обмеление. Поэтому режим водохранилищ остается важным объектом межрегиональной координации.

Особое место занимают промышленные подземные ядерные взрывы 1969-1970 гг. на плато Устюрт и в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. По гипотезе Б. Н. Голубова [5], они нарушили гидрогеологический режим, создав трещины и каверны, связавшие ранее изолированные горизонты. Часть подземных вод, питавших Арал, могла быть перенаправлена к Каспию, а зоны взрывов в речных долинах – задерживать приток к Аралу. Этим объясняется противофазность изменений в 1978-1995 гг.: подъем Каспия примерно на 2,5 м при падении Арала примерно на 7 м. Возможный механизм техногенного перехвата показан на рисунке 6.

Количественно отделить влияние нефтедобычи, плотин и взрывов от природных тенденций сложно. Однако уплотнение осадков и изъятие флюидов создают подземную емкость, сопоставимую с объемом воды при сантиметровых изменениях уровня моря. Техногенные процессы повышают неустойчивость геологической среды и могут ускорять фильтрацию или провальное явление.

На водный баланс влияли также добыча урановых руд на Мангышлаке, разработка солей Кара-Богаз-Гола и масштабное орошение в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. Водозабор ускорил обмеление Арала, тогда как Каспий, согласно рассматриваемой гипотезе, получал часть подземных вод из-под Устюрта. Масштаб преобразования природных систем региона во второй половине XX в. оказался сопоставим с действием отдельных естественных процессов.

После распада СССР прикаспийские государства активизировали освоение шельфа. Правовой режим дна был закреплен Конвенцией о правовом статусе Каспийского моря, подписанной в 2018 г. [9]. Поскольку полный мораторий на добычу экономически малореалистичен, приоритетом должна стать стратегия, минимизирующая геодинамические и экологические риски.

Оценки запасов и добычи углеводородов Каспия существенно различаются. По данным Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ), запасы нефти на

шельфе превышают 60 млрд т [10], тогда как российские оценки для национального сектора заметно ниже. Годовая добыча в акватории оценивается примерно в 200 млн т нефти и 270 млрд м³ газа [11]. Основные месторождения показаны на рисунке 7. Их разработка ведется в сложных штормовых и ледовых условиях; на мелководье даже небольшие выбросы нефти или бурового раствора способны загрязнить значительную часть акватории [12]. Поэтому расширение шельфовой добычи требует усиленного экологического и геодинамического контроля.

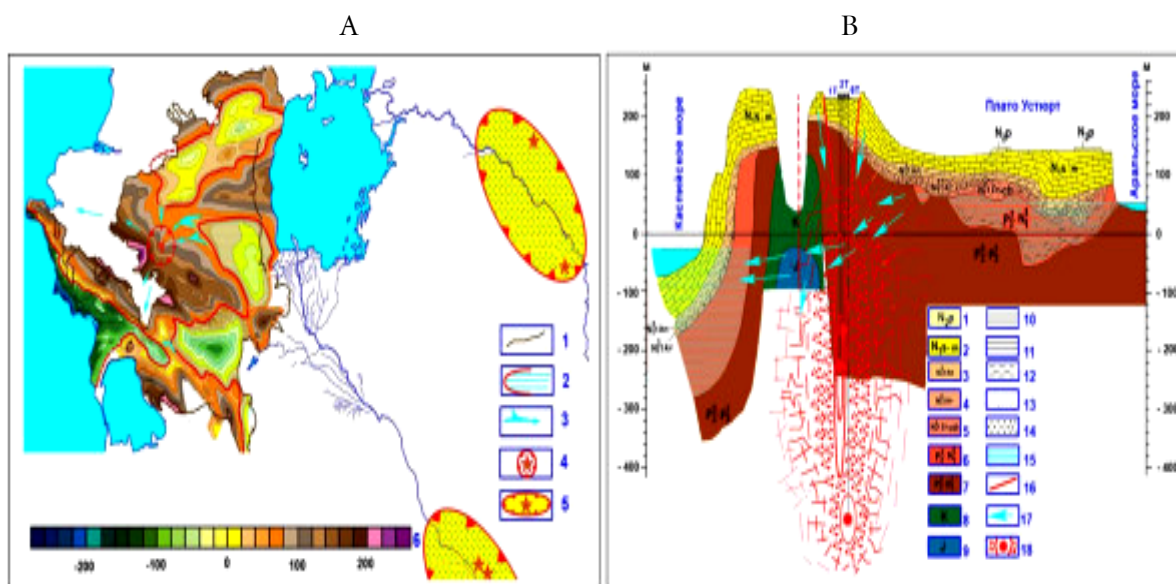


Рис. 6. Схемы техногенного перехвата стока (составлено Б. Н. Голубовым) [5]
Fig. 6. Schemes of anthropogenic runoff interception (by B. N. Golubov) [5].

А – план подземного стока Арало-Каспийского региона: 1 – уступ (чинк) плато Устюрт; 2 – области проникновения вод из Арала и Каспия в карстовые пласты миоцена; 3 – пути дренирования подземных вод; 4 – зона провальных воронок на местах ПЯВ «Мангышлак-1т, 2т, 6т»; 5 – зоны поглощения подземных вод в долинах Амударьи и Сырдарьи (районы ПЯВ); 6 – глубина залегания кровли водонепроницаемых глин палеогена. **В** – разрез подземного стока на плато Устюрт: 1-9 – отложения различного возраста; 10-14 – литология пород; 15 – области проникновения вод Арала и Каспия в пустоты миоцена; 16 – разрывные нарушения; 17 – пути дренирования подземных вод; 18 – зоны ПЯВ. *Примечание:* под региональным термином «чинк» понимаются крутые обрывы высотой до 300-350 м, образующие край поднятых плато (результат абразии берегов Каспия во время прошлых трансгрессий).

A is plan of the underground flow of the Aral-Caspian region: 1 is ledge (chink) of the Ustyurt plateau; 2 is areas of water penetration from the Aral and Caspian into the Miocene karst layers; 3 is ways of groundwater drainage; 4 is zone of collapse craters at the sites of the “Mangyshlak-1t, 2t, 6t” underground nuclear explosions; 5 is zones of groundwater absorption in the Amu Darya and Syr Darya valleys (areas of UNE); 6 is depth to the top of Paleogene impermeable clays. **B** is section of underground flow on the Ustyurt Plateau: 1-9 is deposits of different ages; 10-14 is rock lithology; 15 is areas where Aral and Caspian waters penetrate into Miocene voids; 16 is faults; 17 is routes of underground water drainage; 18 is areas of groundwater discharge. *Note:* The regional term “chink” refers to steep cliffs up to 300-350 m high, which form the edge of raised plateaus (resulting from coastal abrasion by the Caspian Sea during past transgressions).

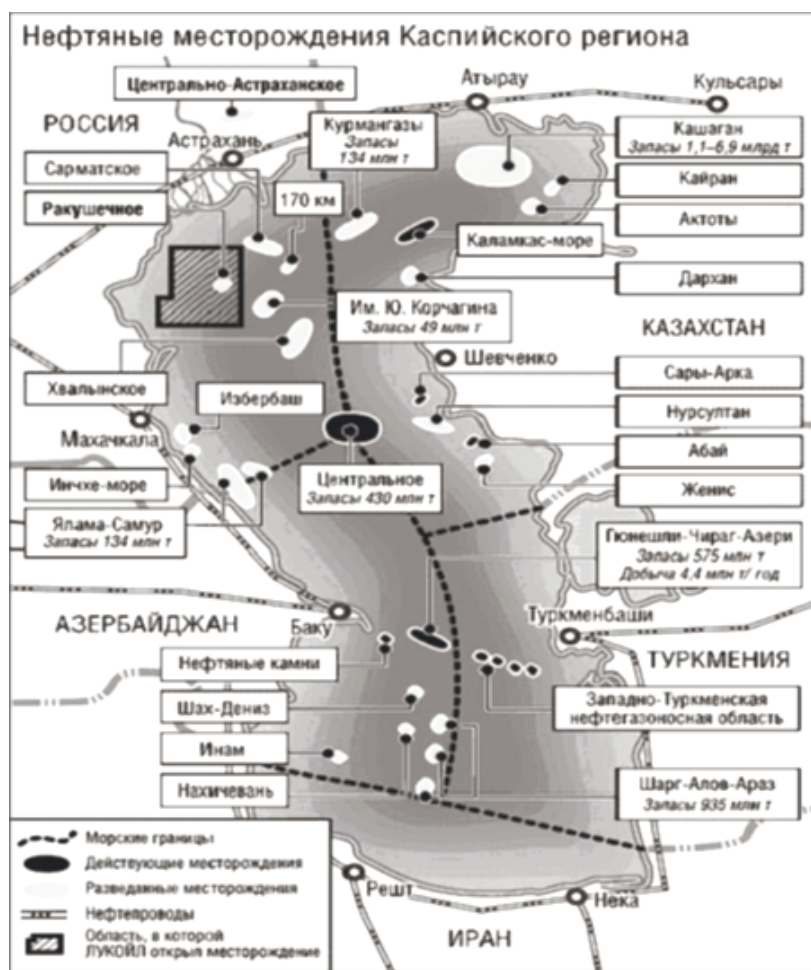


Рис. 7. Нефтяные месторождения Каспийского региона [12]

Fig. 7. Oil fields of the Caspian region [12]

Техногенные изменения геодинамики проявляются с задержкой и могут быть необратимыми. Снижение пластового давления при выработке залежей изменяет гидро- и газодинамический режим, создает дополнительные напряжения и повышает риск землетрясений и просадок. Это особенно важно для тектонически нестабильного Прикаспия. По данным сейсмокаталогов, за последние 45 лет в акватории произошло не менее 15 подводных землетрясений магнитудой 5 и выше [13].

В целях мониторинга влияния интенсивной разработки недр на геодинамику Прикаспийского нефтегазоносного бассейна высказываются предложения о создании системы специализированных сейсмостанций на межгосударственном уровне, с включением их в Единую геофизическую службу РАН и международные сети наблюдений. Такой мониторинг позволил бы своевременно выявлять индуцированные сейсмические явления и

предотвращать катастрофические последствия.

На севере Прикаспийской синеклизы техногенные воздействия сочетаются с естественным карстом: около 20 % территории сложено карстообразующими породами. Карстовые полости могут создавать дополнительные пути инфильтрации и оттока воды [14]. Следовательно, локальные геологические условия способны усиливать действие климатических и тектонических факторов.

Подземная связь Каспийского и Аральского морей

Гипотеза подземного водообмена между Каспийским и Аральским морями связана с геологическим строением плато Устюрт, где распространены глубокие водоносные горизонты и карстовые полости. Наличие колодцев и пещер на разных глубинах допускает фильтрацию воды между бассейнами, хотя прямые каналы пока не установлены.

Б. Н. Голубов рассматривал Арал и Каспий как сообщающиеся сосуды с переменным направлением подземного дренажа [5]. Из-за более высокого положения Арала исторически преобладал поток к Каспию. По его гипотезе, в 1960-1970-х гг. падение Арала сопровождалось усиленным сбросом подземных вод под Устьюртом, что способствовало быстрому подъему Каспия после 1977 г. Техногенные нарушения коры, вызванные взрывами и добычей, могли действовать как «клапан», меняя проницаемость пород и направление обмена.

Долгое время идея подземной связи двух морей вызывала скепсис у многих ученых. Против нее приводились аргументы о низкой проницаемости пород и отсутствии прямых широких каналов между бассейнами. Современные геофизические исследования (сейсморазведка, спутниковая гравиметрия) не выявили крупных «пустот» под дном Арала, куда могла бы уходить вода. Тем не менее, наличие сети мелких трещин и карстовых ходов исключать нельзя. Даже при отсутствии явных тоннелей возможен медленный фильтрационный поток через порово-трещинные водоносные горизонты. Причем поток необязательно прямой: например, вода из-под северного Арала могла сначала просачиваться вниз, затем горизонтально под Устьюрт, и выйти ближе к Каспию в зонах разломов.

Дополнительным механизмом может быть градиент минерализации: каспийская вода (около 13 ‰) значительно менее соленая, чем современные аральские рассолы (> 100 ‰). Теоретически это допускает миграцию воды к более минерализованным растворам, хотя в природных условиях осмотический эффект ограничивают смешение вод и непроницаемые слои.

Прямых доказательств межбассейнового перетока пока нет. Косвенным аргументом служит совпадение подъема Каспия в 1980-е гг. с ускоренным падением Арала. Неподтвержденные сведения об индикаторных опытах 1960-х гг. не могут считаться доказательством. Теоретически карстовые коллекторы при значительной разности уровней способны пропускать несколько кубических километров воды в год – намного меньше волжского стока, но

достаточно для модификации уровенных колебаний.

После почти полного высыхания Арала направление гипотетического потока могло измениться: теперь вода может фильтроваться от Каспия к Аральской впадине и испаряться над ее солончаковым дном. Масштаб процесса не установлен. В геологическом прошлом направление обмена, вероятно, неоднократно менялось: при высоком уровне Арала вода дренировала к Каспию, а в сухие эпохи возможен обратный поток.

Таким образом, подземная связь двух морей возможна, особенно при большой разности уровней, но ее существование и масштаб требуют прямой проверки. Карстово-трещинные системы Устьюрта способны служить каналами фильтрации, однако их вклад значительно меньше речного стока и должен рассматриваться как дополнительный фактор Арало-Каспийской гидросистемы.

Заключение

Анализ показывает, что уровень Каспийского моря определяется взаимодействием природных и антропогенных факторов:

1. Главная причина современного обмеления – потепление, усиливающее испарение, сокращающее ледовый покров и речной приток. Отрицательный водный баланс будет угрожать экосистемам и хозяйству побережья;

2. Тектонические поднятия, просадки и сейсмические события изменяют геометрию котловины. Циклы напряжений также влияют на обмен с подземными водами, усиливая или ослабляя климатически обусловленные колебания;

3. Нефтегазодобыча, гидростроительство и подземные взрывы нарушают состояние геологической и гидрогеологической систем. Они могут вызывать просадки, индуцированную сейсмичность и изменение фильтрационных путей, поэтому освоение недр требует постоянного мониторинга;

4. Подземная связь Каспия с Аралом через карстовые породы Устьюрта возможна, но пока не доказана. Ее направление зависит от уровней и гидродинамических условий бассейнов; по масштабу такой обмен уступает речному стоку, однако может корректировать амплитуду колебаний.

Снижение уровня Каспия нельзя сводить к одному фактору: климат задает общий тренд, а геодинамические и техногенные процессы меняют его скорость и амплитуду. Прогнозирование требует интегральных моделей, объединяющих атмосферные, гидрологические и геологические данные. Практические меры должны включать координацию режима волжских

водохранилищ, геодинамический мониторинг нефтегазовых работ, исследование возможной фильтрации под Устьуртом и адаптацию портовой и природоохранной инфраструктуры к отступлению моря. Научно обоснованная оценка причин необходима для снижения экологических и социально-экономических рисков в Арало-Каспийском регионе.

Список источников

1. Samant R, Prange M. Climate-driven 21st century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections. *Communications Earth & Environment*. 2023;4(1):357. DOI: 10.1038/s43247-023-01017-8
2. Раткович Д. Я. Колебания уровня Каспийского моря и их учёт при решении практических задач // Мелиорация и водное хозяйство. 1994. № 1. С. 12-13.
3. Koeppel E. NASA Earth Observatory. Satellites Spot a «Ghost» Island. Image of the Day – 09.01.2025. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/153799> (дата обращения: 15.01.2026).
4. Шило Н. А. Четыре космопланетарных проблемы: от Солнечной системы до Каспия. 2-е изд. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2000. 167 с.
5. Голубов Б. Н. Аномальный подъём уровня Каспийского моря и катастрофическое обмеление Аральского моря как результат дренирования Арала под плато Устюрт и в Каспий вследствие техногенных возмущений недр // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2018. Т. 16. № 1-2. С. 14. DOI: 10.24411/2227-9490-2018-11072. EDN: YABUOT
6. Геворкян С. Г., Голубов Б. Н. О признаках импактного происхождения Южно-Каспийской впадины // Пространство и Время. 2011. № 1(3). С. 131-140. EDN: OOPSCV
7. Шило Н. А., Кривошей М. И. Взаимосвязь колебаний уровня Каспийского моря с напряжениями в земной коре // Вестник АН СССР. 1989. № 6. С. 83-90.
8. Павленкова Н. И., Егорова Т. П., Баранова Е. П., Павленкова Г. А. Глубинное строение и геодинамика Черноморско-Каспийского региона // Геотектоника. 2022. № 2. С. 58-80. DOI: 10.31857/S0016853X22020059. EDN: RRPCOC
9. Конвенция о правовом статусе Каспийского моря (подписана 12.08.2018). URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/5328> (дата обращения: 02.01.2026).
10. Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (КаспНИРХ): официальный сайт, 2025. URL: <http://kaspnirh.vniro.ru/> (дата обращения: 10.04.2026).
11. Арабов М. Ш., Арабов С. М. Особенности

References

1. Samant R, Prange M. Climate-driven 21st century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections. *Communications Earth & Environment*. 2023;4(1):357. DOI: 10.1038/s43247-023-01017-8
2. Ratkovich D. Ya. Caspian Sea level fluctuations and their consideration in solving practical problems. *Melioratsiya i Vodnoe Khoziaistvo*. 1994(1):12-13. (In Russ)
3. Koeppel E. NASA Earth Observatory. Satellites Spot a «Ghost» Island. Image of the Day – 09.01.2025. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/153799> (accessed 15.01.2026).
4. Shilo NA. four cosmoplanetary problems: from the Solar System to the Caspian. 2nd ed. Moscow: New Millennium Foundation, 2000:167. (In Russ)
5. Golubov BN. The abnormal rise of the Caspian Sea level and catastrophic desiccation of the Aral Sea as a result of the Aral Sea draining under the Ustyurt Plateau and in the Caspian Sea due to subsurface anthropogenic perturbations. *Elektronnnoe Nauchnoe Izdanie Almanakh Prostranstvo i Vremya*. 2018;16(1-2):14. (In Russ). DOI: 10.24411/2227-9490-2018-11072. EDN: YABUOT
6. Gevorkyan SG, Golubov BN. On the signs of the impact origin of the south Caspian Depression. *Space and Time*. 2011(1(3):31-140. (In Russ). EDN: OOPSCV
7. Shilo NA, Krivoshey MI. Interrelation between Caspian Sea level fluctuations and stresses in the Earth's crust. *Journal of the USSR Academy of Sciences*. 1989(6):83-90. (In Russ)
8. Pavlenkova NI, Yegorova TP, Baranova EP, Pavlenkova GA. Deep structure and geodynamics of the black Sea-Caspian region. *Geotectonics*. 2022(2):58-80. (In Russ). DOI: 10.31857/S0016853X22020059. EDN: RRPCOC
9. Convention on the Legal Status of the Caspian Sea (signed August 12, 2018). URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/5328> (accessed 02.01.2026). (In Russ)
10. Volga-Caspian Branch of VNIRO (KaspNIRKh): official website, 2025. URL: <http://kaspnirh.vniro.ru/> (accessed 10.04.2026). (In Russ)
11. Arabov MSh, Arabov SM. Features of oil and

добычи нефти и газа на месторождениях Каспийского моря // Газовая промышленность. 2019. № 4(783). С. 46-49. EDN: ZCQQMP

12. Покусаев М. Н., Панасенко А. В., Синельщиков А. В., Яковлев П. В. Техногенные риски освоения шельфа Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 36-52. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-36-52. EDN: OCENWH

13. Нестеренко Ю. М., Днистрянский В. И., Нестеренко М. Ю., Глянцев А. В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамические и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. 2010. № 4. С. 128-141. EDN: MUVNPX

14. Гаев А. Я., Килин Ю. А., Минькевич И. И. Гидрогеологические особенности развития карстовых процессов в регионах Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 1. С. 54-65. EDN: NCKARR

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Меликов Мумин Мелукович, научный сотрудник лаборатории региональной геологии и минерального сырья, Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия, melikov1958@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9878-7997>

Меликов Ясин Муминович, инженер-исследователь лаборатории гидрогеологии и геоэкологии, Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия, yasin3@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3819-7883>

Меликова Наида Муминовна, кандидат биологических наук, специалист по учебно-методической работе, институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; старший преподаватель кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях, Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия, naika8626@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7842-1814>

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.04.2026
Одобрена после рецензирования 27.05.2026
Принята к публикации 22.06.2026

gas production in the fields of the Caspian Sea. *Gazovaya Promyshlennost*. 2019(4(783)):46-49. (In Russ). EDN: ZCQQMP

12. Pokusaev MN, Panasenko AV, Sinelshchikov AV, Yakovlev PV. Technogenic risks of Caspian offshore area development. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020(4):36-52. (In Russ). DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-36-52. EDN: OCENWH

13. Nesterenko YuM, Dnistriansky VI, Nesterenko MYu, Glyantsev AV. Impact of hydrocarbon field development on geodynamic and aquatic systems of the Southern Cis-Urals. *Lithosphere (Russia)*. 2010(4):128-141. (In Russ). EDN: MUVNPX

14. Gaev AY, Kilin YuA, Minkevich II. Hydrogeological peculiarities of the karst processes development in the Urals. *Bulletin of Perm University. Geology*. 2009(1):54-65. (In Russ). EDN: NCKARR

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Mumin M. Melikov, Researcher, Laboratory of Regional Geology and Mineral Resources, Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia, melikov1958@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9878-7997>

Yasin M. Melikov, Research Engineer, Laboratory of Hydrogeology and Geoecology, Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia, yasin3@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3819-7883>

Naida M. Melikova, Ph.D. (Biology), Educational and Methodological Specialist, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; Senior Lecturer, Department of Emergency Protection, Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia, naika8626@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7842-1814>

Contribution of the authors

All authors made equivalent contributions to the publication.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 14.04.2026
Approved after reviewing 27.05.2024
Accepted for publication 22.06.2024

Науки о Земле / Earth Science

Оригинальная статья / Original Article

УДК: 551.2+551.3+574.9+581.5

DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-94-106

EDN: ETOEIG

Сравнительный анализ биоразнообразия на примере национальных парков «Приэльбрусье» и «Алания»

© 2026 Нирова З. С.^{✉1}, Кюль Е. В.^{1, 2}, Гузиев Х. Ю.¹, Байдаева З. Р.²¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Нальчик, Россия, nirova1998@gmail.com[✉], elenakyul@mail.ru, husei@mail.ru²Национальный парк «Приэльбрусье»
с. Эльбрус, Россия, elenakyul@mail.ru, natsparkkbr@list.ru

РЕЗЮМЕ. Цель – проведение сравнительного анализа биоразнообразия двух ключевых особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Северного Кавказа – национальных парков (НП) «Приэльбрусье» и «Алания» – с оценкой таксономического разнообразия, структуры высотной поясности и уровня эндемизма. **Материалы и методы.** Исследование основано на вторичной обработке кадастровых материалов, литературных данных и Красных книг Кабардино-Балкарской Республики (КБР, 2018) и Республики Северная Осетия – Алания (РСО – Алания, 2022). Для оценки сходства биоты применены коэффициенты Жаккара (J) и Серенсена-Дайса (S), критерий χ^2 Пирсона. Статистический анализ выполнен в среде R (пакет Vegan). Латинские названия растений приведены по базе Plants of the World Online (POWO, 2026). **Результаты.** Выявлены существенные различия в степени изученности территорий и трансформации ландшафтов. Флористическое сходство умеренное ($J = 0,35$ [95 % CI: 0,32-0,38]), фаунистическое – среднее ($J = 0,55$ [95 % CI: 0,50-0,60]). Критерий χ^2 подтвердил достоверные различия в распределении видов по высотным поясам ($p < 0,01$). Согласно данным региональных климатических моделей CORDEX, к середине XXI в. ожидается повышение летней температуры на 1,5-2,0 °C, а к концу XXI в. – на 5-7 °C по сценарию RCP8.5. Прогнозируется сокращение оледенения на 15-20 % к 2050 г. и на 48-74 % к 2100 г. Согласно региональным климатическим моделям CORDEX, к концу XXI в. летняя температура повысится на 5-7 °C, а оледенение северного склона Большого Кавказа сократится до 200-400 км². **Выводы.** НП «Приэльбрусье» характеризуется высоким видовым богатством флоры (>1050 таксонов) и большей площадью охранной зоны (27 300 га), тогда как НП «Алания» выделяется высоким уровнем эндемизма (214 видов), статусом Международной орнитологической территории (IBA, Important Bird Area) и более детальной изученностью фауны беспозвоночных. Полученные данные позволяют провести репрезентативную сравнительную оценку состояния биоразнообразия с учетом различных факторов антропогенного воздействия.

Ключевые слова: национальный парк, ландшафт, трансформация, биоразнообразие, высотная поясность, эндемизм, Красная книга, коэффициент сходства.

Формат цитирования: Нирова З. С., Кюль Е. В., Гузиев Х. Ю., Байдаева З. Р. Сравнительный анализ биоразнообразия на примере национальных парков «Приэльбрусье» и «Алания» // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 94-106. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-94-106. EDN: ETOEIG

Comparative Analysis of Biodiversity Using the Example of the Prielbrusye and Alania National Parks

© 2026 Zalina S. Nirova^{✉1}, Elena V. Kyul^{1, 2},Husein Yu. Guziev¹, Zuleikha R. Baydaeva²¹Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Nalchik, Russia, nirova1998@gmail.com[✉], elenakyul@mail.ru, husei@mail.ru²Prielbrusye National Park
Elbrus village, Russia, natsparkkbr@list.ru

ABSTRACT. The aim of the research is to conduct a comparative analysis of the biodiversity of two key specially protected natural areas (SPNA) in the North Caucasus – Prielbrusye and Alania National Parks – assessing their taxonomic diversity, altitudinal zonation structure and endemism levels. **Materials and Methods.** The research is based on secondary processing of cadastral materials, literary data and the Red Data Books of the Kabardino-Balkarian Republic (2018) and the Republic of North Ossetia – Alania (2022). To assess the similarity of biota, the Jaccard (J) and Sorensen-Dice (S) coefficients, and Pearson's χ^2 criterion were used. Statistical analysis was performed in the R environment (Vegan package). Latin names of plants are given according to the Plants of the World Online database (POWO, 2026). **Results.** Significant differences in the degree of study of the territories and landscape transformation were revealed. Floristic similarity was moderate ($J = 0.35$ [95 % CI: 0,32-0,38]), faunistic similarity was average ($J = 0.55$ [95 % CI: 0,50-0,60]). The χ^2 criterion confirmed reliable differences in the distribution of species by altitudinal zones ($p < 0,01$). According to the CORDEX regional climate models, by the middle of the 21st century, summer temperatures are expected to increase by 1,5-2,0 °C, and by the end of the 21st century – by 5-7 °C according to the RCP8.5 scenario. Glaciation is projected to decrease by 15-20 % by 2050 and by 48-74 % by 2100. According to the CORDEX regional climate models, by the end of the 21st century, Summer temperatures will increase by 5-7 °C, and glaciation on the northern slope of the Greater Caucasus will decrease to 200-400 km². **Conclusions.** The Prielbrusye National Park is characterized by a high species richness of flora (>1,050 taxa) and a larger protected area (27,300 hectares), while the Alania National Park stands out for its high level of endemism (214 species), its status as an Important Bird Area (IBA), and a more detailed study of its invertebrate fauna. The obtained data make it possible to conduct a representative comparative assessment of the biodiversity state, taking into account various factors of anthropogenic impact.

Keywords: National Park, landscape, transformation, biodiversity, altitudinal zonation, endemism, Red Book, similarity coefficient.

For citation: Nirova ZS, Kyul EV, Guziev HYu, Baydaeva ZR. Comparative Analysis of Biodiversity Using the Example of the Prielbrusye and Alania National Parks. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2026;20(2):94-106. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-94-106. EDN: ETOEIG

Введение

Сохранение биоразнообразия — приоритетная задача экологии и геоэкологии. ООПТ, включая НП, поддерживают устойчивость экосистем и сохраняют редкие виды. НП «Приэльбрусье» (основан в 1986 г.) и «Алания» (основан в 1998 г.) — уникальные природные комплексы федерального значения в высокогорьях Северного Кавказа. Несмотря на близость и принадлежность к горной системе Большого Кавказа, они различаются по геоморфологии, климату, истории природопользования и составу биоты. Актуальность работы заключается в мониторинге местообитаний видов, занесенных в Красные книги КБР (2018) и РСО – Алания (2022), с учетом международных охраняемых статусов.

Материалы и методы исследований

Биоразнообразие оценивали по следующим параметрам: таксономическое богатство флоры и фауны, доля эндемичных и редких видов, структура высотной поясности, наличие ключевых видов и охраняемый статус. Латинские названия сосудистых растений приведены в соответствии с базой данных Plants of the World Online.

Для оценки сходства биоты НП «Приэльбрусье» и «Алания» использовали следующие показатели:

1. Коэффициент Жаккара (Jaccard Similarity Index):

$$J = \frac{c}{a + b - c}$$

где a — число видов в НП «Приэльбрусье», b — число видов в НП «Алания», c — число общих видов для обоих парков.

2. Коэффициент Серенсена-Дайса (Sorensen-Dice Coefficient):

$$S = \frac{2c}{a + b}$$

3. Критерий χ^2 (хи-квадрат) Пирсона для оценки различий в распределении видов по высотным поясам:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

где O_i — наблюдаемое число видов в i -м высотном поясе, E_i — ожидаемое число видов.

4. Доверительные интервалы (95 % CI) для коэффициентов сходства рассчитывались методом бутстрапа (bootstrap, 1000 итераций) в программной среде R (версия 4.2.0) с использованием пакета Vegan

(функции *specaccum*, *diversity*). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Исходные массивы данных включали полные видовые списки сосудистых растений, позвоночных животных и макромицетов, полученные из кадастровых материалов. Под «общими видами» понимались таксоны, зафиксированные на территориях обоих национальных парков согласно источникам.

Данная работа основана на вторичной обработке данных из литературных источников, кадастровых материалов и региональных Красных книг. Коэффициенты сходства биоты рассчитаны на основе видовых списков с учетом различий в степени изученности территорий.

Результаты и их обсуждение

Физико-географическая характеристика национальных парков. Для проведения сравнительного анализа биоразнообразия необходимо рассмотреть основные физико-географические параметры исследуемых территорий. Характеристики НП «Приэльбрусье» и «Алания», включая даты основания, площади и высотные диапазоны, представлены в таблице 1. Физико-географическое описание НП «Приэльбрусье» приведено в работах [1; 2], для НП «Алания» в работах [3; 4]. Данные о биоразнообразии обоих парков обобщены в источниках [5-7].

НП «Приэльбрусье» занимает центральное положение в высокогорьях Большого Кавказа: его территория расположена в верховьях Баксанского ущелья (протяженность около 90 км) и в бассейне р. Малки. Для парка характерна выраженная высотная поясность: от горно-лесного (1300-1800 м) через субальпийский (1800-2600 м) и альпийский (2600-3200 м) до нивально-гляциального (>3200 м). Оледенением занято 155 км² (23 ледника, 15,3 % территории); крупнейшие системы находятся на склонах Эльбруса и в верховьях рек Адылсу, Адырсу, Терскол.

НП «Алания» расположен в живописном и труднодоступном Дигорском ущелье Северного Кавказа, охватывает бассейн р. Урух и ее притоки (Билягидон, Камдон, Караугомдон и др.). Оледенением занято 82,7 км² (105 ледников, около 15 % территории). Ледниковые системы представлены преимущественно долинными и каровыми ледниками.

Функциональное зонирование национальных парков. Дополнительно к общей площади было рассмотрено функциональное зонирование НП, которое определяет режим охраны и допустимые виды деятельности на различных участках территорий. Распределение функциональных зон [1; 3; 8] в обоих национальных парках представлено в таблице 2.

Таблица 1. Общие характеристики национальных парков
Table 1. General characteristics of national parks

№	Параметр сравнения Comparison Parameter	Национальный парк «Приэльбрусье» Prielbrusye National Park	Национальный парк «Алания» Alania National Park
1	Дата основания	22 сентября 1986 г.	18 февраля 1998 г.
2	Физико-географическая характеристика	Верховья рек Баксан, Малка (в верхней части Баксанского ущелья). Высотный диапазон: 1 400–5 642 м (г. Эльбрус)	Дигорское ущелье (бассейн р. Урух). Высотный диапазон: 1 300–4 646 м (г. Уилпата)
3	Общая площадь	1010,2 км ² (101 020 га)	549,26 км ² (54 926 га)
4	Основные типы ландшафтов	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные, горно-степные
5	Оледенение	155 км ² (23 ледника), 15,3 % территории	82,7 км ² (105 ледников), ~15 % территории
6	Флора (сосудистые растения)	>1050 таксонов (в Баксанском ущелье: >1310 видов, 56 % флоры КБР) [9-10]	>1000 видов (около 214 эндемиков Кавказа и узких эндемиков Северной Осетии) [3; 4]
7	Фауна (позвоночные)	63 вида млекопитающих, 111 видов птиц [5]	155 видов позвоночных, 865 видов беспозвоночных [3]
8	Международные статусы	–	Международная орнитологическая территория (IBA) [3]
9	Опасные природные процессы (ОПП)	72 лавиноопасных участка, 96 селевых бассейнов	19 лавиноопасных участков, 3 крупных селевых бассейна

Таблица 2. Функциональное зонирование национальных парков
Table 2. Functional Zoning of National Parks

№ No.	Функциональная зона Functional zone	Площадь в нацио- нальном парке «При- эльбрусье» (га) Area in the Prielbrusye National Park (ha)	Площадь в национальном парке «Алания» (га) Area in the Alania National Park (ha)	Доля в НП «Приэльбрусье» (%) Share of the total area in the Prielbrusye National Park (%)	Доля в НП «Алания» (%) Share of the total area in the Alania National Park (%)
1	Заповедная зона	33 700	12 039	33,4	21,9
2	Зона заказника	39 700	12 039	39,3	21,9
3	Зона познавательного туризма	5 500	12 932	5,4	23,5
4	Зона рекреационного использования	1 000	23 646	1,0	43,0
5	Зона обслуживания посетителей	–	37,5	–	0,1
6	Зона ограниченного хозяйственного ис- пользования	21 300	1 831	21,1	3,3
7	Охранная зона*	27 300	4 440	27,0*	8,1*

Примечание: * Охранная зона не входит в общую площадь национального парка и располагается за его пределами.

Note: * The protected area is not included in the total area of the national park and is located outside of it.

Анализ функционального зонирования, представленного в таблице 2, показывает следующие особенности: 1) НП «Приэльбрусье» имеет более выраженную природоохранную функцию: на строго охраняемые территории (заповедная зона + зона заказника) приходится более 70 % общей площади парка (73 400 га из 101 020 га). Это указывает на высокий приоритет сохранения природных экосистем в неприкосновенности; 2) НП «Алания» имеет большую долю зон рекреационного использования и познавательного туризма (66,5 % территории), что отражает ориентацию на развитие экологического туризма при сохранении ядра заповедной зоны (22 % территории); 3) охранная зона НП «Приэльбрусье» (27 300 га) в 6,1 раза превышает охранную зону НП «Алания» (4 440 га), что создает более эффективный буфер для защиты ядра парка от внешнего антропогенного воздействия.

Согласно последней наиболее полной флористической сводке по КБР [7], флора региона насчитывает 2338 видов высших дикорастущих сосудистых растений из 681 рода и 140 семейств, что составляет более 48 % флоры Кавказа. Из них 41 вид растений встречается только на территории республики (узкие эндемики КБР).

Таксономический состав Баксанского ущелья (протяженностью около 90 км, в верхней части которого расположен НП «Приэльбрусье») насчитывает более 1310 видов сосудистых растений, принадлежащих к 509 родам и 110 семействам [9; 10], что составляет около 56 % флоры Кабардино-Балкарии. Важно подчеркнуть, что данные по флоре Баксанского ущелья охватывают более обширную территорию, чем границы НП «Приэльбрусье», и включают виды, произрастающие как на территории парка, так и за его пределами.

Флора НП «Алания» насчитывает более 1000 видов высших растений, из которых около 214 видов являются эндемиками Кавказа и узкими эндемиками Северной Осетии [3]. Согласно кадастровым сведениям, в парке зафиксировано 221 вид макромицетов [11], 8 видов лишайников [12], 77 видов мхов [13–16].

Расчет коэффициентов сходства биоты. Коэффициенты Жаккара и Серенсена-Дайса для оценки сходства биоты двух национальных парков (по основным таксономическим группам) с доверительными интервалами (95 % CI) приведены в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициенты сходства биоты национальных парков
Table 3. Similarity coefficients of the national parks' biota

№ No.	Таксономическая группа Taxonomic group	Национальный парк «Приэльбрусье» (a) Prielbrusye National Park	Национальный парк «Алания» (b) Alania National Park	Общие виды (c) Common species	Жаккара (J) [95% CI] Jaccard	Сёренсен (S) [95% CI] Sørensen
1	Сосудистые растения	1050	1000	531	0,35 [0,32-0,38]	0,52 [0,49-0,55]
2	Позвоночные животные	199*	155	126	0,55 [0,50-0,60]	0,71 [0,66-0,76]
3	Грибы (макромицеты)	130	221	81	0,30 [0,25-0,35]	0,46 [0,41-0,51]

Примечание: * 63 млекопитающих + 111 птиц + 11 пресмыкающихся + 8 земноводных + 6 рыб = 199 видов. Коэффициенты рассчитаны по формулам: $J = c/(a+b-c)$, $S = 2c/(a+b)$. 95 % CI рассчитаны методом бутстрапа (1000 итераций) в среде R (пакет Vegan).

Note: * 63 mammals + 111 birds + 11 reptiles + 8 amphibians + 6 fish = 199 species. Coefficients are calculated using the formulas: $J = c/(a+b-c)$, $S = 2c/(a+b)$. 95 % CI were calculated using the bootstrap method (1000 iterations) in the R environment (Vegan package).

Таблица 4. Прогноз динамики оледенения и влияние на субнивальные виды
Table 4. Forecast of glaciation dynamics and impact on subnival species

№ No.	Параметр Parameter	Национальный парк «Приэльбрусье» Prielbrusye National Park	Национальный парк «Алания» Alania National Park
1	Текущая площадь оледенения (2024)	155 км ² (23 ледника)	82,7 км ² (105 ледников)
2	Доля территории	15,3 %	~15 %
3	Прогноз на 2050 г.*	125-135 км ² (-15-20 %)	65-75 км ² (-15-20 %)
4	Прогноз на 2100 г.**	40-81 км ² (-48-74 %)	22-43 км ² (-48-74 %)
5	Субниральные эндемики под угрозой	<i>Pseudovesicaria digitata</i> , <i>Vavilovia formosa</i> , <i>Poa alpina</i>	<i>Sibbaldia parviflora</i> , <i>Primula crassifolia</i>
6	Смещение высотных поясов***	+150-250 м к 2050 г., +400-600 м к 2100 г.	+120-200 м к 2050 г., +350-550 м к 2100 г.
7	Влияние на местообитания	Сокращение субнивального пояса на 15-25 %	Сокращение субнивального пояса на 13-23 %
8	Температурный тренд (лето)****	+1,65 °C (1961-2011) [17]; +1,5-2,0 °C (2021-2050), +5-7 °C (2071-2100)	+1,65 °C (1961-2011) [17]; +1,5-2,0 °C (2021-2050), +5-7 °C (2071-2100)

Примечания: * Прогноз на 2050 г. основан на экспоненциальной экстраполяции текущих темпов деградации оледенения (0,7 % в год) за 1986-2014 гг. [18] с учетом региональных климатических моделей CORDEX [19; 20]. Скорость сокращения площади оледенения составит около 5,0 км²/г. для всего Большого Кавказа [20].

** Прогноз на 2100 г. основан на экстраполяции региональных климатических моделей CORDEX [20] и данных о деградации оледенения северного склона Большого Кавказа [19]. По прогнозам, к концу XXI в. оледенение всего северного склона Большого Кавказа (текущая площадь ~765 км²) сократится до 200-400 км², что соответствует уменьшению на 48-74 % [19]. Пропорциональный расчет для исследуемых НП дает аналогичные значения: для НП «Приэльбрусье» – 40-81 км², для «Алания» – 22-43 км².

*** Смещение высотных поясов рассчитано на основе температурных трендов: к середине XXI в. повышение летней температуры на 1,5-2,0 °C, к концу XXI в. – на 5-7 °C по данным модели SMHI RCA4 [19].

**** Данные региональной климатической модели SMHI RCA4 (эксперимент CORDEX) по сценарию RCP8.5 [19]. Исторический температурный тренд (JJA) за 1961-2011 гг. составил +1,65 °C [17].

Notes: * The forecast for 2050 is based on exponential extrapolation of the current rate of glacier degradation (0,7 % per year) for 1986-2014 [18] taking into account the CORDEX regional climate models [19; 20]. The rate of glacier area reduction will be about 5,0 km²/year for the entire Greater Caucasus [20].

** The forecast for 2100 is based on extrapolation of the CORDEX regional climate models [20] and data on glacier degradation on the northern slope of the Greater Caucasus [19]. According to forecasts, by the end of the 21st century, glaciation of the entire northern slope of the Greater Caucasus (current area ~765 kmI) is expected to decrease to 200-400 kmI, which corresponds to a decrease of 48-74 % [19]. A proportional calculation for the studied national parks yields similar values: 40-81 kmI for the Prielbrusye National Park, and 22-43 kmI for the Alania National Park.

*** The shift in altitudinal zones is calculated based on temperature trends: by the mid-21st century, summer temperatures will increase by 1,5-2,0 °C, and by the end of the 21st century, by 5-7 °C, according to the SMHI RCA4 model [19].

**** Data from the SMHI RCA4 regional climate model (CORDEX experiment) for the RCP8.5 scenario [19]. The historical temperature trend (JJA) for 1961-2011 was +1.65 °C [17].

Интерпретация результатов, представленных в таблице 3, показывает следующие закономерности: 1) Флористическое сходство ($J = 0,35$). Умеренный коэффициент указывает на существенные различия в видовом составе растений между парками. Это объясняется различиями в высотной зональности (Приэльбрусье имеет более выраженный нивально-гляциальный пояс), экспозиции склонов (Приэльбрусье — преимущественно южные склоны в верхней части Баксанского ущелья, Алаания — северные склоны Дигорского ущелья) и степени изученности флоры; 2) Фаунистическое сходство ($J = 0,55$). Средний коэффициент свидетельствует о значительном сходстве в видовом составе позвоночных, что характерно для соседних горных территорий в пределах одного биогеографического региона. Более высокое сходство фауны по сравнению с флорой объясняется большей мобильностью животных и меньшей зависимостью от локальных условий местообитаний; 3) Статистическая достоверность. Критерий χ^2 показал достоверные различия в распределении видов по высотным поясам ($p < 0,01$), что подтверждает различную структуру высотной зональности парков.

Влияние климатических изменений на оледенение и местообитания видов. Прогноз динамики оледенения и его влияние на субнивальные виды представлены в таблице 4.

Данные изменения, представленные в таблице 4, приведут к смещению высотных поясов растительности на 150-250 м вверх к 2050 г. и на 400-600 м к 2100 г., что создаст критическую угрозу для субнивальных эндемичных видов, таких как *Pseudovesicaria digitata*, *Vavilovia formosa* в

НП «Приэльбрусье» и *Sibbaldia parviflora*, *Primula crassifolia* в НП «Алаания».

Согласно данным региональной климатической модели SMHI RCA4 (эксперимент CORDEX), к середине XXI в. (2021-2050 гг.) ожидается повышение летней температуры на территории Главного Кавказского хребта на 1,5-2,0 °C, а к концу XXI в. (2071-2100 гг.) — на 5-7 °C по сценарию RCP8.5 [19]. При этом зимние осадки прогнозируются с небольшим увеличением до 50-70 мм/месяц в горных районах [19].

Ускорение темпов сокращения оледенения в период с 1986 по 2014 г. (0,7% в год против 0,4% в год в период с 1960 по 1986 г.) указывает на необходимость принятия срочных мер по мониторингу и адаптации охраняемых территорий к климатическим изменениям [18]. Согласно прогнозам, к середине XXI века скорость сокращения площади оледенения составит около 5,0 кмI/год для всего Большого Кавказа [20], что связано с изменением баланса массы ледников.

По данным Лурье и Панова (2014), к концу XXI в. оледенение северного склона Большого Кавказа сократится до 200-400 кмI (с текущих ~765 кмI), что соответствует уменьшению на 48-74 % [19]. При этом оледенение полностью не исчезнет, что позволит сохранить местообитания субнивальных видов, хотя и в существенно сокращенном объеме. Пропорциональный расчет для исследуемых национальных парков дает следующие значения: для НП «Приэльбрусье» — 40-81 кмI (с текущих 155 кмI), для НП «Алаания» — 22-43 кмI (с текущих 82,7 кмI).

Таблица 5. Сравнительное зонирование растительности в национальных парках
Table 5. Comparative vegetation zoning in national parks

№ No.	Высотный пояс Altitude belt	Национальный парк «Приэльбрусье» Prielbrusye National Park	Национальный парк «Алания» Alania National Park
1	Нивально-гляциальный (>3200 м)	Площадь: значительная (склоны Эльбруса). Видовое богатство: >151 вид в субнивальном поясе (2900-3300 м). Эндемики: <i>Pseudovesicaria digitata</i> , <i>Vavilovia formosa</i> . Местонахождение: верховья р. Баксан (в пределах НП в верхней части Баксанского ущелья), склоны Эльбруса [10]	Площадь: 82,7 км ² оледенения. Видовое богатство: ограничено (мхи, лишайники). Ледниковые морены: <i>Sibbaldia parviflora</i> , <i>Primula crassifolia</i> . Местонахождение: верховья р. Урух, ледник Мосота [3]
2	Альпийский (2600-3200 м)	Видовое богатство: >350 видов. Альпийские луга и ковры (около 200 видов). Эндемики: <i>Poa alpina</i> , <i>Silene akinfijewii</i> . Местонахождение: альпийские луга Баксанского ущелья (в пределах НП) [10]	Видовое богатство: около 150 видов. Преобладание семейств Роасеае, Сурегасеае. Проектное покрытие: 75–100%. Местонахождение: субальпийские луга урочища Таторс [3]
3	Субальпийский (1800-2600 м)	Наиболее насыщенный пояс: 620 видов (>35 % от общего числа). Высототравье, «родореты» (<i>Rhododendron caucasicum</i>). Эндемики: <i>Cirsium elbrusense</i> , <i>Rosa hibernica</i> (syn. <i>Rosa baxanensis</i>). Местонахождение: субальпийские луга Приэльбрусья [10]	<i>Festuca woronowii</i> , <i>Carex capillifolia</i> , <i>Betonica grandiflora</i> . Кустарниковые степники: <i>Juniperus sabina</i> , <i>Rhododendron caucasicum</i> . Местонахождение: северные склоны Дигорского ущелья [3]
4	Горно-лесной (1300-1800 м)	Лесообразующие: <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i> (эндемик), <i>Betula pubescens</i> var. <i>litwinowii</i> . Крупнейшие массивы <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i> в Кабардино-Балкарской Республике (в верхней части Баксанского ущелья, в пределах НП). Местонахождение: Баксанское ущелье [10]	Лесистость: около 1/5 территории. Сосново-березовые леса: 50 % покрытой лесом площади. Лесообразующие: <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Betula pubescens</i> var. <i>litwinowii</i> . Местонахождение: Махчешское и Караугомское лесничества [3]
5	Горно-степной (1300-1500 м)	Переходные зоны от горных лесов к степям. Ксерофитные сообщества	Котловина (Донифарс-Фаснальская): ксерофиты (<i>Artemisia</i> spp., <i>Thymus</i> spp., <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Astragalus adscendens</i>), редкие кусты <i>Juniperus</i> spp. Местонахождение: Донифарс-Фаснальская котловина [3]

Сравнительное зонирование растительности. Структура высотной поясности растительности является ключевым индикатором экологического состояния парков. На основе кадастровых данных выявлены различия в распределении растительных сообществ по высотным поясам, которые систематизированы в таблице 5.

Анализ данных таблицы 5 показывает следующие ключевые различия:

1) Флористическое богатство: НП «Приэльбрусье» характеризуется высоким видовым разнообразием. Согласно анализу флоры Баксанского ущелья (в пределах парка и прилегающих территорий), здесь зарегистрировано более 1310 видов [9; 10], что составляет около 56 % флоры Кабардино-Балкарии и 20,6 % флоры Российской части Кавказа. Для сравнения, флора НП «Алания» насчитывает более 1000 видов высших растений [3; 4];

2) Экстремальные экологические условия высокогорий, высокое разнообразие геохимических условий и ниш, способ-

ствуют активному протеканию видообразовательных процессов, что подтверждается наличием эндемиков [21]: в НП «Приэльбрусье» выявлено около 40 эндемиков Кавказа и более 100 реликтовых видов. К числу таких видов относятся колокольчик Нефедова (*Campanula nefedovii*), нут маленький (*Cicer minutum*), волчегородник баксанский (*Daphne baksanica*), лилия однобратственная (*Lilium monadelphum*), камнеломка Динника (*Saxifraga dinnikii*). Местонахождение: южные каменистые осыпи окр. пос. Тегнекли, субальпийские луга Приэльбрусья (в верхней части Баксанского ущелья). В НП «Алания» около 214 эндемиков Кавказа и узких эндемиков Северной Осетии, включая борщевик Лескова (*Heracleum leskovii* var. *leskovii*), смолевку Акинфиева (*Silene akinfijewii*), рожь полевую (*Secale segetale*). Местонахождение: долина р. Харессидон, верховья р. Урух, скалы у ледника Мосота [3; 4; 22];

3) Лесистость: НП «Алания» характеризуется сравнительно небольшой лесистостью (около 1/5 территории), тогда как в НП «Приэльбрусье» лесные массивы из сосны Сосновского сконцентрированы в верхней части Баксанского ущелья (в пределах парка) и представляют собой наиболее крупные и хорошо сохраненные массивы этого вида в Кабардино-Балкарии [10];

4) Структура высотной поясности. В НП «Приэльбрусье» наиболее насыщенным в таксономическом отношении является субальпийский пояс (620 видов, более 35 % от общего числа), тогда как в НП «Алания» максимальное разнообразие наблюдается в горно-лесном поясе.

Сравнение видов, занесенных в Красные книги КБР и РСО – Алания. Одним из ключевых аспектов сравнительного анализа является оценка охранного статуса видов на основе региональных Красных книг. КБР и РСО – Алания имеют собственные региональные Красные книги, которые отражают специфику редких и находящихся под угрозой исчезновения видов каждого субъекта. Сравнительная характеристика Красной книги КБР (КК КБР) и Красной книги РСО – Алания (КК РСО–А) представлена в таблице.

Как показывает сравнительный анализ Красных книг, представленных в таблице 6:

1) КК РСО–А включает 490 видов, что на 118 видов больше, чем КК КБР, содержащая 372 вида. Это свидетельствует о более полном охвате таксономических групп в РСО–А, особенно по беспозвоночным животным;

2) КК КБР включает больше охраняемых видов сосудистых растений (116 против 86 в КК РСО–А), что отражает большее флористическое богатство территории;

3) КК РСО–А значительно опережает КК КБР по количеству охраняемых животных (324 против 197 видов), особенно по беспозвоночным (198 против 87 видов). Это указывает на более детальную изученность фауны беспозвоночных в РСО–А;

4. КК РСО–А имеет больше охраняемых видов грибов (30 против 15) и мохообразных (26 против 16), тогда как КК КБР опережает по лишайникам (28 против 24).

Общие виды краснокнижных видов растений в двух национальных парках. Для сравнения охранного статуса видов были отобраны краснокнижные виды растений, произрастающие на территориях обоих национальных парков. Статус видов в региональных Красных книгах и конкретные местонахождения представлены в таблице 7.

Таблица 6. Сравнительная характеристика Красных книг Кабардино-Балкарской Республики (2018) и Республики Северная Осетия – Алания (2022)
Table 6. Comparative Characteristics of the Red Data Books of the Kabardino-Balkarian Republic (2018) and the Republic of North Ossetia – Alania (2022)

№ No.	Таксономическая группа Taxonomic group	Кабардино-Балкарская Республика (2018) Kabardino-Balkarian Republic	Республика Северная Осетия – Алания (2022) Republic of North Ossetia-Alania	Разница (Кабардино- Балкарская Республика и Республика Северная Осетия – Алания) Difference (Kabardino-Balkarian Republic and Republic of North Ossetia – Alania)
1	Общее количество видов	372	490	-118
2	Грибы	15	30	-15
3	Лишайники	28	24	+4
4	Мохообразные	16	26	-10
5	Сосудистые растения	116	86	+30
6	Беспозвоночные животные	87	198	-111
7	Позвоночные животные	110	126	-16
8	Животные (всего)	197	324	-127

**Таблица 7. Краснокнижные виды растений,
произрастающие на территориях обоих национальных парков**
Table 7. Plant species from the Red Data Book in both national parks

№ No.	Вид растения (русское и латинское название) Plant species (Russian and Latin name)	Высотные отметки, м Altitude, m	Природная зона Natural Zone	Наличие в национальном парке «Приэльбрусье» Presence in the Prielbrusye National Park	Наличие в национальном парке «Алания» Presence in the Alania National Park	Статус в Красной книге Кабардино- Балкарской Республики Status in the Red Data Book of the Kabardino-Balkarian Republic	Статус в Красной книге Республики Северная Осетия – Алания Status in the Red Data Book of the Republic of North Ossetia – Alania	Местонахождение Location
1	Береза Радде (<i>Betula raddeana</i> Trautv.)	1400-2200	Горно-лесная	Да	Да	К3	К3	Горно-лесная зона парков
2	Колокольчик доломитовый (<i>Campanula dolomitica</i> Schischk.)	2000-2800	Субальпийский/ альпийский	Да	Да	К3	К3	Урочище Таторс (Алания), субальпийские луга (Приэльбрусье)
3	Рододендрон кавказский (<i>Rhododendron caucasicum</i> Pall.)	2000-2600	Субальпийский/ альпийский	Да	Да	К3	К3	Субальпийский пояс парков
4	Подснежник узколистый (<i>Galanthus angustifolius</i> G. Koss)	1300-1800	Лесная	Да	Да	К2	К2	Широколиственные леса Дигории и Приэльбрусья
5	Ковыль красивый (<i>Stipa pulcherrima</i> C. Koch)	1300-1800	Степная	Да	Да	К2	К2	Степные участки Дигории и Приэльбрусья
6	Ель восточная (<i>Picea orientalis</i> (L.) Link)	1800-2400	Горно-лесная	Да	Да	К1	К3	2 участка в Эльбрусском районе (Приэльбрусье); Дигорское ущелье (Алания) [23; 24]
7	Пихта Нордманна (<i>Abies nordmanniana</i> (Stev.) Spach)	1400-2000	Горно-лесная	Да	Да	К3	К3	Горно-лесной пояс парков
8	Лобария легочная (<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.)	1000-2000	Лесная	Да	Да	К2	К3	Широколиственные леса парков
9	Ятрышник мужской (<i>Orchis mascula</i> L.)	1300-2000	Луговая	Да	Да	К3	К3	Субальпийские луга парков
10	Ежовик коралловидный (<i>Hericium coralloides</i> (Scop.) Pers.)	1000-1500	Лесная	Да	Да	К2	К3	Широколиственные леса парков

Закключение

1. НП «Приэльбрусье» значительно больше по общей площади (1010,2 км² против 549,26 км²). Охранная зона (27 300 га) в 6,1 раза превышает охранную зону «Алании» (4 440 га). На строго охраняемые территории в НП «Приэльбрусье» приходится более 70 % площади парка.

2. Флора НП «Приэльбрусье» богаче в абсолютном выражении (>1050 таксонов), тогда как флора НП «Алания» насчитывает более 1000 видов и характеризуется высокой долей эндемиков (214 видов).

3. Рассчитанные коэффициенты Жаккара показали умеренное флористическое сходство ($J = 0,35$ [95 % CI: 0,32-0,38]) и среднее фаунистическое сходство ($J = 0,55$ [95 % CI: 0,50-0,60]), что подтверждает различную структуру биоразнообразия НП «Приэльбрусье» и «Алания». Критерий χ^2 выявил достоверные различия в распределении видов по высотным поясам ($p < 0,01$).

4. Красная книга РСО – Алания (2022) включает 490 видов, что на 118 видов больше, чем Красная книга КБР (2018), содержащая 372 вида [23; 24]. КК КБР опережает по сосудистым растениям (116 против 86) и лишайникам (28 против 24), тогда как КК РСО–А лидирует по животным (324 против 197), особенно по беспозвоночным (198 против 87), грибам (30 против 15) и мохообразным (26 против 16).

5. НП «Алания» обладает подтвержденным статусом Международной орнитоло-

гической территории (IBA, Important Bird Area), что выделяет его на фоне НП «Приэльбрусье».

6. По инвентаризации ледников Большого Кавказа за 1960-1986-2014 гг., площадь оледенения сокращалась со средней скоростью 0,5 % в год, с ускорением до 0,7 % в год в период с 1986 по 2014 г. [18]. Согласно данным региональных климатических моделей CORDEX, к середине XXI в. ожидается повышение летней температуры на 1,5-2,0 °C, а к концу XXI в. – на 5-7 °C по сценарию RCP8.5 [19]. Прогнозируется сокращение площади оледенения на 15-20 % к 2050 г. и на 48-74 % к 2100 г. По прогнозам, оледенение северного склона Большого Кавказа сократится до 200-400 км² [19], что пропорционально для НП «Приэльбрусье» составит 40-81 км², а для НП «Алания» – 22-43 км². Ледниковый сток уменьшится на 74-80 % к концу XXI в. [19], что создаст критическую угрозу для субнивальных эндемичных видов, но позволит сохранить их местообитания в сокращенном объеме.

Национальные парки «Приэльбрусье» и «Алания» представляют собой два взаимодополняющих, но принципиально различных экологических объекта в системе ООПТ Северного Кавказа. НП «Приэльбрусье» выделяется благодаря высокому видовому богатству флоры, большей площадью охранной зоны и выраженным нивально-гляциальным поясом. НП «Алания» обладает высоким уровнем эндемизма и статусом IBA.

Список источников

1. Кюль Е. В. Национальный парк "Приэльбрусье": краткое описание, проблемы и пути развития // Биота и среда заповедных территорий. 2018. № 2. С. 66-84. EDN: YAQYQX
2. Особо охраняемые природные территории и объекты России (ООПТ) // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: <https://mnr.gov.ru/activity/oopt/> (дата обращения: 14.01.2025).
3. Сабеев А. Г. Кадастровые сведения о национальном парке «Алания» за 2017-2020 гг. Владикавказ, 2022. 194 с.
4. Комжа А. Л., Попов К. П., Сабеев А. Г. Редкие, сокращающиеся в численности, реликтовые, эндемичные виды сосудистых растений и священные ботанические объекты национального парка

References

1. Kyul EV. "Prielbrusye" National Park: brief description, problems and directions of development. *Biodiversity and Environment of Protected Areas*. 2018(2):66-84. (In Russ). EDN: YAQYQX
2. Specially Protected Natural Areas and Sites of Russia (SPNA). *Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation*. URL: <https://mnr.gov.ru/activity/oopt/> (accessed 14.01.2025). (In Russ)
3. Sabeev AG. Cadastral information on Alania National Park for 2017-2020. Vladikavkaz, 2022:194. (In Russ)
4. Komzha AL, Popov KP, Sabeev AG. Rare, declining in numbers, relict, endemic species of vascular plants and sacred botanical sites of the Alania National Park and the adjacent territory of the Uruk

«Алания» и сопредельной территории бассейна реки Урух // Труды Национального парка «Алания». Вып. 2. Владикавказ: Мавр, 2013. С. 35-44.

5. Алексеева Н. Н., Гуня А. Н., Черкасова А. А. Изменение земельного покрова на примере национального парка «Алания» (Северный Кавказ) за последние 30 лет // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 2. С. 92-102. EDN: UQPCZO

6. Бероев Б. М., Авлохова И. З. Национальный парк «Алания»: проблемы рационального использования рекреационных ресурсов // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2012. № 1. С. 59-64. EDN: SGXIQX

7. Шагапсоев С. Х. Растительный покров Кабардино-Балкарии. Нальчик: Тетраграф, 2015. 350 с.

8. Объекты природно-заповедного фонда Республика Северная Осетия – Алания: система обмена туристской информацией. URL: <https://www.nbcrs.org/regions/respublika-severnaya-oseitiya-alaniya/obekty-prirodno-zapovednogo-fonda> (дата обращения: 14.01.2025).

9. Гузиев Х. Ю. Эколого-биологический и географический анализы флоры ущелья р. Баксан (Центральный Кавказ): дис. ... канд. биол. наук. Нальчик, 2005. 236 с.

10. Шагапсоев С. Х., Надзирова Р. Ю. Экологические проблемы и охрана флоры Приэльбрусья // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2025. Т. 19. № 4. С. 238-241. DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-4-238-241. EDN: AJYRRK

11. Николаев И. А., Габеева З. П., Крапивина Е. А., Ребриев Ю. А. Видовой состав макромицетов Национального парка «Алания» // Труды Национального парка «Алания». Вып. 2. Владикавказ: Мавр, 2013. С. 27-35.

12. Толпышева Т. Ю., Комжа А. Л. Лишайники // Природные ресурсы Республики Северная Осетия-Алания: Растительный мир. Т. 18. Владикавказ: Проект-Пресс, 2000. С. 84-95.

13. Абрамова Л. И., Комжа А. Л. Мохообразные // Природные ресурсы Республики Северная Осетия-Алания: Растительный мир. Т. 18. Владикавказ: Проект-Пресс, 2000. С. 95-109.

14. Дорошина Г. Я., Николаев И. А. Новые находки мхов в Республике Северная Осетия-Алания. 2 // Arctoa. 2013. № 22. С. 250-251.

15. Дорошина Г. Я., Николаев И. А. Новые находки мхов в Республике Северная Осетия-Алания. 3 // Arctoa. 2015. № 24. С. 249-250.

16. Дорошина Г. Я., Николаев И. А., Хетагуров Х. М. Мхи сообществ *Acer trautvetteri* Medw. в Северной Осетии // Актуальные проблемы экологии

River basin. *Proceedings of the Alania National Park*. Iss. 2. Vladikavkaz: Mavr, 2013:35-44. (In Russ)

5. Alekseeva NN, Gunya AN, Cherkasova AA. Land cover dynamics during recent 30 years (case study of the “Alanya” National Park, the Northern Caucasus). *Lomonosov Geography Journal*. 2021(2):92-102. (In Russ). EDN: UQPCZO

6. Beroev BM, Avlokhova IZ. Alania National Park: problems of rational use of recreational resources. *Kurortno-Rekreatsionnyi Kompleks v Sisteme Regionalnogo Razvitiya: Innovatsionnye Podkhody*. 2012(1):59-64. (In Russ). EDN: SGXIQX

7. Shkhagapsoev SKh. Vegetation cover of Kabardino-Balkaria. Nalchik: Tetragraf, 2015:350. (In Russ)

8. Objects of the Nature Reserve Fund of the Republic of North Ossetia – Alania: Tourist Information Exchange System. URL: <https://www.nbcrs.org/regions/respublika-severnaya-oseitiya-alaniya/obekty-prirodno-zapovednogo-fonda> (accessed 14.01.2025). (In Russ)

9. Guziev KhYu. Ecological, biological and geographical analysis of the flora in the Baksan River gorge (Central Caucasus): Ph.D. thesis (Biology). Nalchik, 2005:236. (In Russ)

10. Shkhagapsoev SKh, Nadzirova RY. Ecological problems and protection of flora of the Elbrus Region. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2025;19(4):238-241. (In Russ). DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-4-238-241. EDN: AJYRRK

11. Nikolaev IA, Gabeeva ZP, Krapivina EA, Rebriev YuA. Species composition of macromycetes of the Alania National Park. *Proceedings of the Alania National Park*. Iss. 2. Vladikavkaz: Mavr, 2013:27-35. (In Russ)

12. Tolpysheva TYu, Komzha AL. Lichens. *Natural Resources of the Republic of North Ossetia-Alania: Flora*. Vol. 18. Vladikavkaz: Proekt-Press, 2000:84-95. (In Russ)

13. Abramova LI, Komzha AL. Bryophytes. *Natural Resources of the Republic of North Ossetia-Alania: Flora*. Vol. 18. Vladikavkaz: Proekt-Press, 2000:95-109. (In Russ)

14. Doroshina GYa, Nikolaev IA. New finds of mosses in the Republic of North Ossetia-Alania. 2. *Arctoa*. 2013(22):250-251. (In Russ)

15. Doroshina GYa, Nikolaev IA. New finds of mosses in the Republic of North Ossetia-Alania. *Arctoa*. 2015(24):249-250. (In Russ)

16. Doroshina GYa, Nikolaev IA, Khetagurov KhM. Mosses of *Acer trautvetteri* Medw. communities in North Ossetia. *Actual Problems of Ecology And Conservation of Biodiversity In Russia And Ad-*

и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран (Владикавказ, 28-30 апреля 2014 г.). Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова, 2014. С. 8-11.

17. Tashilova AA, Ashabokov BA, Kesheva LA, Teunova NV. Analysis of climate change in the Caucasus Region: end of the 20th – beginning of the 21st century. *Climate*. 2019;7(1):11. DOI: 10.3390/cli7010011. EDN: AHITRI

18. Tielidze LG, Wheate RD. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan). *The Cryosphere*. 2018;12(1):81-94. DOI: 10.5194/tc-12-81-2018. EDN: YKKHVT

19. Лурье П. М., Панов В. Д. Изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа в XX в. и прогноз его деградации в XXI в. // Метеорология и гидрология. 2014. № 4. С. 68-76. EDN: RYFIAZ

20. Корнева И. А., Рыбак О. О. Проекция климата на Кавказе (результаты эксперимента CORDEX) // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 4(42). С. 5-12. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-4-5-12. EDN: QCHYHX

21. Тамахина А. Я. Мониторинг биоразнообразия флоры горы Чегет (Приэльбрусье) // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 3(41). С. 7-20. DOI:10.55196/2411-3492-2023-3-41-7-20. EDN: PVERZK

22. Комжа А. Л. Классические местонахождения таксонов сосудистых растений, описанных из бассейна реки Урух (Центральный Кавказ) // Труды Национального парка «Алания». Вып. 2. Владикавказ: Мавр, 2013. С. 62-67.

23. Красная книга Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик: Печатный двор, 2018. 496 с. EDN: YZII GL

24. Красная Книга Республики Северная Осетия-Алания. Владикавказ: Перо и Кисть, 2022. 356 с. EDN: FVGZOM

adjacent Countries (Vladikavkaz, April 28-30, 2014). Vladikavkaz: K. L. Khetagurova North Ossetian State University, 2014:8-11. (In Russ)

17. Tashilova AA, Ashabokov BA, Kesheva LA, Teunova NV. Analysis of climate change in the Caucasus Region: end of the 20th – beginning of the 21st century. *Climate*. 2019;7(1):11. DOI: 10.3390/cli7010011. EDN: AHITRI

18. Tielidze LG, Wheate RD. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan). *The Cryosphere*. 2018;12(1):81-94. DOI: 10.5194/tc-12-81-2018. EDN: YKKHVT

19. Lur'e PM, Panov VD. Variations of contemporary glaciation of the northern slope of the Greater Caucasus in the 20th century and the forecast of its degradation in the 21st century. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2014(4):68-76. (In Russ). EDN: RYFIAZ

20. Korneva IA, Rybak OO. Climate projections for central Caucasus (CORDEX experiment results). *Sistemy Kontrolya Okruzhaiushchey Sredy*. 2020(4(42):5-12. (In Russ). DOI: 10.33075/2220-5861-2020-4-5-12. EDN: QCHYHX

21. Tamakhina AYa. Monitoring of biodiversity of the flora of mountain Cheget (Prielbrusye). *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University Named After V. M. Kokov*. 2023(3(41):7-20. (In Russ). DOI:10.55196/2411-3492-2023-3-41-7-20. EDN: PVERZK

22. Komzha AL. Classic localities of vascular plant taxa described from the Uruk River basin (Central Caucasus). *Proceedings of the Alania National Park. Iss. 2.* Vladikavkaz: Mavr, 2013:62-67. (In Russ)

23. Red Data Book of the Kabardino-Balkarian Republic. Nalchik: Pechatny Dvor, 2018:496. (In Russ). EDN: YZII GL

24. Red Data Book of the Republic of North Ossetia-Alania. Vladikavkaz: Pero i Kist, 2022:356. (In Russ). EDN: FVGZOM

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Нирова Залина Султановна, научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, nirova1998@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1569-1716>

Кюль Елена Владимировна, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, cgrkbnrcan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6031-4031>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Affiliations

Zalina S. Nirova, Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, nirova1998@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1569-1716>

Elena V. Kyul, Doctor of Science (Geography), Leading Researcher, Head of the Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, cgrkbnrcan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6031-4031>

Гузийв Хусейн Юсупович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия, husei@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5832-0862>

Байдаева Зулейха Рашидовна, начальник научного сектора, национальный парк «Приэльбрусье», Нальчик, Россия, natparkkbr@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5653-885>

Критерии авторства

Нирова З. С. – анализ данных, написание оригинального текста; Кюль Е. В. – методология, редактирование; Гузийв Х. Ю. – верификация таксономии, анализ литературы, статистический анализ; Байдаева З. Р. – предоставление данных, анализ данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.02.2026

Одобрена после рецензирования 10.03.2026

Принята к публикации 13.03.2026

Husein Yu. Guziev, Ph.D. (Biology), Senior Researcher, Center for Geographical Research, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia, husei@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5832-0862>

Zuleikha R. Baydaeva, Head of the Scientific Sector, Prielbrusye National Park, Nalchik, Russia, natparkkbr@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5653-885>

Contribution of the authors

Nirova Z. S. – data analysis, writing the original text; Kyul E. V. – methodology, editing; Guziev H. Yu. – verification of taxonomy, literature analysis, statistical analysis; Baidaeva Z. R. – providing data, data analysis.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 25.02.2026

Approved after reviewing 10.03.2026

Accepted for publication 13.03.2026

Науки о Земле / Earth Science
Оригинальная статья / Original Article
УДК: 914/919
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-107-114
EDN: FLVZFS

Водные и земельные ресурсы Ширван-Сальянского экономического района Азербайджана и пути их рационального использования

© 2026 Эминов Н. Г. ✉

Институт географии Министерства науки и образования Республики Азербайджан
Баку, Азербайджан, eminovnamin@gmail.com ✉

РЕЗЮМЕ. Кура-Аразская низменность, охватывающая центральную и восточную части Азербайджана, является важнейшим регионом для расселения и ведения сельского хозяйства. В Ширван-Сальянском экономическом районе, расположенном в восточной части низменности в низовьях р. Куры, к числу приоритетных задач относятся обеспечение орошаемых земель водой, рациональное использование водных и земельных ресурсов, а также внедрение современных методов ирригации. Данная сфера требует проведения постоянных исследований. **Цель.** Оценка водных и земельных ресурсов экономического района, определение их текущего состояния и способов эффективного использования, а также изучение способов решения проблем, характерных для данного сектора. **Методы.** В статье проведена комплексная оценка основных источников воды, а также водных и земельных ресурсов региона с применением системного подхода, сравнительного анализа и статистических методов. **Результаты.** На основе ранее проведенных научно-исследовательских работ и собранных статистических данных выявлен потенциал использования водных и земельных ресурсов и определены сопутствующие проблемы. **Выводы.** Наблюдаемое в последнее время снижение стока р. Куры – вплоть до ее пересыхания в отдельные годы – создает серьезные трудности с обеспечением поливной водой прилегающих сельскохозяйственных угодий. Поэтому для обеспечения водой посевных площадей и эффективного использования возделываемых земель необходимо принимать меры, основанные на экономном использовании воды, применять современные методы орошения.

Ключевые слова: водные и земельные ресурсы, оросительные каналы, коллекторно-дренажная сеть, водохранилища, сельскохозяйственные угодья, засоление, сельское хозяйство.

Формат цитирования: Эминов Н. Г. Водные и земельные ресурсы Ширван-Сальянского экономического района Азербайджана и пути их рационального использования // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2026. Т. 20. № 2. С. 107-114. DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-107-114. EDN: FLVZFS

Water and Land Resources of the Shirvan-Salyan Economic Region of Azerbaijan and Ways to Ensure Their Rational Use

© 2026 Namin G. Eminov ✉

Institute of Geography, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Baku, Azerbaijan, eminovnamin@gmail.com ✉

ABSTRACT. The Kura-Aras Lowland, encompassing the central and eastern parts of Azerbaijan, is a vital region for human settlement and agriculture. In the Shirvan-Salyan economic region, located in the eastern part of the lowland along the lower reaches of the Kura River, priority tasks include supplying water to irrigated lands, ensuring the rational use of water and land resources, and implementing modern irrigation methods. This sector also requires ongoing research. **Aim.** To assess the economic region's water and land resources, determine their current status and methods for efficient utilization, and explore ways to address challenges specific to this sector. **Methods.** The paper presents a comprehensive assessment of the re-

gion's primary water sources and its water and land resources, employing a systems approach, comparative analysis and statistical methods. **Results.** Based on prior research and collected statistical data, the potential for utilizing water and land resources has been assessed and associated challenges have been identified. **Conclusions.** The recent decline in the flow of the Kura River – which has even led to the river drying up in certain years – poses serious difficulties for supplying irrigation water to adjacent agricultural lands. Therefore, to ensure water availability for cultivated areas and to utilize the land effectively, it is essential to implement measures based on water conservation and to adopt modern irrigation methods.

Keywords: water and land resources, irrigation canals, collector-drainage network, reservoirs, agricultural lands, salinization, agriculture.

For citation: Eminov NG. Water and Land Resources of the Shirvan-Salyan Economic Region of Azerbaijan and Ways to Ensure Their Rational Use. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences.* 2026;20(2):107-114. (In Russ). DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-107-114. EDN: FLVZFS

Введение

Равнинные территории Азербайджана с древних времен славятся как центры земледелия. Плодородные почвы, обилие солнечного света и протекающие здесь крупные водные артерии (реки Кура и Араз) создали благоприятные условия для распространения и развития земледелия и других отраслей хозяйства. Эти факторы также повлияли на переход населения к оседлому образу жизни вблизи источников воды, появление крупных сел и городских поселений. Прохождение торговых путей здесь способствовало многопрофильности сельского хозяйства, возделывалась и реализовывалась продукция различного назначения.

Сегодня эти территории, в основном Кура-Аразская низменность, выполняют функцию сельскохозяйственной базы страны, развиваются зерноводство, хлопководство, плодоводство, овощеводство, являющиеся теплолюбивыми и трудоемкими отраслями [1]. Кроме того, в регионе необходимо рационально использовать земли для выращивания сельскохозяйственной продукции, принимать меры против эрозии и засоления, регулировать и контролировать снижение уровня грунтовых вод. Данные мероприятия обусловлены спецификой поливных работ. Поэтому при использовании земель сельскохозяйственного назначения сохранение, восстановление и повышение их продуктивности становятся возможными на основе их совместного регулирования с функционированием оросительной сети и коллекторно-дренажной системы.

Снижение в последние годы уровня воды в реках Кура и Араз, которые являются важными водными артериями страны, осложняет водообеспечение орошаемого земледелия. А повышение температуры

воздуха и уменьшение количества осадков увеличивают потребность в воде. Поэтому возникает контрастная и все более напряженная ситуация в выращивании сельскохозяйственной продукции. В связи с чем в рамках территориальной организации рационального природопользования одной из ключевых задач становится экономное использование водных ресурсов. В число этих задач входят анализ научно-теоретических основ и разработка практических предложений.

Материал и методы исследования

Ширван-Сальянский экономический район расположен на востоке Азербайджана, в низовьях р. Куры и на берегу Каспийского моря. Р. Кура имеет важное хозяйственное значение для орошения плодородных земель Кура-Аразской низменности. Благоприятное экономико-географическое положение района определяется прохождением здесь железных и автомобильных дорог, ведущих в южные районы страны.

В состав Ширван-Сальянского экономического района входят Ширванский городской территориальный округ, Билясуварский, Гаджигабульский, Нефтечалинский и Сальянский административные районы [2]. Площадь экономического района составляет 6,08 тыс. км², численность населения на начало 2025 г. составила 497,5 тыс. чел., в том числе городского населения – 231,9 тыс. чел. [3]. Удельный вес экономического района в общей площади страны составляет 7,02 %, доля в численности населения – 4,87 %, в том числе городского населения – 4,17 % [4]. Регион отличается развитием нефтегазодобычи, производством электроэнергии, зернового хозяйства, хлопководства, овощеводства, плодоводства в хозяйстве страны.

Для комплексной оценки водных и земельных ресурсов наиболее оптимальным средством является проведение исследований на основе метода системного подхода. Поскольку водные и земельные ресурсы – важные факторы, определяющие развитие сельского хозяйства в регионе, то требуется проведение систематических и групповых научно-исследовательских работ на основе статистического и сравнительного анализа с учетом экономических и социальных факторов. Кроме того, для определения природно-ресурсного потенциала использован метод оценки.

Результаты и их обсуждение

В Ширван-Сальянском экономическом районе, расположенном в условиях полупустынного и сухого степного климата, большой спрос на пресную воду. Основная его часть используется для орошения сельскохозяйственных культур. Спрос на воду в промышленности невелик из-за отсутствия крупных водоемких хозяйственных объектов. Подавляющее большинство населения до сих пор использует открытые водоемы для удовлетворения бытовых нужд. Поэтому необходимо решить вопрос о строительстве централизованной системы водоснабжения.

Основными источниками водоснабжения экономического района являются реки Кура и Араз. Р. Кура, являясь главной водной артерией страны, способствовала формированию главной полосы расселений вдоль побережья [5]. Освоение территорий, через которые она протекает после Минячевирского водохранилища, заселение, существование и развитие городов, поселков, сел, сельскохозяйственная деятельность населения на прилегающих территориях становится возможным именно на основе использования воды р. Кура.

Большой объем воды, необходимый для работы Южной государственной районной электростанции (г. Ширван), также забирается из р. Куры. Система охлаждения станции работает на основе использования воды реки [6].

Расположение экономического района в условиях жаркого и сухого климата, прохождение через него важных водных источников позволяет сельскому хозяйству специализироваться и на хлопководстве [7]. Для выращивания хлопка требуется провести 3-4 полива посевных площадей. Поэтому в административных районах региона проложены очень плот-

ные сети оросительных каналов, забирающих воду из рек Кура и Араз. Уже много лет бассейн рек Кура и Араз славится как крупнейшие хлопководческие зоны [8; 9]. Однако в 2019-2021 гг. снижение расхода воды в реках и нехватка поливной воды привели к сокращению посевов хлопка и снижению урожайности [10]. Значение р. Араз для водоснабжения в Билясуварском районе, расположенном в нижнем течении, очень велико. С другой стороны, р. Араз, являясь крупнейшим притоком Куры, крупнейшим источником питьевой воды в ее нижнем течении, играет важную роль в формировании ее водостока [11; 12]. Поэтому можно считать, что р. Араз также является важным источником воды в Ширван-Сальянском экономическом районе.

Реки Кура и Араз, протекающие по Муганской, Сальянской и Юго-Восточной Ширванской равнине, входящим в экономический район, являются источниками питания крупных оросительных каналов, играющих важную роль в орошении пахотных земель. К ним относятся Главный Муганский канал, канал им. Азизбекова. Введенный в эксплуатацию в 1958 г. Главный Муганский канал служит для орошения около 70,0 тыс. га пахотных и пастбищных угодий на прилегающих к нему территориях. Длина канала 34 км, расход воды 58 м³/сек. [13]. Из этого канала были проложены многочисленные притоки местного значения для орошения Муганской равнины. Среди них сравнительно большое значение имеют каналы Среднего Мугана, Расул-арх, Джафархана, Гуси Гаджиева, Гюмюшарха.

Канал им. Азизбекова (Верхний Муганский канал) был построен в 1913 г. При длине канала 66,2 км расход воды составляет 12,9 м³/сек., по проекту можно было орошать свыше 40,0 тыс. га посевных площадей [13]. Протекающая вдоль государственной границы Азербайджана с Исламской Республикой Иран р. Болгар в нижнем течении находится в Билясуварском районе. Она имеет большое значение в расселении населения и хозяйственной деятельности. Для эффективного использования ее водных ресурсов в 1960 г. было построено водохранилище с объемом 12,0 млн м³ воды [12]. До этого в 1930-1935 гг. был проложен Болгарчайский магистральный канал (длина 16 км), расход воды составляет 8 м³/сек. [12; 13]. В по-

следние годы наблюдается резкое снижение расхода воды в р. Болгар. Это создает трудности в функционировании водного хозяйства района.

В нижнем течении р. Пирсаат на территории Гаджигабульского района расположено водохранилище Пирсаат. Водохранилище было введено в эксплуатацию в 1964 г. Проектная мощность водохранилища 16,9 млн м³, имеет важное значение для водоснабжения и орошения прилегающих территорий [14]. Но поскольку река течет по легко растворяемым горным породам, приносит огромное количество осадочных пород. В результате водоем за короткое время заиливается, и периодически возникает необходимость его очистки.

Важное значение в экономическом районе имеет рациональное использование водных и земельных ресурсов, пахотных земель, отвод засоленных грунтовых вод с территории для ограничения засоления. Эти меры выполняются с помощью коллекторно-дренажной системы. Главный Ширванский коллектор обслуживает мелиоративные работы на Ширванской и Юго-Восточной Ширванской равнинах, расположенных по левому берегу р. Куры. Коллектор протекает по территории Гаджигабульского и Сальянского районов Ширван-Сальянского экономического района. Этот гидротехнический объект был введен в эксплуатацию в 1964 г., его длина составляет 256 км, расход воды – 65 м³/сек. Благодаря его деятельности в регионе обеспечивается сброс соленых вод в Каспийское море с площади 271 тыс. га пахотных земель [13]. На Муганской и Сальянской равнинах экономического района построены Главный Миль-

Муганский и Мугано-Сальянский коллекторы. Главный Миль-Муганский коллектор с Главным Миль-Карабахским коллектором служат для проведения мелиоративных работ на возделываемых землях по правому берегу р. Куры. Их общая длина составляет 406 км, пропускная способность 107,0 м³/сек. С их помощью осуществляется мелиорация 506 тыс. га земель [12]. Муган-Сальянский коллектор протекает по территории Билясуварского и Сальянского районов. Коллектор был введен в эксплуатацию в 1953 г. Его длина составляет 100,9 км, расход воды – 36,0 м³/сек., он обеспечивает мелиорацию 77 тыс. га пахотных и пастбищных угодий [7].

Использование водных ресурсов

Расположение Кура-Аразской низменности в жарком и засушливом районе приводит к увеличению спроса на пресную воду. В частности, в теплое время года возрастает потребность в воде как для культурно-бытовых нужд населения и личного подсобного хозяйства, так и для выращивания сельскохозяйственной продукции и орошения сельскохозяйственных угодий. Однако снижение расхода воды в реках Кура и Араз, которые в последние годы являются основными источниками воды, создает трудности с водоснабжением.

На таблице и в рисунке приведены основные показатели использования водных ресурсов в стране в 2024 г. (табл. 1, рис. 1). В этом году из водных источников было изъято 13,4 млрд м³ воды. Из них было потреблено 9784,1 млн м³, что составляет 73,0 %. Оставшиеся 3615,6 млн м³ воды или 27,0 % изъятной воды было потеряно при транспортировке [6].

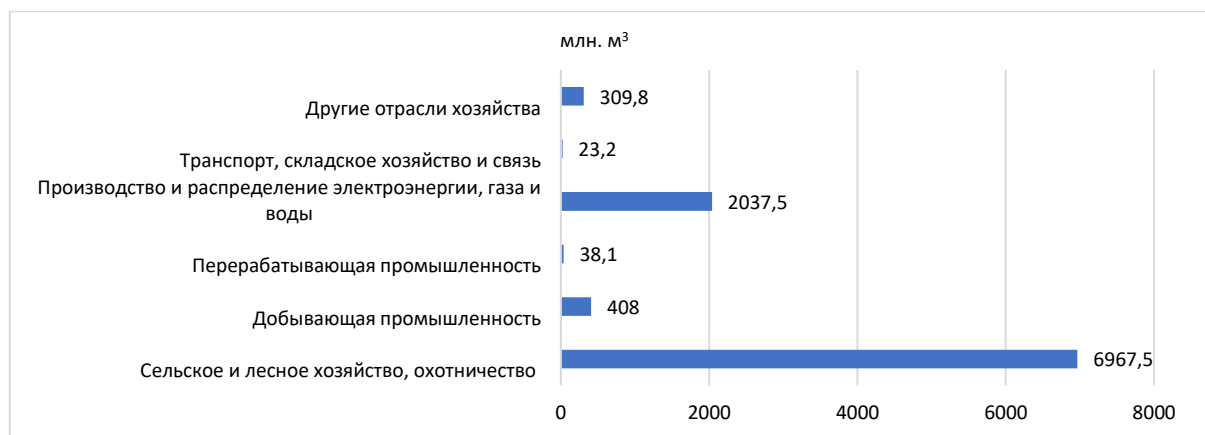


Рис. 1. Потребление воды по отраслям хозяйства, (2024)

Fig. 1. Water consumption by economic sector, (2024)

Таблица 1. Основные показатели, характеризующие водные ресурсы по видам хозяйственной деятельности), млн м³, 2024 г. [12]

Table 1. Key indicators characterizing water resources by type of economic activity, million m³, 2024 [12]

Показатели Indicators	Объем воды, взяты из при- родных источ- ников Volume of water from natural sources	Потребление воды Water consumption	Последовательное использование воды Sequential use of water	Потери воды при транспорти- ровке Water losses dur- ing transportation	Сброс сточных вод Wastewater discharge	Из них не очищенная Of which untreated wastewater
Всего	13399,7	9784,1	2617,0	3615,6	5842,8	253,8
Сельское и лесное хозяйство, охотни- чество	11488,8	6967,5	–	3330,2	3502,0	14,0
Промышленность:	1737,1	2483,6	2582,3	45,1	1852,7	30,5
Добывающая	382,2	408,0	376,5	0,0	338,4	1,7
Перерабатывающая	5,4	38,1	251,2	3,1	10,1	2,8
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	1349,5	2037,5	1954,6	42,0	1504,2	26,0
Транспорт, склад- ское хозяйство и связь	20,2	23,2	15,1	3,7	22,5	6,4
Другие отрасли хозяйства	153,6	309,8	19,6	236,6	465,6	202,9

Одним из основных фактов, вызывающих серьезную озабоченность, является большой объем сточных вод, сбрасываемых в водоемы. Объем образующихся в стране сточных вод составляет 5,8 млрд м³, что считается очень большим показателем. Поэтому строительство очистных сооружений вокруг крупных городов и в регионах должно быть определено как важная задача.

Несмотря на рост численности населения и развитие хозяйства, по сравнению с первыми годами независимости в стране наблюдается уменьшение объема воды, изымаемой и потребляемой из природных источников. Так, в 1990 г. на нужды водоснабжения республики было выделено 16,2 млрд м³ воды. Это на 5366,0 млн м³ или 33,2 % больше, чем в 2000 г., на 2776,3 млн м³ или 17,2 % больше по сравнению с 2024 г. [6].

Из-за большого объема изъятой воды, объем воды, используемой на отдельных отраслях, в том числе для потребления бытовой и питьевой воды, также был значительно выше, чем сейчас. В 1990 г. на удовлетворение производственных потребностей было направлено 3418 млн м³ воды, в 2000 г. эта цифра составила 2316

млн м³, в 2023 г. этот показатель упал до 2145 млн м³ [6].

Также после 1990 г. отмечается резкое сокращение объема воды, потребляемой для орошения сельскохозяйственных земель. В 1990 г. в республике для орошения было употреблено 8627,0 млн м³ воды, к 2000 г. ее объем уменьшился в 2,26 раза. Хотя в последующие годы этот показатель несколько вырос, в 2024 г. он не достиг уровня 1990 г. В 2024 г. объем воды, потребляемой для сельского хозяйства и орошения, был на 19,2 % меньше уровня 1990 г. (табл. 1).

Поскольку Ширван-Сальянский экономический район является одним из важнейших и орошаемых сельскохозяйственных регионов страны, на его долю приходится большая часть потребляемой воды. В 2023 г. в экономическом районе было потреблено 1238,6 млн м³ воды (табл. 2.). Это эквивалентно 12,7 % воды, потребляемой в стране, и занимает третье место. Основная часть воды используется в сельском хозяйстве на орошение. На долю Карабахского экономического района приходится 1469,9 млн м³ (21,1 %), Центральнo-Аранского – 1032,3 млн м³ (14,9 %), Миль-Муганского – 1303,0 млн м³ (18,8 %). В совокупности эти регионы

являются основными потребителями воды в данной области [6].

В Ширван-Сальянском экономическом районе после 2010 г. увеличился объем потребляемой воды. В 2015 г. по сравнению с 2010 г. потреблялось до 200 млн м³ больше воды. При этом объем потребляемой воды в 2024 г. по сравнению с предыдущими несколькими годами был меньше до 100 млн м³. Это связано с трудностями в обеспечении поливной водой и уменьшением объема воды, изымаемой из рек.

Ведущее место в экономическом районе по потреблению воды занимает г. Ширван. В 2024 г. для обеспечения деятельности Южной государственной районной электростанции было использовано 522,5 млн м³ воды. Общий объем водопотребления города составил 527,3 млн м³, что равняется 42,6 % потребляемой воды по экономическому району (табл. 2).

Среди административных районов потребление воды в Сальяне, Нефтчале и Билясуваре выше 168,0 млн м³. Основная его часть приходится на долю сельского хозяйства. Так, в Сальянском районе доля воды, потребляемой для сельского хозяйства и орошения, составила 99,4 %, в Нефтчалинском – 95,7 %, в Билясуварском – 99,2 % (табл. 2, рис. 2).

В связи с тем, что в Гаджигабульском районе мало посевных площадей, на их орошение было затрачено небольшое количество воды. В результате общий объем потребляемой воды также находится на низком уровне. В связи с функционированием нескольких производственных объектов в промышленности было использовано 19,7 млн м³ воды, что в несколько раз больше, чем в соседних административных районах. В Ширван-Сальянском экономическом районе из водоемов изъято 1706,6 млн м³ воды [6]. Из них 435,0 млн м³ или 25,5 % потеряно при транспортировке. Учитывая эти показатели, можно сказать, что потери воды в регионе происходят в основном в процессе орошения сельскохозяйственных угодий. Эти потери связаны с применением открытого орошения. Также по сравнению с 2010 г. объем потерь воды в экономическом районе увеличился на 183,6 млн м³. В Сальянском районе этот показатель увеличился более чем в 2,0 раза. Поэтому усиление контроля за использованием воды в сельском хозяйстве и переход к применению новых методов орошения имеют важное значение и должны быть определены как важная задача.

Таблица 2. Основные показатели использования воды в экономическом районе, млн м³
[12]

Table 2. Key water use indicators in the economic region, million m³ [12]

Административные районы Administrative units	Потребление воды Water consumption			Орошение и сельское хозяйство Irrigation and agriculture		
	2010	2015	2024	2010	2015	2024
г. Ширван	446,5	568,3	527,3	0,7	0,9	0,6
Билясуварский	173,0	206,0	168,4	172,0	202,7	167,0
Гаджигабульский	63,7	76,3	107,0	41,8	57,4	83,7
Нефтчалинский	157,0	166,3	205,2	152,0	156,5	196,4
Сальянский	182,8	184,0	230,7	180,1	183,2	229,4
Экономический район	1023,0	1200,9	1238,6	546,6	600,9	677,1
Азербайджанская Респ.	7714,6	8566,5	9784,1	5496,6	6056,8	6950,4

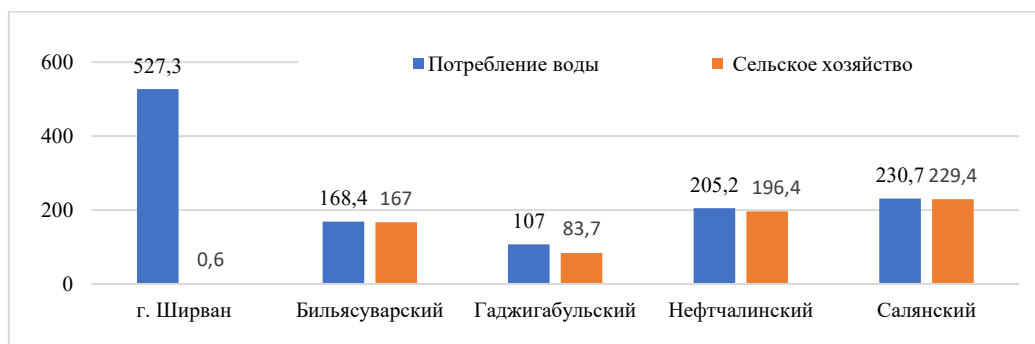


Рис. 2. Объем потребления воды, в т. ч. в сельском хозяйстве (2024)
Fig. 2. Volume of water consumption, including in agriculture (2024)

Необходимо решить проблему очистки и повторного использования воды, используемой для сокращения потерь воды и защиты окружающей среды. В 2024 г. в экономическом районе было получено 3664,5 млн м³ загрязненной воды; весь этот объем был сброшен в водоемы [6]. Основную часть данного объема составляют воды, сбрасываемые коллекторами и получаемые охлаждением установок Южной государственной районной электростанции, расположенных в окрестностях г. Ширвана.

Поэтому важно принимать меры для строительства очистных сооружений рядом с источниками загрязненных вод и их повторного использования в сельском хозяйстве. В первую очередь важное значение имеет организация производства машин, оборудования, двигателей и установок для внедрения прогрессивных методов орошения (капельного и дождевального) с учетом истощения водных ресурсов.

Земельные ресурсы

Земельные ресурсы распределены по административным районам неравномерно. Их площадь зависит в первую очередь от общей площади района, наличия оросительных каналов и коллекторно-дренажной сети. В экономическом районе имеется 377,6 тыс. га сельскохозяйственных угодий [15]. Они занимают 61,5 % от общей площади экономического района. Здесь расположено 8,3 % пригодных для сельского хозяйства земель страны. Площадь земель, непригодных для сельского хозяйства, в регионе составляет 229,4 тыс. га, леса занимают 2247 га [6].

Земли, непригодные для ведения сельского хозяйства, занимают 37,4 % территории экономического района. К ним относятся болота, солончаки, загрязненные нефтью территории в Нефтчалинском, Сальянском районах и вокруг г. Ширвана, участки, подвергшиеся эрозии, денудации и непригодные для орошения.

В экономическом районе сельскохозяйственные угодья используются для различных целей. Основную их часть составляют посевы, сенокосы и пастбища. Пахотные

земли занимают 39,8 % сельскохозяйственных угодий экономического района, пашня и пастбища – 57,9 % [16]. А площадь и доля сельскохозяйственных угодий в административных районах различны. В Билясуварском районе площадь земель, пригодных для сельского хозяйства, составляет 111,9 тыс. га (80,8 %). В Нефтчалинском и Сальянском районах их площадь превышает 95,0 тыс. га. В Нефтчалинском районе они занимают 67,0 % от общей площади, в Сальянском – 59,8 %. Тем не менее, по посевным площадям лидируют Билясуварский (48,8 тыс. га) и Нефтчалинский районы (47,3 тыс. га).

Большую часть сельскохозяйственных угодий занимают пастбища и сенокосы, площадь которых в Билясуварском районе больше – 61,8 тыс. га или 55,2 % сельскохозяйственных угодий. В Сальянском районе этот показатель превышает 57,0 тыс. га или 59,4 %, в Гаджигабульском и Нефтчалинском районах – 49,0 тыс. га, доля земель, пригодных для сельского хозяйства, составляет 68,4 и 51,4 % соответственно.

Заключение

В Ширван-Сальянском экономическом районе реки Кура и Араз являются основными природно-географическими факторами расселения населения и территориальной организации хозяйственных объектов. В экономическом районе более 75,0 % воды из водных источников используется для орошения в сельском хозяйстве. Здесь применение открытого орошения приводит к потере больших объемов воды и образованию сточных вод. Поэтому важно применять капельные и дождевальные методы, которые являются прогрессивными методами орошения, а также строить очистные сооружения для повторного использования сточных вод. Неправильное проведение полива и слабая коллекторно-дренажная сеть в большинстве случаев приводят к повышению уровня засоленных грунтовых вод и образованию солончаков. Это создает проблемы в процессе использования земель, они выходят из сельскохозяйственного оборота.

Список источников

1. Əhmədzadə AS, Həşimov AS. Meliorasiya və su təsərrüfatı. Ensiklopediya. Bakı: Elm, 2016:647.
2. Budaqov BA. Azərbaycanın təbiəti. Bakı, Elm. 1988:204.
3. География Азербайджанской Республики.

References

1. Ahmadzadeh AS, Hashimov AS. Land Reclamation and Water Management: Encyclopedia. Baku: Elm, 2016:647. (In Azerb)
2. Budagov BA. Nature of Azerbaijan. Baku: Elm, 1988:204. (In Azerb)

Т. 1. Физическая география. Баку: Nurlan, 2015. 530 с.

4. География Азербайджанской Республики. Т. 2. Экономическая, социальная и политическая география. Баку: Nurlan, 2015. 327 с.

5. География Азербайджанской Республики. Т. 3. Региональная география. Баку, Nurlan. 2015, 400 с.

6. Eminov ZN. (red.). Aran iqtisadi rayonunda demografik inkişaf problemləri və əhalinin məskunlaşması. Bakı: Region-Press, 2022:350.

7. Azərbaycanın konstruktiv coğrafiyası. II-III hissə. Bakı: Elm, 1999:246.

8. Məmmədov QŞ. Azərbaycanda torpaq ehtiyatlarından istifadənin sosial-iqtisadi və ekoloji əsasları. Bakı: Elm, 2007:854.

9. Müseyibov MA. Azərbaycanın fiziki coğrafiyası. Bakı: Maarifçilik, 1998:400.

10. Population of Azerbaijan – 2024. Bakı: DSK, 2025:134.

11. Azərbaycanın Milli Atlası. Bakı: Elm, 2014:448.

12. Environment in Azerbaijan – 2023. Bakı: DSK, 2024:140.

13. Agriculture of Azerbaijan – 2024. Bakı: DSK, 2025:628.

14. Paşayev NA, Əyyubov NQ, Eminov ZN. Azərbaycan Respublikasının iqtisadi, sosial və siyasi coğrafiyası. Bakı: Çıraq, 2010:416.

15. Regions of Azerbaijan – 2023. Bakı: DSK, 2024:849.

16. Рустамов С. Г., Кашкай Р. М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1989. 184 с.

3. Geography of the Republic of Azerbaijan. Vol. 1. Physical Geography. Bakı: Nurlan, 2015:530. (In Russ)

4. Geography of the Republic of Azerbaijan. Vol. 2. Economic, Social and Political Geography. Bakı: Nurlan, 2015:327. (In Russ)

5. Geography of the Republic of Azerbaijan. Vol. 3. Regional Geography. Bakı: Nurlan, 2015:400. (In Russ)

6. Eminov ZN (Ed.). Demographic development problems and population settlement in the Aran Economic Region. Bakı: Region-Press, 2022:350. (In Azerb)

7. Constructive Geography of Azerbaijan. Parts 2-3. Bakı: Elm, 1999:246. (In Azerb)

8. Mammadov GSh. Socio-economic and ecological foundations of land resource use in Azerbaijan. Bakı: Elm, 2007:854. (In Azerb)

9. Museibov MA. Physical Geography of Azerbaijan. Bakı: Maarifchilik, 1998:400. (In Azerb)

10. Population of Azerbaijan – 2024. Bakı: DSK, 2025:134.

11. National Atlas of Azerbaijan. Bakı: Elm, 2014:448. (In Azerb)

12. Environment in Azerbaijan – 2023. Bakı: DSK, 2024:140.

13. Agriculture of Azerbaijan – 2024. Bakı: DSK, 2025:628.

14. Pashayev NA, Ayyubov NG, Eminov ZN. Economic, social and political Geography of the Republic of Azerbaijan. Bakı: Chirag, 2010:416. (In Azerb)

15. Regions of Azerbaijan – 2023. Bakı: DSK, 2024:849.

16. Rustamov SG, Kashkay RM. Water resources of the Azerbaijan SSR. Bakı: Elm, 1989:184. (In Russ)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Эминов Намин Гусейналы, докторант, Института географии Министерства науки и образования Республики Азербайджан, Баку, Азербайджан, eminovnamion@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-2883-5218>

Научный руководитель: Имрани З. Т., доктор географических наук, доцент, директор Института географии Министерства науки и образования Республики Азербайджан, Баку, Азербайджан, zaur.imrani@geo.edu.az, <https://orcid.org/0000-0002-0606-3753>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.05.2026
Одобрена после рецензирования 16.06.2026
Принята к публикации 22.06.2026

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Affiliation

Namin H. Eminov, Ph.D. Student, Institute of Geography, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan, eminovnamion@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-2883-5218>

Scientific Supervisor: Zaur T. Imrani, Doctor of Science (Geography), Associate Professor, Director, Institute of Geography, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan, zaur.imrani@geo.edu.az, <https://orcid.org/0000-0002-0606-3753>

Conflict of interest

The author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 21.05.2026
Approved after reviewing 16.06.2026
Accepted for publication 22.06.2026

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. ЮБИЛЕИ

Информация. Хроника. Юбилей / Information. Chronicle. Anniversary
DOI: 10.31161/1995-0675-2026-20-2-115-117
EDN: HTZUGP

Геоэкологические исследования горных речных бассейнов на международной конференции в Севастополе

Geo-Ecological Studies of Mountain River Basins at an International Conference in Sevastopol

16-17 апреля 2026 г. в Севастополе на базе федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ) состоялась V Международная научная конференция «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования». По сообщению организаторов, она объединила 128 участников из 30 регионов России, а также Азербайджана, Бразилии и Гвинеи. Работа проходила в очном и дистанционном форматах [1].

Организаторами выступили Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), ФИЦ ИнБЮМ, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова, Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ДФИЦ РАН), Федеральный университет Рио-де-Жанейро (Бразилия) и Центр морских и прибрежных исследований Гвинеи. Конференция проведена при финансовой поддержке крупного научного проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» (согла-

шение с Минобрнауки России № 075-15-2024-644).

В работе конференции участвовали профессор Дагестанского государственного педагогического университета им. Р. Гамзатова (ДГПУ им. Р. Гамзатова), ведущий научный сотрудник Института геологии ДФИЦ РАН Загир Вагитович Атаев, входивший в программный комитет конференции [2], и пятеро молодых исследователей, выполняющих диссертационные работы под его руководством. З. В. Атаев как ключевой исполнитель крупного научного проекта привлек аспирантов к его выполнению. Коллектив представил шесть дистанционных докладов по всем тематическим направлениям конференции, подготовленных по материалам этого мегагранта [3].

Пленарное заседание открыл доклад профессора З. В. Атаева «Бассейновый подход в геоэкологической оценке горных рек Северо-Восточного Кавказа: роль предгорий как узлов геосистемного напряжения» [2, с. 8] (рис.). На примере бассейнов Сулака, Уллучая и Самура рассмотрена роль предгорий в перераспределении стока, наносов и хозяйственных нагрузок. Предложенный подход связывает оценку состояния горных, предгорных и приморских ландшафтов с выбором приоритетных участков мониторинга. Особое внимание уделено взаимодей-

ствию климатических изменений, природопользования и регрессии Каспийского моря [3, с. 19-24].

Второй доклад З. В. Атаева – «Перспективы применения искусственного интеллекта для анализа сезонной динамики и гидротермического режима ландшафтов горных речных бассейнов Прикаспийского Кавказа» – был посвящен совместному анализу спутниковых временных рядов, климатических данных и полевых наблюдений. Рассмотрены возможности машинного обучения для выявления сезонных изменений растительности, классификации ландшафтов и оценки их трансформации. Подчеркнута необходимость географической интерпретации и проверки результатов по наземным наблюдениям [3, с. 25-30].

Аспирант кафедры географии и методики преподавания ДГПУ им. Р. Гамзатова Абдула Гюльмагомедов представил совместный с ведущими научными сотрудниками Института географии Министерства науки и образования Республики Азербайджан (Баку) И. Я. Кучинской и Э. Д. Керимовой доклад «Среднемасштабное ландшафтное картографирование бассейнов горных рек на основе по-

левых данных и спутниковых изображений: опыт исследования Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана». Обобщен опыт составления сопоставимых карт восьми речных бассейнов масштаба 1:500 000. Единая легенда создаст основу для межрегионального сравнения и согласования геоэкологических оценок [3, с. 83-88].

Залина Шерифова, на момент конференции соискатель ДГПУ им. Р. Гамзатова, ныне аспирант кафедры географии и методики преподавания, выступила с докладом «Геоэкологическая оценка бассейна реки Самур в условиях трансграничного природопользования и климатических изменений», подготовленным совместно с З. В. Атаевым и М. Р. Зангиевой (Азербайджан, Загатайский государственный природный заповедник). Рассмотрены уязвимость предгорно-низменных и дельтовых комплексов, влияние водопользования и снижения уровня Каспийского моря. Обоснована значимость совместного российско-азербайджанского мониторинга, экологического попуска с учетом изменчивости стока и сохранения Самурского лианового леса [3, с. 149-152].



Рис. Пленарное заседание в ФИЦ ИнБЮМ во время дистанционного доклада З. В. Атаева. Фото с сайта ФИЦ ИнБЮМ [1]. Авторы фоторепортажа: А. Никифорова, Е. Вышкваркова

Fig. Plenary session at IBSS during Z. V. Ataev's remote presentation.
Photo from IBSS website [1]. Photo by A. Nikiforova, E. Vyshkvarkova

Аспиранты центра географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН Джамалудин Джамалудинов и кафедры географии и методики преподавания ДГПУ им. Р. Гамзатова Ильдар Хусаинов представили доклад «Высотная дифференциация и функционирование ландшафтов бассейнов горных рек Сулак, Уллучай и Самур на Северо-Восточном Кавказе: сравнительный анализ». Сопоставлены высотная поясность, гидроклиматические условия и хозяйственное освоение трех бассейнов. Показано значение этих различий для территориально дифференцированного мониторинга и природопользования [3, с. 43-46].

Аспирант ДГПУ им. Р. Гамзатова Дмитрий Фролов выступил с докладом «Антропогенная трансформация ландшафтов бассейна реки Самур в условиях водохозяйственного освоения, сельскохозяйственной нагрузки и деградации дельтовых экосистем», подготовленным совместно с аспирантами кафедры географии и методики преподавания А. М. Гюльма-

гомедовым и М. Э. Нуралиевым. В докладе раскрыта связь водохозяйственного регулирования, аграрного освоения и изменений дельты. Предложены меры по поддержанию ее гидрологического режима, восстановлению нарушенных участков и снижению нагрузок на наиболее чувствительные ландшафты [3, с. 137-141].

Представленные исследования объединяют рассмотрение речного бассейна как целостной системы взаимосвязанных ландшафтов. Участие аспирантов в выполнении мегагранта обеспечило связь диссертационных исследований с задачами крупного научного проекта, а выступления на конференции – апробацию полученных результатов в международной профессиональной среде. Все шесть индивидуальных и коллективных работ опубликованы в сборнике материалов конференции [3]. Их результаты создают основу для совершенствования геоэкологического мониторинга и дальнейшего сотрудничества академических институтов и университетов.

Список источников

1. Международная конференция в Севастополе объединила экспертов из 4 стран и 30 регионов России // ФИЦ ИНБЮМ: официальный сайт. 20.04.2026. URL: <https://ibss-ras.ru/News-IBSS/3318/> (дата обращения: 10.06.2026).
2. Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретические, методологические и методические аспекты, региональные исследования: программа V Международной научной конференции (16-17 апреля 2026 г., Севастополь). Севастополь, 2026. 12 с. URL: https://riverconf.ibss-ras.ru/assets/docs/Программа_конференции_16_17_апреля.pdf (дата обращения: 10.06.2026).
3. Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования: материалы докладов V Международной научной конференции (16-17 апреля 2026 г., Севастополь). Севастополь: ФИЦ ИНБЮМ, 2026. 168 с. EDN: OIJOB

References

1. International conference in Sevastopol brings together experts from 4 countries and 30 Russian regions. IBSS-RAS: official website. April 20, 2026. URL: <https://ibss-ras.ru/News-IBSS/3318/> (accessed June 10, 2026). (In Russ)
2. Geo-ecological assessment of mountain river basins: theoretical, methodological and procedural aspects, regional studies. *Program of the 5th International Scientific Conference (April 16-17, 2026, Sevastopol)*. Sevastopol, 2026:12. URL: https://riverconf.ibss-ras.ru/assets/docs/Программа_конференции_16_17_апреля.pdf (accessed June 10, 2026). (In Russ)
3. Geo-ecological assessment of mountain river basins: theoretical-methodological and procedural aspects, regional studies. *Proceedings of the 5th International Scientific Conference (April 16-17, 2026, Sevastopol)*. Sevastopol: IBSS-RAS, 2026:168. (In Russ). EDN: OIJOB

**Атаев З. В., профессор кафедры географии и методики преподавания,
ДГПУ им. Р. Гамзатова**

**Ataev Z.V., Professor of the Department of Geography and Teaching Methods,
Gamzatov DSPU**

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция принимает на рассмотрение научные статьи. Представляемые материалы должны быть оформлены в соответствии с настоящими Правилами и соответствовать тематической направленности журнала «Известия Дагестанского государственного педагогического университета».

Верстка журнала осуществляется с электронных копий. Используется компьютерная обработка штриховых и полутоновых (в градациях серого) рисунков. Журнал изготавливается по технологии ризографной печати.

1. Текст статьи набирается в редакторе MS Word (с расширением .doc) шрифтом "Times New Roman" размером 14 через интервал 1,5 в формате A4. Поля текста стандартные. Все страницы должны быть пронумерованы.

2. Перед текстом статьи указываются:

индекс УДК (информацию о классификаторе УДК см. на сайте <https://perviy-vestnik.ru/udc/> (на русском языке);

название статьи (на русском и английском языках);

фамилии и инициалы авторов, название учреждения, город, страна, эл. почта (на русском и английском языках);

резюме статьи объемом 10-15 строк, которое не должно дублировать вводный или заключительный раздел статьи (на русском и английском языках) и должно включать: цель, методы, результаты, выводы;

ключевые слова (5-10) (на русском и английском языках).

3. Изложение материала должно быть ясным и по возможности кратким. Текст и остальной материал следует тщательно выверить. Текст статьи должен быть структурирован, т. е. содержать цель исследования, материал и методы исследования, результаты и их обсуждение, заключение (выводы). Рукописи, направляемые в журнал, являются оригиналом для печати и должны являться материалом, не публиковавшимся ранее в других печатных изданиях.

4. Статьи, в которых отражаются результаты исследования, должны полностью отвечать требованиям, предъявляемым к их представлению.

5. Рисунки создаются в формате .jpg, вставляются непосредственно в текст и нумеруются в порядке их упоминания в тексте.

6. В тексте статьи все формулы набираются в редакторе Microsoft Equation 3.0, таблицы – в формате MS Word. Таблицы нумеруются в порядке их упоминания в тексте. Каждая таблица перед своим появлением должна упоминаться в тексте, например, «... (табл. 1)».

Сокращения в надписях не допускаются.

Наличие данных, по которым строится график, диаграмма.

В тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на иллюстративные материалы.

7. Ссылка на цитату указывается сразу после нее в квадратных скобках: сначала проставляется номер источника цитаты из библиографического списка, затем, после запятой, номер страницы с буквой с. Например, [10, с. 81] или, если цитируемый текст переходит на следующую страницу, [10, с. 81-82]. За достоверность цитат ответственность несет автор!

8. Список литературы (с указанием всех авторов) дается в конце статьи, нумеруется (начиная с первого номера, в порядке цитирования), предваряется словом «Список источников» и оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 (на русском, английском языках). В список литературы не включаются неопубликованные работы и учебники. Автор несет ответственность за правильность данных, приведенных в библиографическом списке.

Перечень использованных источников должен начинаться с фамилии и инициалов автора и включать:

для книг – название, место и год издания, издательство, номер тома, страницы;

для журнальных статей – название журнала, год издания, номер тома (выпуска), страницы;

для газет – название, год, месяц, число.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

9. В конце статьи может быть указана организация (¹ гранта), финансировавшая выполнение данной работы.

10. К статье прилагаются сведения об авторах на русском и английском языках:

для работников вузов/учебных организаций: Ф.И.О. полностью, ученое звание, занимаемая должность, место работы (кафедра, факультет, вуз), город, страна; электронный адрес, контактные телефоны;

для аспирантов и соискателей: название кафедры, лаборатории, где проводится исследование, Ф.И.О. научного руководителя и его разрешение к публикации, город, страна; электронный адрес, контактные телефоны.

11. Статья должна быть представлена в электронном виде (в редакционно-издательский отдел ДГПУ или электронной почтой dgpurio@yandex.ru), а также в печатном варианте (в 2-х экземплярах на одной стороне листа формата A4), подписанном всеми авторами, для аспирантов и соискателей – и научным руководителем.

Решение о публикации статьи или материала принимается редколлегией журнала. При наличии замечаний к рукописи она возвращается для доработки. Редакция оставляет за собой право отправить рукописи статей на независимую экспертизу. При публикации статьи авторские права передаются редакции журнала.

Редакция оказывает платные услуги научного и технического редактирования текста статьи, перевода библиографического списка (References), аннотации и ключевых слов на английский язык.

ОБЪЯВЛЕНА ПОДПИСКА

на ЖУРНАЛ
«ИЗВЕСТИЯ ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»

ПО КАТАЛОГУ «ПОЧТА РОССИИ»
ИНДЕКС

51323 – ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ
51392 – ОБЩЕСТВЕННЫЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ
31173 – ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ КАТАЛОГУ «ПРЕССА РОССИИ»
ИНДЕКС

38653 – ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ
38657 – ОБЩЕСТВЕННЫЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ
38652 – ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научный журнал

Известия Дагестанского государственного педагогического университета
серия «Естественные и точные науки»
Т. 20. № 2. 2026

Главный редактор: *З. В. Атаев*
Научный редактор: *З. В. Атаев*
Редактор: *Г. Н. Мирзоева*
Редактор английских текстов: *Г. Н. Мирзоева*
Компьютерная верстка: *М. А. Сулейманова*

Оригинал-макет подготовлен на базе
редакционно-издательского отдела ДГПУ им. Р. Гамзатова

Адрес редакции, издателя: 367003 РД, г. Махачкала, ул. Магомеда Ярагского, 57.
Редакционно-издательский отдел ДГПУ им. Р. Гамзатова
Тел.: (8722)561252; <https://dspu.ru/univer/upr-otdel/uni/rio/izaniya-dgpu/izvestiya-etn/>;
e-mail: dgpurio@yandex.ru

Формат 60x80¹/₈. Печать офсетная. Бумага офсетная ¹ 1.
Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 9,4. Тираж 500 экз. Заказ ¹ 2612. Цена 416 руб.

Адрес типографии: 367003 РД, г. Махачкала, ул. Сулеймана Стальского, 50



Scopus



Elsevier, The Netherlands
Scopus Content Selection Advisory Board (CSAB)
Association of Science Editors and Publishers, Russia
Russian Content Selection Advisory Board (RCSAB)

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

GIVEN OUT TO SCIENTIFIC PERIODICAL

*Известия ДГТУ.
Серия "Естественные и точные
Науки"*

to confirm the attendance and presentation to the joint Scopus CSAB
and Russian RCAB meeting.

At this meeting, compliance with international standards and selection criteria
of the Scopus database, were discussed by experts of Scopus CSAB and
Russian RCAB. This meeting took place during the 5th International Scientific
and Practical Conference «World-Class Scientific Publication - 2016:

Publishing Ethics, Peer-Review and Content Preparation»

(May 17, 2016 – May 20, 2016)

⌚ May 17-20, 2016

📍 RANEPA
Moscow, Russia

K. Holland

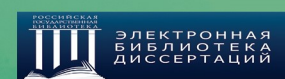
Karen Holland
Scopus CSAB Subject Chair



Olga V. Kirillova

Olga V. Kirillova
Russian CSAB Chair, president ASEP

Журнал индексируется в библиометрических базах и размещается на платформах:



ISSN 1995-0675

