

Решением президиума Высшей аттестационной комиссии журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук



ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

Том 21 № 1 2026

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

Vol. 21 no. 1 2026

Журнал «Юг России: экология, развитие» входит в Перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК), Белый список и реферативные базы цитирования: Scopus, Web of Science Core Collection (ESCI), Web of Science Zoological Record, Российская система цитирования (РИНЦ), Cyberleninka, Ulrich's Periodicals Directory, Российская государственная библиотека (РГБ), ВИНТИ, The European Library, The British Library, Jisc copac, Google Scholar, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, EBSCO A-to-Z, Соционет, Open Access Infrastructure for Research in Europe (Open AIRE), Research Bible, Academic Keys and Open Archives Initiative.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**Главный редактор**

Шестопалов Александр Михайлович, директор
Федерального исследовательского центра
Фундаментальной и трансляционной медицины,
доктор биологических наук, профессор
(Новосибирск, Россия)

Заместители главного редактора

Гаджиев Алимурад Ахмедович, Институт экологии
и устойчивого развития, Дагестанский
государственный университет (Махачкала, Россия)
Гусейнова Надира Орджоникидзевна, Институт
экологии и устойчивого развития, Дагестанский
государственный университет (Махачкала, Россия)
Кочуров Борис Иванович, Институт географии
Российской академии наук (Москва, Россия)

Научный редактор

Чибилёв Александр Александрович, Институт
степи Уральского отделения Российской академии
наук (Оренбург, Россия)

Ответственные секретари

Даудова Мадина Гасан-Гусейновна, Институт
экологии и устойчивого развития, Дагестанский
государственный университет (Махачкала, Россия)
Иванушенко Юлия Юрьевна, Институт экологии и
устойчивого развития, Дагестанский государственный
университет (Махачкала, Россия)
Теймуров Абдулгамид Абулкасумович, Институт
экологии и устойчивого развития, Дагестанский
государственный университет (Махачкала, Россия)

Технический редактор

Юсупов Юсуп Газимагомедович, Институт
экологии и устойчивого развития, Дагестанский
государственный университет (Махачкала, Россия)

Для ознакомления с целями и задачами,
инструкциями по подготовке и подаче рукописи,
подписке и другой информации, посетите:
<https://ecodag.elpub.ru/ugro/about>

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

Alexander M. Shestopalov, Head, Federal Research
Centre for Fundamental and Translational Medicine,
Doctor of Biological Sciences, Professor (Novosibirsk,
Russia)

Deputy Editors-in-Chief

Alimurad A. Gadzhiev, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)
Nadira O. Guseynova, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)
Boris I. Kochurov, Institute of Geography,
Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Scientific Editor

Aleksander A. Chibilev, Institute of Steppe,
Ural Branch, Russian Academy of Sciences
(Orenburg, Russia)

Editorial Executive Secretaries

Madina G. Daudova, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)
Yuliya Yu. Ivanushenko, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)
Abdulgamid A. Teymurov, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)

Technical Editor

Yusup G. Yusupov, Institute of Ecology and
Sustainable Development, Dagestan State University
(Makhachkala, Russia)

For aims and scope, manuscript preparation and
submission instructions, subscription and other
information visit: <https://ecodag.elpub.ru/ugro/about>

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Алексеев А.Ю., Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск, Россия)

Асадулаев З.М., Горный ботанический сад, ДФИЦ РАН (Махачкала, Россия)

Асхабов А.М., Коми научный центр Российской академии наук (Сыктывкар, Россия)

Асатурова А.М., Федеральный научный центр биологической защиты растений (Краснодар, Россия)

Бехруз Абтахи, Мохаммад Хоссейн, Факультет биологии и биотехнологии, Государственный университет Ш. Бехешти (Тегеран, Иран)

Братков В.В., Московский государственный университет геодезии и картографии (Москва, Россия)

Власов Д.Ю., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Воевода М.И., ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» (ФИЦ ФТМ) (Новосибирск, Россия)

Волбуев С.В., Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук (Санкт-Петербург, Россия)

Гаджиев Н.Г., Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Гасангаджиева А.Г., Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Глотов А.Г., Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Краснообск, Россия)

Зайцев В.Ф., Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

Игнатьев Г. М., ФГАНУ "ФНЦИРИП им. М.П. Чумакова РАН" (Институт полиомиелита), Москва, Россия

Ирза В.Н., Федеральный центр охраны здоровья животных (Владимир, Россия)

Канбетов А.Ш., Каспийский исследовательский институт НАО «Атырауский университет нефти и газа» (Атырау, Казахстан)

Касимов Н.С., Московский государственный университет им М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Магомедов М.Д., Прикаспийский институт биологических ресурсов, ДФИЦ РАН (Махачкала, Россия)

Матишов Г.Г., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия)

Миноранский В.А., Южный Федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Москвитина Н.С., Национальный исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

Набоженко М.В., Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН (Махачкала, Россия)

Отуреева Г.Н., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Онипченко В.Г., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Рабазанов Н.И., Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН (Махачкала, Россия)

Рожнов В.В., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (Москва, Россия)

Трифонова Т.А., Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)

Фальк Хюттманн, Университет Аляски в Фербенксе (Аляска, США)

Шестопалова Л.В., Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия)

Щелканов М.Ю., Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова (Владивосток, Россия)

Яковенко Н.В., Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)

Яковлев Р.В., Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

EDITORIAL COUNCIL

Alexander Yu. Alekseev, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk, Russia)

Zagirbeg M. Asadulaev, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

Askhab M. Askhabov, Komi Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia)

Anzhela M. Asaturova, Federal Research Centre of Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)

Abtahi Behrooz, Mohammad Hossein, Faculty of Life Sciences & Biotechnology, Shahid Beheshti University (Tehran, Iran)

Vitaliy V. Bratkov, Moscow State University of Geodesy and Cartography (Moscow, Russia)

Dmitry Yu. Vlasov, Saint-Petersburg State University (St. Petersburg, Russia)

Mikhail I. Voevoda, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine" (Novosibirsk, Russia)

Sergey V. Volobuev, Komarov Botanical Institute, RAS (St. Petersburg, Russia)

Nazirkhan G. Gadzhiev, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Aziza G. Gasangadzhieva, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Aleksandr G. Glotov, Institute of Experimental Veterinary Medicine of Siberia and the Far East (Krasnoobsk, Russia)

Vyacheslav F. Zaitsev, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

George M. Ignatyev, Chumakov Federal Scientific Center for Research and Development of Immune and Biological Products, RAS (Moscow, Russia)

Viktor N. Irza, Federal Centre for animal health (Vladimir, Russia)

Assylbek Sh. Kanbetov, Caspian Research Institute, Atyrau University of Oil and Gas (Atyrau, Kazakhstan)

Nikolay S. Kasimov, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Magomedrasul D. Magomedov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, RAS (Makhachkala, Russia)

Gennady G. Matishov, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia)

Victor A. Minoranskii, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Nina S. Moskvitina, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia)

Maxim V. Nabozhenko, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Research Center, RAS (Makhachkala, Russia)

Galina N. Ogureeva, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Vladimir G. Onipchenko, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Nukhkadi I. Rabazanov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Research Center, RAS (Makhachkala, Russia)

Viatcheslav V. Rozhnov, Institute of Problems of Ecology and Evolution A.N. Severtsov, RAS (Moscow, Russia)

Tatyana A. Trifonova, Vladimir State University (Vladimir, Russia)

Falk Huettmann, University of Alaska Fairbanks (Alaska, USA)

Lidia V. Shestopalova, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia)

Mikhail Yu. Shchelkanov, G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology (Vladivostok, Russia)

Nataliya V. Yakovenko, G.F. Morozov Voronezh State University Forestry and Technologies (Voronezh, Russia)

Roman V. Yakovlev, Altai State University (Barnaul, Russia)

ВИРУСОЛОГИЯ

- Готфрид Л.Г., Купрюшкин М.С., Павлова А.С., Гашникова М.П., Тотменин А.В.,
Пышная И.А., Гашникова Н.М.*
Противовирусная активность комбинаций антисмысловых олигонуклеотидов,
направленных на различные области генома ВИЧ-1.....6-13
- Коваленко В.С., Адаменко Л.С., Юрченко К.С., Каркавин Ю.И., Глуценко А.В.*
Исследование биологических свойств диких штаммов вируса болезни Ньюкасла, выделенных на территории России
в период с 2018 по 2021.....14-30

БОТАНИКА

- Османов Р.М., Анатов Д.М.*
Предварительные итоги изучения фенологии цветения абрикоса в Горном Дагестане.....31-38
- Хашиева Л.С., Литвинская С.А., Дакиева М.К., Фаргиева З.А.*
Особенности строения и состояние популяции *Campanula galushkoi* (Campanulaceae)
на территории Республики Ингушетия.....39-46

ЭКОЛОГИЯ

- Саидов М.Б., Джафарова А.М., Ахмедов И.А.*
Популяционный состав эритроцитов как индикатор адаптации зимоспящего млекопитающего
к неблагоприятным факторам окружающей среды.....47-55
- Варданян М.В., Арутюнова Л.Дж., Барсесян Р.Э., Дудукчян Э.М., Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я.,
Варданян И.Р., Микаелян М.Дж., Мовсисян И.Р., Магомедова М.З., Магомедова П.Д.,
Магомедова А.Ш., Акопян К.В.*
К эпизоотологии диктиокаулеза мелкого рогатого скота в Армении.....56-62

МИКОЛОГИЯ

- Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Shakhova N.V.*
Ecology and cultural characteristics of the tooth fungi genus *Hericium* (Russulales, Basidiomycota)
in the Republic of Dagestan, Russia.....63-80

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

- Рабданова Р.М., Шамхалова Э.А.*
Цифровизация туристических агентств как инструмент развития экологического туризма в Республике Дагестан.....81-90

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Рязанова Н.Е., Аржевикина В.А.*
Восстановление экосистем степных районов в контексте Десятилетия ООН по восстановлению экосистем:
лучшие глобальные и региональные практики.....91-115
- Теймуров С.А., Казиев М.-Р.А., Багомаев А.А.*
Геоинформационные технологии в оценке процессов деградации и опустынивания земель.....116-126
- Падалко Ю.А., Чибилёв А.А., Гулянов Ю.А., Садертдинов Р.Р.*
Обоснование бассейнового подхода для реализации мероприятий по экологической оптимизации ландшафтов
на примере муниципальных образований Оренбургской области.....127-137
- Со М.О., Боронина Л.В., Белов К.В., Рабазанов Н.И., Сокольский А.Ф., Волошин В.Р.*
Классификация типов подземных вод в районе Пакокку в центральной части Мьянмы.....138-154

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Царуева Т.В., Омарова С.М., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н., Какваева С.Ш., Мамаева С.М.,
Саидова П.С., Мехтиева М.Н., Абдурахманова Э.Ш.*
Эколого-эпидемиологические и клинические особенности токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного
возраста с иммунодефицитными состояниями.....155-160

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Зиядова Д.З., Маликова М.Г., Косов Р.В.*
Особенности экологической превенции в эпоху цифровых технологий.....161-169
- Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Тихонова Н.В., Коваленко Ю.А.*
Экологический подход к проектированию объектов массового потребления
как направление снижения потребления ресурсов.....170-183

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

184

VIROLOGY

- Gotfrid L.G., Kupryushkin M.S., Pavlova A.S., Gashnikova M.P., Totmenin A.V., Pyshnaya I.A., Gashnikova N.M.*
Antiviral activity of antisense oligonucleotide combinations targeting various regions of the HIV-1 genome.....6-13
- Kovalenko V.S., Adamenko L.S., Yurchenko K.S., Karkavin Yu.I., Glushchenko A.V.*
Biological characterization of wild Newcastle disease virus strains Isolated in Russia between 2018 and 2021.....14-30

BOTANY

- Osmanov R.M., Anatov D.M.*
Preliminary results of the study of apricot flowering phenology in Mountainous Dagestan.....31-38
- Khshieva L.S., Litvinskaya S.A., Dakieva M.K., Fargieva Z.A.*
Features of the structure and state of the *Campanula galushkoi* (Campanulaceae) population in territory of the Republic of Ingushetia, Russia.....39-46

ECOLOGY

- Saidov M.B., Dzhafarova A.M., Akhmedov I.A.*
The population composition of erythrocytes as an indicator of adaptation of a hibernating mammal to unfavourable environmental factors.....47-55
- Vardanyan M.V., Harutyunova L.J., Barseghyan R.E., Dudukchyan Z.M., Hovhannisyan R.L., Rukhkyan M.Ya., Vardanyan I.R., Mikaelyan M.J., Movsisyan I.R., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Magomedova A.Sh., Akopyan K.V.*
Epizootology of Dictyocaulosis among sheep in Armenia.....56-62

MYCOLOGY

- Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Shakhova N.V.*
Ecology and cultural characteristics of the tooth fungi genus *Hericium* (Russulales, Basidiomycota) in the Republic of Dagestan, Russia.....63-80

RECREATIONAL GEOGRAPHY

- Rabadanova R.M., Shamkhalova E.A.*
Digitalisation of travel agencies as a tool for developing eco-tourism in the Republic of Dagestan, Russia.....81-90

GEOECOLOGY

- Ryazanova N.E., Arzhevikina V.A.*
Restoration of Steppe Ecosystems in the Context of the UN Ecosystem Restoration Decade: The Best Global and Regional Practices.....91-115
- Teymurov S.A., Kaziev M.-R.A., Bagomaev A.A.*
Geoinformation technologies in the assessment of land degradation and desertification processes.....116-126
- Padalko Yu.A., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Sadertdinov R.R.*
Justification of the basin approach for implementing measures for environmental optimization of landscapes using the example of municipalities in the Orenburg region of Russia.....127-137
- Soe M.O., Boronina L.V., Belov K.V., Rabazanov N.I., Sokolsky A.F., Voloshin V.R.*
Classification of groundwater types in Pakokku district in central Myanmar.....138-154

MEDICAL ECOLOGY

- Tsarueva T.V., Omarova S.M., Dzhaliilova A.N., Dzhaliilova D.N., Kakvaeva S.Sh., Mamaeva S.M., Saidova P.S., Mekhtieva M.N., Abdurakhmanova E.Sh.*
Ecological, epidemiological and clinical features of toxoplasma invasion in women of reproductive age with immunodeficiency conditions.....155-160

GENERAL PROBLEMS

- Zijadova D.Z., Malikova M.G., Kosov R.V.*
Peculiarities of environmental prevention in the digital age.....161-169
- Gavrilova O.E., Nikitina L.L., Tikhonova N.V., Kovalenko Yu.A.*
The environmental approach to the design of mass consumption facilities as a way to reduce resource consumption.....170-183

CONTACT INFORMATION.....184

Оригинальная статья / Original article

УДК 578.7; 578.828;615.281.8

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-1



Противовирусная активность комбинаций антисмысловых олигонуклеотидов, направленных на различные области генома ВИЧ-1

Людмила Г. Готфрид¹, Максим С. Купрюшкин², Анна С. Павлова², Мария П. Гашникова¹, Алексей В. Тотменин¹, Инна А. Пышная², Наталья М. Гашникова¹

¹ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, Кольцово, Россия

²Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Людмила Г. Готфрид, н.с., ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора; 630559 Россия, рп. Кольцово, Новосибирская область.

Тел. +79134506795

Email gotfrid_lg@vector.nsc.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5896-8231>

Формат цитирования

Готфрид Л.Г., Купрюшкин М.С., Павлова А.С., Гашникова М.П., Тотменин А.В., Пышная И.А., Гашникова Н.М. Противовирусная активность комбинаций антисмысловых олигонуклеотидов, направленных на различные области генома ВИЧ-1 // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 6-13. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-1

Получена 22 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 20 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Цель – исследовать способность комбинаций антисмысловых тиофосфатных олигодезоксирибонуклеотидов, направленных на консервативные участки генома ВИЧ-1, подавлять репродукцию вируса.

Антиретровирусную активность антисмысловых олигонуклеотидов исследовали на лимфоидной культуре клеток человека MT4, инфицированной штаммом ВИЧ-1 суб-субтипа А6, путем определения количества вирусного белка р24 методом иммуноферментного анализа (ИФА).

Изученные олигонуклеотиды и их комбинации продемонстрировали способность подавлять репликацию ВИЧ-1 в наномолярных концентрациях. Для моно-олигонуклеотидов наилучшим противовирусным подавлением обладал олигонуклеотид, направленный на область гена *gag* ($IC_{50}=58 \pm 4,4$ нМ). Среди исследованных комбинаций наилучший показатель IC_{50} ($29 \pm 1,7$ нМ) был получен для купажу олигонуклеотидов, направленных на области гена *gag* и праймер-связывающего сайта, выполненное исследование подтвердило способность комбинаций олигонуклеотидов, направленных на подавление различных участков генома, отвечающих за разные этапы жизненного цикла вируса, синергически усиливать противовирусный эффект по сравнению с эффектом от применения соответствующих олигонуклеотидов по одному. Обоснование возможности использования комбинации олигонуклеотидов имеет большое значение, так как разнонаправленность противовирусного действия олигонуклеотидов позволяет минимизировать возможное негативное влияние мутационной изменчивости ВИЧ на противовирусную эффективность препаратов.

Ключевые слова

ВИЧ, модифицированные олигонуклеотиды, антиретровирусная активность модифицированных олигонуклеотидов.

Antiviral activity of antisense oligonucleotide combinations targeting various regions of the HIV-1 genome

Ludmila G. Gotfrid¹, Maxim S. Kupryushkin², Anna S. Pavlova², Maria P. Gashnikova¹,
Alexei V. Totmenin¹, Inna A. Pyshnaya² and Natalya M. Gashnikova¹

¹Vector State Research Centre of Virology and Biotechnology, Rospotrebnadzor, Koltsovo, Russia

²Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Ludmila G. Gotfrid, Researcher, Vector State
Research Centre of Virology and Biotechnology,
Koltsovo, Novosibirsk region, Russia 630559.
Tel. +79134506795

Email gotfrid_lg@vector.nsc.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5896-8231>

How to cite this article

Gotfrid L.G., Kupryushkin M.S., Pavlova A.S.,
Gashnikova M.P., Totmenin A.V., Pyshnaya I.A.,
Gashnikova N.M. Antiviral activity of antisense
oligonucleotide combinations targeting various
regions of the HIV-1 genome. *South of Russia:
ecology, development*. 2026; 21(1):6-13. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-1

Received 22 November 2025

Revised 20 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The goal of this study was to investigate the effectiveness in suppressing viral replication of combinations of antisense phosphorothioate oligodeoxyribonucleotides targeting conserved regions in the HIV-1 genome.

The antiretroviral activity of the antisense oligonucleotides was evaluated using human MT4 lymphocyte culture infected with HIV-1 subtype A6. The amount of viral protein p24 was measured using an enzyme immunoassay (ELISA) to determine the effectiveness of the oligonucleotides treatments.

The oligonucleotides studied and their combinations showed the ability to inhibit HIV-1 replication at nanomolar concentrations. Among the mono-oligonucleotides, the one targeting the *gag* gene region had the best anti-viral suppression ($IC_{50} = 58 \pm 4.4$ nM). Among the combinations, the most effective ($IC_{50} = 29 \pm 1.7$ nM) consisted of oligonucleotides targeting the *gag* region and the primer binding site. These results confirm the potential of combining oligonucleotides that target different regions of the HIV-1 genome to synergistically increase the anti-viral effect, as compared to using each oligonucleotide individually. The justification for using a combination of oligonucleotides is important because the multidirectional antiviral effect of these molecules minimises the potential negative impact of HIV's mutational variability on the effectiveness of antiviral drugs.

Key Words

HIV, modified oligonucleotides, antiretroviral activity of modified oligonucleotides.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы произошел большой прорыв в применении генной терапии для лечения различных заболеваний [1–4]. Новые возможности химической модификации нуклеиновых кислот позволяют получить олигонуклеотидные конструкции, способные к проникновению в целевые клетки и стабильные в биологических жидкостях, что открывает широкие возможности их использования в качестве терапевтических средств [5–7].

Продолжаются исследования возможности применения антисмысловых олигонуклеотидов как средств генной терапии для борьбы с ВИЧ-инфекцией [8]. Комплексные разрабатываемые терапевтические соединения против ВИЧ, включающие различные дипептиды, одноцепочечные олигонуклеотиды и другие молекулы, имея разные мишени и механизмы реализации противовирусного действия, показывают высокую эффективность подавления репликации разных генетических вариантов ВИЧ-1 [9–12].

С развитием современных технологий пополняются знания о сложной системе взаимодействий вируса с клетками человека на различных этапах воспроизводства вируса, что может быть использовано для поиска новых подходов к терапии ВИЧ-инфекции.

С момента открытия азидотимидина (AZT) в 1989 году и начала его применения как моно-препарата антиретровирусная терапия претерпела колоссальные изменения и на сегодняшний день позволила превратить ВИЧ-инфекцию в управляемое хроническое заболевание [13]. В связи с высокой мутационной изменчивостью ВИЧ лечение одним препаратом с течением времени становится неэффективным, поэтому требуется прием комбинаций препаратов, направленных на различные стадии жизненного цикла вируса. В настоящее время терапия является пожизненной [14], так как успешное лечение, позволяющее подавить репродукцию вируса в организме человека до неопределяемого уровня РНК ВИЧ-1 в плазме крови, не в состоянии полностью избавить организм от вируса, который сохраняется в клетках в латентном состоянии [15–16]. При приеме антиретровирусной терапии (АРТ) возможно возникновение побочных эффектов, что может снижать приверженность пациентов или вовсе быть причиной отказа от терапии, что неизбежно приводит к возобновлению вирусной репродукции в организме [17–19] и ограниченному выбору препаратов для лечения в дальнейшем [20]. Все это делает поиск новых антиретровирусных препаратов актуальным и требует изучения альтернативных подходов к лечению пациентов с ВИЧ-инфекцией.

На первых этапах исследования нами были выбраны мишени для олигонуклеотидного воздействия в геноме ВИЧ-1 и было показано, что наиболее оптимальной химической модификацией олигонуклеотидов для эффективного подавления репродукции вируса является тиофосфатная модификация (PS), которая позволяет олигонуклеотидам самостоятельно проникать внутрь лимфоидных клеток и придает им стабильность в биологических средах [21].

Целью настоящей работы было изучение способности различных комбинаций антисмысловых тиофосфатных олигонуклеотидов, направленных на высококонсервативные области генома ВИЧ-1, подавлять репродукцию вируса на модели культуры

лимфоидных клеток человека MT-4, инфицированных ВИЧ-1.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки противовирусной активности антисмысловых олигонуклеотидов был использован высокопродуктивный штамм ВИЧ-1. Выбор данного штамма для исследования противовирусной активности олигонуклеотидов обусловлен тем, что данный вирус был выделен в России и относится к популяции, наиболее распространенной на территориях России и в странах Восточной Европы и Центральной Азии [22; 23] филогенетической группе суб-субтипа А6. Данный штамм характеризуется фенотипом rapid/high (на 5-е сутки культивирования концентрация вирусного белка p24 >700 000 пкг/мл) и обладает высокой цитопатической активностью (100%-ая гибель всех клеток на 5-е сутки культивирования). Вирус был предварительно наработан в течение 3-х суток на культуре клеток MT-4 для достижения логарифмической фазы репродукции, вирусный супернатант очищен и криоконсервирован до востребования. TCID₅₀ вирусного супернатанта определяли методом Рида – Менча [24].

Для оценки противовирусной активности исследуемых олигонуклеотидов использовали метод иммуоферментного количественного определения вирусного белка p24 с применением набора ВИЧ-1 p24-антиген-ИФА-БЕСТ («Вектор-Бест», Россия) в соответствии с инструкцией производителя.

Клеточная культура MT-4 получена из коллекции ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора. Клетки MT-4 культивировали на среде RPMI-1640, содержащей 0,2 % бикарбоната натрия с добавлением 10 % инактивированной фетальной сыворотки, 2 мМ L-глутамин и 20 мкг/мл гентамицина в закрытой культуральной посуде в CO₂-инкубаторе при температуре 37°C и 5 % CO₂. Посадочная концентрация составляла 500 000 клеток на 1 мл среды.

Олигонуклеотиды (Таблица 1) были получены в рамках государственного задания ИХБФМ СО РАН № 125012300656-5 твердофазным амидофосфитным методом на автоматическом ДНК/РНК-синтезаторе ASM-800 (Biosset, Новосибирск, Россия). Синтез проводился в масштабе 0,4 мкмоль с использованием коммерчески доступных амидофосфитных мономеров и полимерных носителей CPG (Glen Research, Сан-Диего, Калифорния, США). Для введения додецил-содержащего ненуклеотидного звена [Dcyl] использовали соответствующий амидофосфитный мономер, полученный как описано в работе [25].

Для введения тиофосфатной межнуклеотидной модификации (PS) использовали тионирующий реагент Sulfurizing Reagent II согласно протоколу производителя (Glen Research, Сан-Диего, США). Для введения фосфорилгуанидиновой межнуклеотидной модификации (PX) использовали протокол, описанный в работе [21].

После твердофазного синтеза полимерный носитель из реактора переносили в пластиковую пробирку и проводили этап финального деблокирования концентрированным водным раствором аммиака 48 часов при комнатной температуре. После финального деблокирования супернатант упаривали досуха в вакууме на ротационном испарителе центрифужного типа CentriVap™ (Labconco, США). К

остатку прибавляли 200 мкл деионизированной воды (mQ) и отделяли полимерный носитель центрифугированием. Выделение олигонуклеотидов проводили с помощью обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (оФВЭЖХ).

Выделение проводили на хроматографе Agilent 1200 (США) с колонкой Zorbax SB-C18 (5 мкм) 4,6 × 150 мм в градиенте ацетонитрила в 20 мМ ацетате триэтиламмония, рН 7 от 0 до 90 %, в течение 30 мин при скорости потока 1,5 мл/мин. Фракции, содержащие целевой продукт, упаривали в вакууме на установке CentriVap™ (Labconco, США). Затем олигонуклеотиды осаждали добавлением 1 мл раствора 2 % LiClO₄ в ацетоне, осадок промывали ацетоном и сушили на воздухе 20 минут.

Серии разведений купажей олигонуклеотидов готовили непосредственно перед экспериментом, начиная с 5 мкМ с трехкратным шагом титрования в трех независимых биологических повторах. Готовые разведения олигонуклеотидов переносили на 96-ти луночный планшет (Servicebio, Китай), предварительно засеянный клетками МТ-4. Инкубация олигонуклеотидов с клетками МТ-4 до внесения ВИЧ-1 составляла 2 ч. Через 2 ч. культуру клеток инфицировали постоянной дозой вируса, соответствующей 300 TCID₅₀. Инкубация с вирусом продолжалась 5 суток в CO₂-инкубаторе при температуре 37°C и 5 % CO₂. На 5-е сутки отбирали пробы культуральной среды для количественного исследования белка р24. Данные собирали для трех независимых постановок, приведенные в статье значения представляют собой среднее значение ± стандартное отклонение.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами были выбраны высоко консервативные области генома ВИЧ-1 в качестве потенциальных мишеней для олигонуклеотидов, которые отвечают за

реализацию различных этапов жизненного цикла вируса [21]. Данные участки расположены в области праймер-связывающего сайта (PbS; участвует в синтезе кДНК во время обратной транскрипции), в гене *pol* (Int – фрагмент гена, кодирующий интегразу вируса, которая отвечает за интеграцию провирусной ДНК в геном клетки-хозяина; R – фрагмент гена, отвечающий за вирусный фермент обратную транскриптазу, которая преобразует вирусную РНК в двухцепочечную ДНК в процессе обратной транскрипции), и в гене *gag* ВИЧ-1 (Gag; кодирует матриксный белок р17) [26].

Исследование противовирусной активности и трансфецирующей способности разработанных нами олигонуклеотидов с различными химическими модификациями продемонстрировало большую эффективность для тиофосфатной модификации. Было установлено, что наилучшая способность ингибировать репродукцию вируса была продемонстрирована для:

- 22-х звенного олигодезоксирибонуклеотида обладающего полностью тиофосфатным типом остова (IntS, табл. 1) направленного на участок гена, кодирующего вирусный фермент интегразу;
- 35-звенных олигодезоксирибонуклеотидов, (RS (табл. 1), направленных на участок гена *pol*, при этом RS – тиофосфат, а олигодезоксирибонуклеотид R обладает природным (нативным) фосфодиэфирным типом остова с двумя фосфорилгуанидиновыми межнуклеотидными модификациями в 3'-конце области и тремя последовательно введенными додецил-содержащими ненуклеотидными звеньями в 5'-концевой области последовательности.
- 30-звенного тиофосфатного олигодезоксирибонуклеотида, направленного на участок гена PbS-2 (табл. 1);
- 30-звенного тиофосфатного олигодезоксирибонуклеотида направленного на участок гена Gag-2 (табл. 1).

Таблица 1. Последовательности антисмысловых олигонуклеотидов, отобранные для изучения их противовирусной активности в виде комбинаций

Table 1. Antisense oligonucleotides were selected at previous stages of the study in order to investigate their antiviral activity when used in combination

Обозначение олигонуклеотида Oligonucleotide designation Шифр / Code	Последовательность 5' – 3' Sequence 5' – 3'
Олигонуклеотиды, направленные на область гена <i>pol</i> ВИЧ-1, кодирующую интегразу вируса Oligonucleotides targeting the region of the HIV-1 <i>pol</i> gene encoding viral integrase	
Int (S)	C ^S T ^S T ^S G ^S A ^S C ^S T ^S T ^S T ^S G ^S G ^S G ^S A ^S T ^S T ^S G ^S T ^S A ^S G ^S G ^S G
Олигонуклеотиды, направленные на область гена <i>pol</i> ВИЧ-1, кодирующую обратную транскриптазу вируса Oligonucleotides targeting the <i>pol</i> gene region of HIV-1 encoding viral reverse transcriptase	
RS	C ^S C ^S T ^S C ^S A ^S A ^S T ^S T ^S C ^S C ^S C ^S C ^S C ^S A ^S T ^S C ^S A ^S T ^S T ^S T ^S T ^S G ^S G ^S T ^S T ^S T ^S C ^S A ^S T
R	T[DcyI][DcyI][DcyI]CCTCCAATCCCCCTATCATTTTTGGTTTCC ^X A ^T
Олигонуклеотиды, направленные на области генома ВИЧ-1, кодирующие праймер-связывающий сайт и гена <i>gag</i> Oligonucleotides targeting regions encoding the primer-binding site and the <i>gag</i> gene	
PbS-2	G ^S T ^S C ^S C ^S T ^S G ^S T ^S T ^S C ^S G ^S G ^S G ^S C ^S A ^S C ^S T ^S G ^S C ^S T ^S A ^S G ^S A ^S G ^S A ^S T ^S T
Gag-2	T ^S C ^S G ^S C ^S A ^S C ^S C ^S A ^S T ^S C ^S T ^S C ^S T ^S C ^S C ^S T ^S T ^S C ^S T ^S A ^S G ^S C ^S C ^S T ^S C ^S G

Примечание: [DcyI] – ненуклеотидное додецил-содержащее звено; ^X – фосфорилгуанидиновая модификация;

^S – тиофосфатная модификация

Note: [DcyI] – non-nucleotide dodecyl-containing unit; ^X – phosphorylguanidine modification; ^S – phosphorothioate modification

Данные олигонуклеотиды были также исследованы в виде различных комбинаций для поиска наиболее

эффективных купажей, в которых отдельные олигонуклеотиды направлены на участки в геноме

ВИЧ-1, ответственные за разные стадии его жизненного цикла. Исследование проводили методом «профилактика» («pre-treatment»), который подразумевает введение олигонуклеотидов в клетки до внесения вируса и позволяет смоделировать ситуацию доконтактной профилактики (PrEP).

На первом этапе к клеткам МТ-4 добавляли исследуемые комбинации олигонуклеотидов (табл. 2) и инкубировали в течение 2 часов. Далее осуществляли заражение клеток, без отмывки олигонуклеотидов, и спустя пять дней культивирования ВИЧ с клетками в

присутствии купажей олигонуклеотидов проводилась оценка противовирусной активности олигонуклеотидов, как описано в разделе «Материалы и методы». В качестве контрольных и для сравнения противовирусной активности были использованы клетки, инфицированные ВИЧ, с аналогично введенными моно-олигонуклеотидами, и клетки, инфицированные ВИЧ без добавления олигонуклеотидов (контроль вируса). Данные, полученные в ходе исследования, представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Данные по оценке противовирусной активности комбинаций- и моно-олигонуклеотидов на клетках человека МТ-4, инфицированных ВИЧ-1

Table 2. Data on the evaluation of antiviral activity of combinations- and mono-oligonucleotides in human MT-4 cells infected with HIV-1

Обозначение комбинации олигонуклеотидов Oligonucleotide designation	Мишени в геноме ВИЧ-1 Targets in the HIV-1 genome	IC ₅₀ , нМ IC ₅₀ , nM
Gag-2 + RS	Область гена <i>gag</i> + область гена <i>pol</i> <i>gag</i> gene region + <i>pol</i> gene region	34,0 ± 3,1
Gag-2 + R		33,0 ± 2,7
Gag-2 + Int (S)	Область гена <i>gag</i> + область гена <i>pol</i> <i>gag</i> gene region + <i>pol</i> gene region	30,0 ± 2,1
Gag-2 + PbS-2	Область гена <i>gag</i> + область праймер-связывающего сайта <i>gag</i> gene region + primer-binding site region	34,0 ± 2,7
PbS-2 + RS	Область праймер-связывающего сайта + область гена <i>pol</i> primer-binding site region + <i>pol</i> gene region	29,0 ± 1,7
PbS-2 + R		46,0 ± 3,6
Int (S)	Область гена <i>pol</i> (вирусный фермент – интегразы) <i>pol</i> gene region (viral enzyme – integrase)	87,0 ± 5,3
RS	Область гена <i>pol</i> (вирусный фермент – обратная транскриптаза) <i>pol</i> gene region (viral enzyme – reverse transcriptase)	100,0 ± 4,7
R		285,0 ± 9,7
Gag-2	Область гена <i>gag</i> <i>gag</i> gene region	58,0 ± 4,4
PbS-2	Область праймер-связывающего сайта primer-binding site region	85, ± 4,9

В работе, проведенной Takahashi с соавт., тиофосфатные антисмысловые олигонуклеотиды, содержащие дополнительно 2'-дезоксидезокси-2'-фторарабино (FANA) модификации также были исследованы на способность ингибирования ВИЧ-1 *in vitro* [27]. Был продемонстрирован терапевтический потенциал моно-олигонуклеотидов с предположением возможности использования комбинаций, что указывает на актуальность изучения возможности применения купажей олигонуклеотидов для более эффективного подавления репликации вируса.

Для моно-олигонуклеотидов получены результаты, аналогичные ранее проведенным исследованиям. Наилучшим противовирусным подавлением обладал олигонуклеотид Gag-2 (IC₅₀=58 ± 4,9 нМ). Олигонуклеотиды, направленные на область, кодирующую интегразу вируса, и область праймер-связывающего сайта, Int (S) и PbS-2, соответственно, проявили схожую противовирусную активность с показателями 87 ± 5,3 и 85 ± 4,9 нМ, соответственно. Различия в противовирусной активности исследованных олигонуклеотидов и их купажей возможны как из-за биологической доступности участков-мишеней в геноме вируса, так и из-за отличий в экспрессии конкретных генов, что может указывать на перспективность изучения высоко

консервативного участка области гена *gag* как наиболее релевантной мишени для антисмыслового воздействия на ВИЧ-1.

Использование комбинаций олигонуклеотидов, нацеленных на разные участки-мишени, приводит к повышению их противовирусной эффективности по сравнению с входящими в состав купажей аналогичными моно-олигонуклеотидами. Наилучший показатель IC₅₀ (29 ± 1,7 нМ) получен для комбинации PbS-2 + RS (область праймер-связывающего сайта + область гена *gag*). При этом аналогичная комбинация, но в связке с не тиофосфатным олигонуклеотидом, а додецил-содержащим олигодезоксирибонуклеотидом R (PbS-2 + R), показала значение IC₅₀ 46 ± 3,6 нМ, что свидетельствует о несколько более низкой противовирусной активности в сравнении с другими комбинациями (Таблица 2). Мы предполагаем, что додецил-содержащая группировка не является причиной данного снижения активности олигонуклеотида, а в большей степени к такому результату приводит замена остова олигонуклеотида с тиофосфатного на дезоксирибо. Так как ранее нами была исследована противовирусная активность олигодезоксирибонуклеотида, аналогичного по своей нуклеотидной последовательности Int (S) и было

показано, что IC₅₀ дезоксирибо нативного олигомера выше, чем для его тиофосфатного аналога [21].

Главная особенность тиофосфатных олигонуклеотидов – это высокая аффинность к взаимодействию с широким спектром биологических соединений, особенно белковой природы [6]. Данное свойство может приводить к возникновению неспецифических взаимодействий, ввиду которых происходит усиление токсических и других нежелательных биологических эффектов в организме в том числе. Ранее в работе Stain C.A. с соавт. [28] было продемонстрировано неспецифическое сродство тиофосфатного олигонуклеотида к gp120 гликопротеину ВИЧ, необходимого для взаимодействия вируса с CD4+–рецептором клетки и последующего попадания внутрь. Вероятно, наблюдаемое нами закономерное повышение противовирусной активности исследованных тиофосфатных аналогов в сравнении с соответствующими им олигодезоксирибонуклеотидами, является результатом, в том числе подобных эффектов. Для исключения таких факторов необходимо проведение дополнительных исследований, в том числе с изучением других потенциально перспективных модификаций для использования в антисмысловой стратегии, например, метилсульфониламидофосфатных (мезильных [29]) олигонуклеотидных производных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование указывает на то, что комбинации олигонуклеотидов, направленные на разные мишени в геноме ВИЧ, способны усиливать противовирусный эффект, что крайне важно для разработки новых комплексных противовирусных препаратов для терапии ВИЧ-инфекции, так как разнонаправленность противовирусного действия олигонуклеотидов позволяет минимизировать возможное негативное влияние мутационной изменчивости ВИЧ на противовирусную эффективность препаратов.

Важно также отметить, что выраженное противовирусное действие комбинаций олигонуклеотидов было показано при культивировании высоко репродуктивного штамма ВИЧ-1 на лимфоидных клетках человека, то есть на модели ВИЧ-инфекции, максимально приближенной к протеканию процессов инфицирования и размножения вируса *in vivo*.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено в рамках Государственного задания 6/21 ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

ACKNOWLEDGMENT

State Assignment no. 6/21 (Vector FBRI SRC VB, Rospotrebnadzor) supported this research.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Xie Q., Li K., Chen Y., Li Y., Jiang W., Cao W., Yu H., Fan D., Deng B. Gene therapy breakthroughs in ALS: a beacon of hope for 20% of ALS patients // *Translational Neurodegeneration*. 2025. V. 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40035-025-00477-6>
- Ay C., Reinisch A. Gene therapy: principles, challenges and use in clinical practice // *Wiener klinische Wochenschrift*. 2024. V. 137. <https://doi.org/10.1007/s00508-024-02368-8>
- Singh K., Sethi P., Datta S., Jitendra Singh Chaudhary, Kumar S., Jain D., Jeetendra Kumar Gupta, Kumar S., Ajay Guru, Siva

Prasad Panda *Advances in Gene Therapy Approaches Targeting Neuro-inflammation in Neurodegenerative Diseases // Ageing research reviews*. 2024. V. 98. P. 102321–102321. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102321>

- Samelson-Jones B.J., Small J.C., George L.A. Roctavian Gene Therapy for Hemophilia A // *Blood Advances*. 2024. V. 8(19). <https://doi.org/10.1182/bloodadvances.2023011847>
- Desgraves J.F., Mendez Valdez M.J., Chandar J., Gurses M.E., Henderson L., Castro J.R., Seetheram D., Ivan M.E., Komotar R.J., Shah A.H. Antisense Oligonucleotides for Rapid Translation of Gene Therapy in Glioblastoma // *Cancers*. 2024. V. 16(10), P. 1944. <https://doi.org/10.3390/cancers16101944>
- Crooke S.T., Seth P.P., Vickers T.A., Liang X. The Interaction of Phosphorothioate-Containing RNA Targeted Drugs with Proteins Is a Critical Determinant of the Therapeutic Effects of These Agents // *Journal of the American Chemical Society*. 2020. V. 142(35). P. 14754–14771. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c04928>
- Sabrina Haque U., Kohut M., Yokota T. Comprehensive review of adverse reactions and toxicology in ASO-based therapies for Duchenne Muscular Dystrophy: From FDA-approved drugs to peptide-conjugated ASO // *Current Research in Toxicology*. 2024. V. 7. Article id: 100182. <https://doi.org/10.1016/j.crtox.2024.100182>
- Xun J. et al. Editing out HIV: application of gene editing technology to achieve functional cure // *Retrovirology*. 2021. V. 18. N 1. P. 39. <https://doi.org/10.1186/s12977-021-00581-1>
- Ceña-Diez R., Singh K., Spetz A.-L., Anders Sönnernborg Novel Naturally Occurring Dipeptides and Single-Stranded Oligonucleotide Act as Entry Inhibitors and Exhibit a Strong Synergistic Anti-HIV-1 Profile // *Infectious Diseases and Therapy*. 2022. V. 11(3). P. 1103–1116. <https://doi.org/10.1007/s40121-022-00626-8>
- Xun J., Zhang X., Guo S., Lu H., Chen J. Editing out HIV: application of gene editing technology to achieve functional cure // *Retrovirology*. 2021. V. 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12977-021-00581-1>
- Kitawi R., Ledger S., Kelleher A.D., Ahlenstiel C.L. Advances in HIV Gene Therapy // *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. V. 25(5). Article id: 2771. <https://doi.org/10.3390/ijms25052771>
- Sachin Kothawade, Wagh V., Pande V., Amit Lunkad *Gene Therapy Approaches in HIV Treatment // Infectious diseases*. 2024. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112138>
- Menéndez-Arias L., Delgado R. Update and latest advances in antiretroviral therapy // *Trends in Pharmacological Sciences*. 2022. V. 43(1). P. 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2021.10.004>
- Dufour C., Gantner P., Fromentin R., Chomont N. The multifaceted nature of HIV latency // *The Journal of Clinical Investigation*. 2021. V. 130(7). <https://doi.org/10.1172/JCI136227>
- Kreider E.F., Bar K.J. HIV-1 Reservoir Persistence and Decay: Implications for Cure Strategies // *Current HIV/AIDS Reports*. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11904-022-00604-2>
- Chen W., Berkhout B., Pasternak A.O. Phenotyping Viral Reservoirs to Reveal HIV-1 Hiding Places // *Current HIV/AIDS Reports*. 2025. V. 22(1). <https://doi.org/10.1007/s11904-025-00723-6>
- Piran C.M.G., Mori M.M., Cargnin A.V.E., Fonseca B.S. da, Shibukawa B.M.C., Merino M. de F.G.L., Frade J.M.G., Furtado M.D. Social determinants of adherence to antiretroviral therapy among adolescents and young people living with HIV: a scoping review // *Revista da Escola de Enfermagem da USP*. 2025. V. 59. <https://doi.org/10.1590/1980-220x-reeusp-2025-0026en>
- Bertagnolio S., Hermans L.E., Jordan M.I., Ávila-Ríos S., Collins Iwuji, Derache A., Delaporte E., Annemarie Aves T., Sayem Borhan, Leenus A., Parkin N., Doherty M., Inzaule S.C., Mbuagbaw L. Clinical Impact of Pretreatment Human

- Immunodeficiency Virus Drug Resistance in People Initiating Nucleoside Reverse Transcriptase Inhibitor-Containing Antiretroviral Therapy: A Systematic Review and Meta-analysis // *The Journal of Infectious Diseases*. 2020. V. 224(3). P. 377–388. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa683>
19. Yihenew Zurbachew, Desta Hiko, Bacha G., Hailu Merga Adolescent's and youth's adherence to antiretroviral therapy for better treatment outcome and its determinants: multi-center study in public health facilities // *Aids Research and Therapy*. 2023. V. 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12981-023-00588-y>
20. Hendra Dhermawan Sitanggang, Tri, Ayu I.M. Effect of non-adherence to ARV therapy on 3-year life of HIV/AIDS patients: a cohort retrospective study // *Riset Informasi Kesehatan*. (2023). V. 12(1). P. 1–1. <https://doi.org/10.30644/rik.v12i1.692>
21. Готфрид Л.Г., Павлова А.С., Купрюшкин М.С., Пышная И.А., Гашникова Н.М. Противовирусная активность модифицированных олигонуклеотидов в лимфоидных клетках человека, инфицированных ВИЧ-1 // *Юг России: экология, развитие*. 2025. Т. 19. N 4. С. 57–67. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-5>
22. Abidi S.H., Aibekova L., Davlidova S., Amangeldiyeva A., Foley B., Ali S. Origin and evolution of HIV-1 subtype A6 // *PLOS ONE*. 2021. V. 16(12). Article id: e0260604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260604>
23. Madita Schlösser, Kartashev V.V., Mikkola V.H., Shemshura A., Saukhat S., Kolpakov D., Suladze A., Tverdokhlebova T., Hutt K., Heger E., Knops E., Böhm M., Cristanziano V.D., Kaiser R., Anders Sönnnerborg, Zazzi M., Bobkova M., Sierra S. HIV-1 Sub-Subtype A6: Settings for Normalised Identification and Molecular Epidemiology in the Southern Federal District, Russia // *Viruses*. 2020. V. 12(4). P. 475–475. <https://doi.org/10.3390/v12040475>
24. Lj R. A simple method of estimating fifty per cent endpoints // *Am J Hyg*. 1938. V. 27. P. 493–495. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a118408>
25. Kupryushkin M.S., Nekrasov M.D., Stetsenko D.A., Pyshnyi D.V. Efficient Functionalization of Oligonucleotides by New Achiral Nonnucleosidic Monomers // *Organic Letters*. 2014. V. 16(11). P. 2842–2845. <https://doi.org/10.1021/ol500668n>
26. Duchon A., Hu W.-S. HIV-1 RNA genome packaging: it's G-rated // *mBio*. 2024. V. 15(4). Article id: e0086123. <https://doi.org/10.1128/mbio.00861-23>
27. Takahashi M., Li H., Zhou J., Chomchan P., Aishwarya V., Damha M.J., Rossi J.J. Dual Mechanisms of Action of Self-Delivering, Anti-HIV-1 FANA Oligonucleotides as a Potential New Approach to HIV Therapy // *Molecular Therapy - Nucleic Acids*. 2019. V. 17. P. 615–625. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2019.07.001>
28. Stein C.A., Cleary A.M., Yakubov L., Lederman S. Phosphorothioate Oligodeoxynucleotides Bind to the Third Variable Loop Domain (v3) of Human Immunodeficiency Virus Type 1 gp120 // *Antisense Research and Development*. 1993. V. 3(1). P. 19–31. <https://doi.org/10.1089/ard.1993.3.19>
29. Miroshnichenko S.K., Patutina O.A., Burakova E.A., Chelobanov B.P., Fokina, A.A., Vlassov V.V., Altman S., Zenkova M.A., Stetsenko D.A. Methyl phosphoramidate antisense oligonucleotides as an alternative to phosphorothioates with improved biochemical and biological properties // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. V. 116(4). P. 1229–1234. <https://doi.org/10.1073/pnas.1813376116>
30. Singh K., Sethi P., Datta S., Jitendra Singh Chaudhary, Kumar S., Jain D., Jeetendra Kumar Gupta, Kumar S., Ajay Guru, Siva Prasad Panda. Advances in Gene Therapy Approaches Targeting Neuro-inflammation in Neurodegenerative Diseases. *Ageing research reviews*, 2024, vol. 98, pp. 102321–102321. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102321>
31. Samelson-Jones B.J., Small J.C., George L.A. Rictavian Gene Therapy for Hemophilia A. *Blood Advances*, 2024, vol. 8(19). <https://doi.org/10.1182/bloodadvances.2023011847>
32. Desgraves J.F., Mendez Valdez M.J., Chandar J., Gurses M.E., Henderson L., Castro J.R., Seetheram D., Ivan M.E., Komotar R.J., Shah A.H. Antisense Oligonucleotides for Rapid Translation of Gene Therapy in Glioblastoma. *Cancers*, 2024, vol. 16(10), p. 1944. <https://doi.org/10.3390/cancers16101944>
33. Crooke S.T., Seth P.P., Vickers T.A., Liang X. The Interaction of Phosphorothioate-Containing RNA Targeted Drugs with Proteins Is a Critical Determinant of the Therapeutic Effects of These Agents. *Journal of the American Chemical Society*, 2020, vol. 142(35), pp. 14754–14771. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c04928>
34. Sabrina Haque U., Kohut M., Yokota T. Comprehensive review of adverse reactions and toxicology in ASO-based therapies for Duchenne Muscular Dystrophy: From FDA-approved drugs to peptide-conjugated ASO. *Current Research in Toxicology*, 2024, vol. 7, article id: 100182. <https://doi.org/10.1016/j.crtox.2024.100182>
35. Xun J. et al. Editing out HIV: application of gene editing technology to achieve functional cure. *Retrovirology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 39. <https://doi.org/10.1186/s12977-021-00581-1>
36. Ceña-Diez R., Singh K., Spetz A.-L., Anders Sönnnerborg Novel Naturally Occurring Dipeptides and Single-Stranded Oligonucleotide Act as Entry Inhibitors and Exhibit a Strong Synergistic Anti-HIV-1 Profile. *Infectious Diseases and Therapy*, 2022, vol. 11(3), pp. 1103–1116. <https://doi.org/10.1007/s40121-022-00626-8>
37. Xun J., Zhang X., Guo S., Lu H., Chen J. Editing out HIV: application of gene editing technology to achieve functional cure. *Retrovirology*, 2021, vol. 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12977-021-00581-1>
38. Kitawi R., Ledger S., Kelleher A.D., Ahlenstiel C.L. Advances in HIV Gene Therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, vol. 25(5), article id: 2771. <https://doi.org/10.3390/ijms25052771>
39. Sachin Kothawade, Wagh V., Pande V., Amit Lunkad Gene Therapy Approaches in HIV Treatment. *Infectious diseases*. 2024. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112138>
40. Menéndez-Arias L., Delgado R. Update and latest advances in antiretroviral therapy. *Trends in Pharmacological Sciences*, 2022, vol. 43(1), pp. 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2021.10.004>
41. Dufour C., Gantner P., Fromentin R., Chomont N. The multifaceted nature of HIV latency. *The Journal of Clinical Investigation*, 2021, vol. 130(7). <https://doi.org/10.1172/JCI136227>
42. Kreider E.F., Bar K.J. HIV-1 Reservoir Persistence and Decay: Implications for Cure Strategies. *Current HIV/AIDS Reports*. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11904-022-00604-2>
43. Chen W., Berkhout B., Pasternak A.O. Phenotyping Viral Reservoirs to Reveal HIV-1 Hiding Places. *Current HIV/AIDS Reports*, 2025, vol. 22(1). <https://doi.org/10.1007/s11904-025-00723-6>
44. Piran C.M.G., Mori M.M., Cargnin A.V.E., Fonseca B.S. da, Shibukawa B.M.C., Merino M. de F.G.L., Frade J.M.G., Furtado M.D. Social determinants of adherence to antiretroviral therapy among adolescents and young people living with HIV: a scoping review. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 2025, vol. 59. <https://doi.org/10.1590/1980-220x-reeusp-2025-0026en>
45. Bertagnolio S., Hermans L.E., Jordan M.I., Ávila-Ríos S., Collins Iwuji, Derache A., Delaporte E., Annemarie Aves T.,

Sayem Borhan, Leenus A., Parkin N., Doherty M., Inzaule S.C., Mbuagbaw L. Clinical Impact of Pretreatment Human Immunodeficiency Virus Drug Resistance in People Initiating Nucleoside Reverse Transcriptase Inhibitor-Containing Antiretroviral Therapy: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Journal of Infectious Diseases*, 2020, vol. 224(3), pp. 377–388. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa683>

19. Yihnew Zurbachew, Desta Hiko, Bacha G., Hailu Merga Adolescent's and youth's adherence to antiretroviral therapy for better treatment outcome and its determinants: multi-center study in public health facilities. *Aids Research and Therapy*, 2023, vol. 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12981-023-00588-y>

20. Hendra Dhermawan Sitanggang, Tri, Ayu I.M. Effect of non-adherence to ARV therapy on 3-year life of HIV/AIDS patients: a cohort retrospective study. *Riset Informasi Kesehatan*, 2023, vol. 12(1), pp. 1–1. <https://doi.org/10.30644/rik.v12i1.692>

21. Gotfrid L.G., Pavlova A.S., Kupryushkin M.S., Pyshnaya I.A., Gashnikova N.M. Antiviral activity of modified oligonucleotides in human lymphoid cells infected with a strain of HIV-1. *South of Russia: ecology, development*, 2025, vol. 19, no. 4, pp. 57–67. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-5>

22. Abidi S.H., Aibekova L., Davlidova S., Amangeldiyeva A., Foley B., Ali S. Origin and evolution of HIV-1 subtype A6. *PLOS ONE*, 2021, vol. 16(12), article id: e0260604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260604>

23. Madita Schlösser, Kartashev V.V., Mikkola V.H., Shemshura A., Saukhat S., Kolpakov D., Suladze A., Tverdokhlebova T., Hutt K., Heger E., Knops E., Böhm M., Cristanziano V.D., Kaiser R., Anders Sönnnerborg, Zazzi M., Bobkova M., Sierra S. HIV-1 Sub-Subtype A6: Settings for Normalised Identification and

Molecular Epidemiology in the Southern Federal District, Russia. *Viruses*, 2020, vol. 12(4), pp. 475–475. <https://doi.org/10.3390/v12040475>

24. Lj R. A simple method of estimating fifty per cent endpoints. *Am J Hyg*, 1938, vol. 27, pp. 493–495. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a118408>

25. Kupryushkin M.S., Nekrasov M.D., Stetsenko D.A., Pyshnyi D.V. Efficient Functionalization of Oligonucleotides by New Achiral Nonnucleosidic Monomers. *Organic Letters*, 2014, vol. 16(11), pp. 2842–2845. <https://doi.org/10.1021/ol500668n>

26. Duchon A., Hu W.-S. HIV-1 RNA genome packaging: it's G-rated. *mBio*, 2024, vol. 15(4), article id: e0086123. <https://doi.org/10.1128/mbio.00861-23>

27. Takahashi M., Li H., Zhou J., Chomchan P., Aishwarya V., Damha M.J., Rossi J.J. Dual Mechanisms of Action of Self-Delivering, Anti-HIV-1 FANA Oligonucleotides as a Potential New Approach to HIV Therapy. *Molecular Therapy - Nucleic Acids*, 2019, vol. 17, pp. 615–625. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2019.07.001>

28. Stein C.A., Cleary A.M., Yakubov L., Lederman S. Phosphorothioate Oligodeoxynucleotides Bind to the Third Variable Loop Domain (v3) of Human Immunodeficiency Virus Type 1 gp120. *Antisense Research and Development*, 1993, vol. 3(1), pp. 19–31. <https://doi.org/10.1089/ard.1993.3.19>

29. Miroshnichenko S.K., Patutina O.A., Burakova E.A., Chelobanov B.P., Fokina, A.A., Vlassov V.V., Altman S., Zenkova M.A., Stetsenko D.A. Mesyl phosphoramidate antisense oligonucleotides as an alternative to phosphorothioates with improved biochemical and biological properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, vol. 116(4), pp. 1229–1234. <https://doi.org/10.1073/pnas.1813376116>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Людмила Г. Готфрид, Анна С. Павлова и Максим С. Купрюшкин отредактировали, обработали и написали текст. Максим С. Купрюшкин и Анна С. Павлова выполнили синтез соединений. Людмила Г. Готфрид и Мария П. Гашникова провели исследование активности и обработали результаты. Алексей В. Тотменин, Инна А. Пышная и Наталья М. Гашникова разработали концепцию и дизайн исследования. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ludmilla G. Gotfrid, Anna S. Pavlova and Maxim S. Kupryushkin edited, processed and wrote the text. Maxim S. Kupryushkin and Anna S. Pavlova performed the synthesis of compounds. Ludmilla G. Gotfrid and Maria P. Gashnikova conducted an activity study and processed the results. Alexei V. Totmenin, Inna A. Pyshnaya and Natalya M. Gashnikova undertook research conception and design. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Людмила Г. Готфрид / Ludmila G. Gotfrid <https://orcid.org/0000-0001-5896-8231>
 Максим С. Купрюшкин / Maxim S. Kupryushkin <https://orcid.org/0000-0002-2300-7809>
 Анна С. Павлова / Anna S. Pavlova <https://orcid.org/0000-0001-7889-6319>
 Мария П. Гашникова / Maria P. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0001-9888-5422>
 Алексей В. Тотменин / Alexei V. Totmenin <https://orcid.org/0000-0002-7418-4872>
 Инна А. Пышная / Inna A. Pyshnaya <https://orcid.org/0000-0002-7559-2376>
 Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Оригинальная статья / Original article

УДК 578.432

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-2



Исследование биологических свойств диких штаммов вируса болезни Ньюкасла, выделенных на территории России в период с 2018 по 2021

Вероника С. Коваленко, Любовь С. Адаменко, Ксения С. Юрченко, Юрий И. Каркавин, Александр В. Глущенко

Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Вероника С. Коваленко, м.н.с.,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр фундаментальной и трансляционной
медицины»; 630060 Россия, г. Новосибирск,
ул. Тимакова, 2.

Тел. +79528069303

Email kovalenskova.00@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-8655-9220>

Формат цитирования

Коваленко В.С., Адаменко Л.С., Юрченко К.С., Каркавин Ю.И., Глущенко А.В. Исследование биологических свойств диких штаммов вируса болезни Ньюкасла, выделенных на территории России в период с 2018 по 2021 // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 14-30.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-2

Получена 16 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 20 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Вирус болезни Ньюкасла (ВБН) остаётся значимым патогеном птиц, при этом дикие мигрирующие виды играют ключевую роль в его циркуляции и межрегиональном переносе. Цель исследования – изучить биологические свойства штаммов ВБН, выделенных от диких птиц России, с акцентом на их репликативную активность и цитотоксическое действие в отношении опухолевых клеточных линий млекопитающих.

В 2018–2021 гг. были собраны образцы от диких водоплавающих птиц, проведена изоляция вируса на куриных эмбрионах, определены титры в РГА и на клетках VeroE6. Для оценки цитотоксичности 19 штаммов использовали клеточные линии HeLa, SW13, RD, SKBR3, HEp-2 и A549. Жизнеспособность клеток анализировали методом МТТ. Штаммы демонстрировали значительную вариабельность репликативной и цитотоксической активности. Наиболее выраженный цитопатический эффект отмечен в клетках SW-13 и RD, тогда как линии SKBR-3, HeLa и HEp-2 проявляли более низкую чувствительность. Выделены штаммы с высоким и низким цитотоксическим потенциалом.

Полученные данные подтверждают биологическую неоднородность природных изолятов ВБН и их различную способность к взаимодействию с клетками млекопитающих, что важно для оценки эпизоотического риска и дальнейшего изучения онколитического потенциала вируса.

Ключевые слова

Вирус болезни Ньюкасла, дикие птицы, цитопатическое действие, опухолевые клеточные линии, репликация вируса.

Biological characterization of wild Newcastle disease virus strains Isolated in Russia between 2018 and 2021

Veronika S. Kovalenko, Lyubov S. Adamenko, Kseniya S. Yurchenko, Yuri I. Karkavin and Alexandra V. Glushchenko

Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Veronika S. Kovalenko, PhD, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova St., Novosibirsk, Russia 630060. Tel. +79528069303
Email kovalenkovs.00@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-8655-9220>

How to cite this article

Kovalenko V.S., Adamenko L.S., Yurchenko K.S., Karkavin Yu.I., Glushchenko A.V. Biological characterization of wild Newcastle disease virus strains Isolated in Russia between 2018 and 2021. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):14-30. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-2

Received 16 November 2025

Revised 20 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

Newcastle disease virus (NDV) continues to be a significant pathogen of avian species, with wild migratory birds playing a pivotal role in its circulation and interregional dissemination. This study aimed to investigate the biological characteristics of NDV strains isolated from wild birds in Russia, focusing on their replication efficiency and cytotoxic activity against mammalian tumor cell lines.

Between 2018 and 2021, 92 samples were collected from wild waterfowl, and viruses were subsequently isolated in embryonated chicken eggs. Viral titers were determined using hemagglutination assays and VeroE6 cell cultures. Cytotoxicity of 19 NDV strains was evaluated on HeLa, SW13, RD, SKBR3, HEp-2, and A549 cell lines. Cell viability was assessed using the MTT assay.

The NDV strains exhibited substantial variability in both replication and cytotoxic activity. The most pronounced cytopathic effects were observed in SW13 and RD cells, whereas SKBR3, HeLa, and HEp-2 cells displayed lower sensitivity. Strains with both high and low cytotoxic potential were identified, reflecting the heterogeneity of the isolates.

These findings highlight the biological diversity of natural NDV isolates and their differential interactions with mammalian cells, which is relevant for assessing epizootic risk and exploring the virus's potential as an oncolytic agent.

Key Words

Newcastle disease virus, wild birds, cytopathic effect, tumor cell lines, viral replication.

ВЕДЕНИЕ

Вирус болезни Ньюкасла (ВБН), или *Orthoavulavirus avian 1* (семейство Paramyxoviridae, род *Orthoavulavirus*), является одним из наиболее значимых патогенов птиц, вызывающих тяжёлые экономические потери в птицеводстве по всему миру. Болезнь характеризуется высокой контагиозностью, поражением дыхательной, пищеварительной и нервной систем птиц [1; 2]. Несмотря на активное применение вакцин, вспышки болезни продолжают регистрироваться в различных странах, что указывает на сохранение циркуляции вируса в природных условиях и возможность заноса вирулентных штаммов в хозяйства [3].

ВБН характеризуется широким кругом хозяев: вирус поражает более 250 видов птиц, включая представителей отрядов Galliformes, Columbiformes, Anseriformes, Charadriiformes и других [4]. Особую эпидемиологическую роль играют дикие мигрирующие птицы, выступающие в качестве естественных резервуаров вируса. Они способствуют его циркуляции и переносу на значительные расстояния, в том числе между континентами [5; 6]. Результаты мониторинговых исследований последних лет свидетельствуют о том, что в популяциях диких птиц циркулируют преимущественно низковирулентные (лентигенные) изоляты, однако среди них периодически выявляются и вирулентные варианты, относящиеся к генотипам VII и XIII, представляющие эпизоотическую опасность [7].

На территории России вирус болезни Ньюкасла регистрируется как у домашней, так и у дикой птицы, особенно в регионах, расположенных вдоль основных миграционных путей – Сибири, Якутии, Приморья, Камчатки и Сахалина [8]. Изоляция новых штаммов от диких птиц в этих районах представляет собой важный элемент мониторинга, позволяющий отслеживать эволюцию вируса, пути его распространения и возможное формирование новых генетических вариантов. Несмотря на проводимые исследования, биологические свойства изолятов ВБН, полученных от диких птиц России, остаются изученными недостаточно, особенно в отношении их репликативной активности в различных культурах клеток и возможного цитопатогенного действия.

Современные работы показывают, что некоторые штаммы ВБН, особенно относящиеся к генотипу VII, способны реплицироваться в опухолевых клетках млекопитающих и проявлять цитопатогенные эффекты вне основного хозяина [9]. Эти наблюдения требуют дополнительного изучения, так как биологическая активность природных изолятов может указывать на их эволюционные адаптации и изменение спектра хозяев. В частности, выявление цитотоксической активности вируса в отношении опухолевых клеточных линий представляет интерес не только с точки зрения ветеринарной вирусологии, но и с позиций фундаментальной биологии вирус-клетка.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью изучения биологических свойств штаммов ВБН, выделенных от диких птиц на территории России, что позволит оценить уровень их биологической активности, уточнить их эпизоотическую роль и потенциальное влияние на циркуляцию вируса в природных и антропогенных популяциях птиц.

Задачи исследования:

1. Провести выделение и идентификацию штаммов ВБН из биоматериала, полученного от диких птиц.
2. Оценить репликативную активность выделенных изолятов в реакции гемагглютинации и культуре клеток Vero.
3. Проанализировать видовую принадлежность и географическое распределение источников изоляции вируса.
4. Определить цитотоксическую активность отобранных штаммов в отношении опухолевых клеточных линий методом МТТ.
5. Провести сравнительный анализ полученных данных с результатами других исследований для оценки биологических особенностей выделенных штаммов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор образцов

В период с 2018 по 2021 гг. были проведены полевые работы по сбору биологического материала от диких птиц на территории России. Отбор проб осуществлялся в районах, расположенных вдоль основных миграционных путей водоплавающих и околоводных птиц (Новосибирская область, Республика Бурятия, Приморский край, Таймыр, Сахалин, Омская область, Амурская область, Якутия). От каждой особи отбирали мазки из клоаки. Пробы помещали в транспортную среду с антибиотиками и антимикотиками (пенициллин – 1000 ЕД/мл, стрептомицин – 1 мг/мл, гентамицин – 0,5 мг/мл) и хранили при температуре -70°C до момента исследования.

Изоляция вируса

Выделение ВБН проводили методом заражения 9–10-дневных куриных эмбрионов (КЭ) в аллантаоисную полость согласно стандартным методикам. После 72–96 ч инкубации при 37°C аллантаоисную жидкость отбирали и исследовали на наличие гемагглютинирующей активности. Образцы, давшие положительный результат в реакции гемагглютинации (РГА), подвергали дополнительному очищению и повторным пассажам до получения стабильных изолятов.

Определение инфекционного титра в РГА

Гемагглютинирующую активность изолятов определяли микрометодом в 96-луночных планшетах с использованием 1 % суспензии эритроцитов кур. Титр выражали в логарифмах обратного разведения, соответствующего последнему разведенному образцу, вызывающему полную гемагглютинацию (Log_2 ГАЕ).

Определение инфекционной активности на клетках VeroE6

Для оценки способности изолятов реплицироваться в клетках млекопитающих использовали клеточную линию Vero (почка зелёной марышки, *Cercopithecus aethiops*). Клетки культивировали в среде ДМЕМ с добавлением 10 % эмбриональной сыворотки крупного рогатого скота (FBS) при 37°C в атмосфере 5 % CO_2 . Инфекционный титр определяли методом 10-кратных последовательных разведений с регистрацией цитопатического действия (ЦПД). Расчёт титра выполняли по методу Рида и Менча и выражали в логарифмах $\text{TCID}_{50}/\text{мл}$.

Отбор штаммов для дальнейших исследований

На основании результатов определения титров в РГА и на клетках VeroE6 были отобраны штаммы, проявлявшие высокую репликативную активность и стабильность при пассажах. Для последующего исследования биологических свойств, включая цитотоксическую активность, выбраны 19 штаммов, выделенных из различных видов диких птиц: Свиязь (*Mareca penelope*), Касатка (*Mareca falcata*), Лысуха (*Fulica atra*), Широконоска (*Spatula clypeata*), Чирок-свистун (*Anas crecca*), Утка серая (*Mareca strepera*), Шилохвость (*Anas acuta*), Чайка серебристая (*Larus argentatus*), Чирок-трескун (*Spatula querquedula*).

Опухолевые клеточные культуры

Для оценки цитотоксической активности вируса использовали 6 опухолевых клеточных линий: карциному шейки матки человека HeLa, мелкоклеточной карциномы коры надпочечника человека SW-13, рабдомиосаркомы человека RD, рака молочной железы человека SKBR3, эпидермоидной карциномы гортани человека HEp-2 и аденокарцинома альвеолярных базальных эпителиальных клеток человека A549.

Клетки культивировали в среде ДМЕМ с добавлением 10 % FBS при 37 °C в атмосфере 5 % CO₂.

Оценка цитотоксической активности (МТТ-тест)

Цитотоксическую активность вирусных штаммов в отношении опухолевых клеток определяли по методу Mosmann с использованием МТТ-теста. Клетки засеивали в 96-луночные планшеты (2×10⁵ кл/луночку) и инфицировали вирусом в разведении, соответствующем 1 ТЦД₅₀ на клетку. После 48–72 ч инкубации вносили МТТ (5 мг/мл), инкубировали 4 ч при 37 °C, после чего осадок формазана растворяли в диметилсульфоксиде (ДМСО). Оптическую плотность

измеряли при 570 нм на микропланшетном фотометре. Процент жизнеспособности клеток рассчитывали относительно неинфицированного контроля.

Статистическая обработка данных

Все эксперименты проводили в трёх биологических повторах и трёх технических репликах. Результаты представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение. Статистическую обработку данных выполняли в программе STATISTICA 9.0. Для сравнения групп однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течение исследуемого периода (2018–2021 гг.) на территории Российской Федерации регистрировались случаи циркуляции вируса болезни Ньюкасла (ВБН) среди диких птиц. Согласно официальным данным Россельхознадзора и региональных лабораторий, при мониторинге орнитофауны в ряде регионов страны регулярно выявлялись изоляты серотипа АPMV-1, преимущественно лентигенные или вакциноподобные штаммы [10]. Данные наблюдения согласуются с результатами международных исследований, указывающих на то, что в природных условиях среди диких птиц циркулируют преимущественно низковирулентные формы вируса, обеспечивающие его длительное сохранение в экосистеме [11].

Географическое распределение и видовой состав проб

В ходе проведённого исследования получены данные по биоматериалу, собранному от диких птиц в ряде регионов России (рис. 1).



Цифрами на карте обозначены / The numbers on the map indicate:

1. Новосибирская область, 2. Республика Бурятия, 3. Приморский край, 4. Таймырский автономный округ, 5. Сахалин, 6. Омская область, 7. Амурская область, 8. Республика Саха (Якутия), 9. Республика Дагестан

1. Novosibirsk Region, 2. Republic of Buryatia, 3. Primorye Territory, 4. Taimyr Peninsula, 5. Sakhalin, 6. Omsk Region, 7. Amur Region, 8. Republic of Sakha (Yakutia), 9. Republic of Dagestan

Рисунок 1. Карта мест сбора проб: Новосибирская область, Республика Бурятия, Приморский край, Таймыр, Сахалин, Омская область, Амурская область, Республика Саха (Якутия), Республика Дагестан

Figure 1. Map of field sample collection sites: Novosibirsk Region, Republic of Buryatia, Primorye Territory, Taimyr Peninsula, Sakhalin, Omsk Region, Amur Region, Republic of Sakha (Yakutia), Republic of Dagestan

В выборку вошли представители 12 видов диких водоплавающих и околоводных птиц, в том числе: Свиязь (*Mareca penelope*), Касатка (*Mareca falcata*), Лысуха (*Fulica atra*), Широконоска (*Spatula clypeata*), Чирок-свиистунок (*Anas crecca*), Утка серая (*Mareca strepera*), Шилохвость (*Anas acuta*), Чайка серебристая (*Larus argentatus*), Чирок-трескунук (*Spatula querquedula*), Кряква обыкновенная (*Anas platyrhynchos*), Кряква черная (*Anas zonorhyncha*), Хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*).

Подобная видовая структура проб соответствует ранее описанным результатам эпизоотологического мониторинга, согласно которым дикие утки и

околоводные виды играют ключевую роль в циркуляции ВБН в природных биотопах Сибири и Дальнего Востока [12]. Эти виды часто переносят вирус бессимптомно, что подтверждает их значение как естественных резервуаров и возможных переносчиков вирулентных вариантов в популяции домашней птицы [4].

Выделенные штаммы ВБН и их биологическая характеристика

Из исследованных образцов было выделено 92 отличающихся по генотипу вирусных изолятов, подтверждённых по серотипу АРМВ-1 (табл. 1).

Таблица 1. Собранные штаммы ВБН: цитопатическое действие на клетках VeroE6 и титр РГА

Table 1. Collected NDV strains: cytopathic effect on VeroE6 cells and HA titer

Штамм Strain	Птица, вид Bird, species	Год Year	Регион Region	Титр РГА HA Titer	ЦПД VeroE6 CPE VeroE6
NDV/common teal/Amur region/Russia/105b/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Амурская область Amur Region	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Amur region/Russia/17b/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Амурская область Amur Region	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/common teal/Amur region/Russia/8b/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Амурская область Amur Region	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Buryatia/Russia/27i/2018	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	64 ГАЕ / 64 HAU	2,80
NDV/common teal/Buryatia/Russia/28i/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Республика Бурятия Republic of Buryatia	-	3,20
NDV/common teal/Buryatia/Russia/5i/2018	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Lake Chany/Russia/36/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Новосибирская область, оз. Чаны Novosibirsk Region, Chany lake	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/common teal/Novosibirsk region/2143k/Russia/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Новосибирская область, Карасук Novosibirsk Region, Karasuk	-	-
NDV/common teal/Primorje/Russia/188/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/100c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	64 ГАЕ / 64 HAU	3,00
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/111c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/130c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/163c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	16 ГАЕ / 16 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/59c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/76c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	128 ГАЕ / 128 HAU	-

NDV/common teal/Sakhalin/Russia/OD30/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Сахалин Sakhalin	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/common teal/Sakhalin/Russia/PIL4/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Сахалин Sakhalin	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/12/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/126/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/130/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/173/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/28x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/39/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/39x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/40x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/42x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/45/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/55x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/58x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/60/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	16 ГАЕ / 16 HAU	-
NDV/common teal/Yakutia/Russia/89x/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	8 ГАЕ / 8 HAU	-
NDV/common teal/Omsk region/O85/Russia/2021	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	128 ГАЕ / 128 HAU	3,80
NDV/Eurasian coot/Novosibirsk region/Russia/928/2018	Лысуха <i>Fulica atra</i>	2018	Новосибирская область, Карасук Novosibirsk	64 ГАЕ / 64 HAU	2,30

			Region, Karasuk		
NDV/European herring gull/Taimyr peninsula/Russia/11k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Тауыр Peninsula	-	4,30
NDV/European herring gull/Taimyr peninsula/Russia/17k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Тауыр Peninsula	8 ГАЕ / 8 HAU	1,40
NDV/European herring gull/Taimyr peninsula/Russia/18k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Тауыр Peninsula	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/European herring gull/Taimyr peninsula/Russia/19k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Тауыр Peninsula	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European herring gull/Yakutia/Russia/8/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/119/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/13/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/150/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/175/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/23/2020	Связь / <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/53/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/75/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/75x/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/76x/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/77/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/77x/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/79/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/80/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-

NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/83/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/85/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	16 ГАЕ / 16 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/86/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/87/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/European wigeon/Yakutia/Russia/91/2020	Связь <i>Anas penelope</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	-
NDV/falckated duck/Buryatia/Russia/10i/2018	Касатка <i>Mareca falcata</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	512 ГАЕ / 512 HAU	1,50
NDV/gadwall/Amur region/97b/2020	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2020	Амурская область Amur Region	-	-
NDV/gadwall/Amur region/Russia/4b/2020	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2020	Амурская область Amur Region	-	-
NDV/gadwall/Amur region/Russia/5b/2019	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2019	Амурская область Amur Region	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/gadwall/Buryatia/Russia/2210/2019	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2019	Республика Бурятия Republic of Buryatia	-	2,10
NDV/gadwall/Omsk region/O25/Russia/2021	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2021	Омская область Omsk Region	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/gadwall/Omsk region/O4/Russia/2021	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2021	Омская область Omsk Region	16 ГАЕ / 16 HAU	2,50
NDV/garganey/Novosibirsk region/5068k/Russia/2021	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2021	Новосибирская область, Карасук Novosibirsk Region, Karasuk	-	1,00
NDV/garganey/Omsk region/O131/Russia/2021	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2021	Омская область Omsk Region	16 ГАЕ / 16 HAU	1,00
NDV/garganey/Yakutia/Russia/177/2020	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/garganey/Yakutia/Russia/5/2020	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/mallard/Amur region/Russia/120b/2020	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2020	Амурская область Amur Region	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/mallard/Buryatia/Russia/96i/2019	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2019	Республика Бурятия Republic of Buryatia	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/mallard/Dagestan/Russia/28d/2019	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2019	Республика Дагестан Republic of	32 ГАЕ / 32 HAU	-

Daghestan					
NDV/mallard/Novosibirsk region/5132k/Russia/2021	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2021	Новосибирская область, Карасук Novosibirsk Region, Karasuk	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/mallard/Omsk region/O6/Russia/2021	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2021	Омская область Omsk Region	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/mallard/Primorje/Russia/249/2019	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/mallard/Primorje/Russia/34/2019	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	256 ГАЕ / 256 HAU	-
NDV/mallard/Primorje/Russia/51/2019	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/mallard/Yakutia/Russia/140/2020	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/mallard/Yakutia/Russia/18/2020	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/mallard/Yakutia/Russia/20x/2020	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/mallard/Yakutia/Russia/4/2020	Кряква обыкновенная <i>Anas platyrhynchos</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/northern pintail/Novosibirsk region/Russia/513k/2018	Шилохвость <i>Anas acuta</i>	2018	Новосибирская область, Карасук Novosibirsk Region, Karasuk	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/northern pintail/Primorje/Russia/319/2019	Шилохвость <i>Anas acuta</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	256 ГАЕ / 256 HAU	2,20
NDV/shoveler/Buryatia/Russia/52i/2018	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	128 ГАЕ / 128 HAU	1,70
NDV/shoveler/Yakutia/Russia/20/2020	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/shoveler/Yakutia/Russia/32/2020	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	512 ГАЕ / 512 HAU	-
NDV/shoveler/Yakutia/Russia/73/2020	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/spot-billed duck/Primorje/Russia/39/2019	Кряква черная <i>Anas zonorhyncha</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	128 ГАЕ / 128 HAU	-
NDV/teal/Omsk region/O145/Russia/2021	Чирок-свистунук <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	64 ГАЕ / 64 HAU	2,60
NDV/teal/Omsk region/O164/Russia/2021	Чирок-свистунук <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	-	1,00
NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/6x/2020	Чернеть хохлатая <i>Aythya fuligula</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	64 ГАЕ / 64 HAU	-
NDV/wigeon/Lake	Связь	2018	Новосибирская	64 ГАЕ /	3,75

Chany/Russia/40yu/2018	<i>Anas penelope</i>		область, оз. Чаны Novosibirsk Region, Chany lake	64 HAU	
NDV/shoveler/Yakutia/Russia/71/2020	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	6,20
NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/36x/2020	Чернеть хохлатая <i>Aythya fuligula</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	4,45

Анализ происхождения изолятов показал, что штаммы с высокими титрами и выраженным ЦПД чаще выделялись от птиц, принадлежащих к миграционным маршрутам Восточно-Азиатско-Австралазийского пролёта, в частности – от уток, добытых на Сахалине, в Приморском крае и на территории Республики Саха (Якутия). Эти данные подтверждают гипотезу о межрегиональном переносе вируса мигрирующими видами и согласуются с результатами аналогичных наблюдений в Китае и Казахстане [4; 13].

Таким образом, миграционные потоки диких птиц могут способствовать сохранению и рекомбинации генетически разнородных штаммов ВБН, что повышает вероятность появления новых вариантов

вируса, потенциально опасных для домашних популяций птиц.

Обоснование отбора штаммов для культивирования на опухолевых культурах

Из всех отобранных проб 19 штаммов проявили выраженное ЦПД в культуре клеток VeroE6 (табл. 2). Визуально ЦПД характеризовался округлением и отслоением клеток, что указывает на активную репликацию вируса и высокий уровень вирулентности *in vitro*. Полученные данные свидетельствуют о том, что среди циркулирующих изолятов диких птиц присутствуют вирусы с повышенной репликативной способностью, потенциально способные вызывать эпизоотические вспышки [14].

Таблица 2. Штаммы ВБН из коллекции 2018–2021 года сбора с выраженным ЦПД

Table 2. NDV strains from the 2018–2021 collection with pronounced CPE

Штамм Strain	Птица, вид Bird, species	Год Year	Регион Region	Титр РГА HA Titer	ЦПД VeroE6 CPE VeroE6
NDV/shoveler/Yakutia/ Russia/71/2020	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	128 ГАЕ / 128 HAU	6,20
NDV/tufted duck/Yakutia/Russia /36x/2020	Чернеть хохлатая <i>Aythya fuligula</i>	2020	Республика Саха (Якутия) Republic of Sakha (Yakutia)	32 ГАЕ / 32 HAU	4,45
NDV/European herring gull/ Taimyr peninsula/ Russia/11k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Taymyr Peninsula	-	4,30
NDV/common teal/Omsk region/O85/Russia/2021	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	128 ГАЕ / 128 HAU	3,80
NDV/wigeon/Lake Chany/Russia/40yu/2018	Свиязь <i>Anas penelope</i>	2018	Новосибирская область, оз. Чаны Novosibirsk Region, Chany lake	64 ГАЕ / 64 HAU	3,75
NDV/common teal/Buryatia/Russia /28i/2019	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2019	Республика Бурятия Republic of Buryatia	-	3,20
NDV/common teal/Sakhalin/Russia /100c/2020	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2020	Сахалин Sakhalin	64 ГАЕ / 64 HAU	3,00
NDV/common teal/Buryatia/Russia /27i/2018	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	64 ГАЕ / 64 HAU	2,80
NDV/teal/Omsk region/O145/Russia/2021	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	64 ГАЕ / 64 HAU	2,60
NDV/Eurasian coot /Novosibirsk region/Russia/928/2018	Лысуха <i>Fulica atra</i>	2018	Новосибирская область, Карасук Karasuk,	64 ГАЕ / 64 HAU	2,30

Novosibirsk Region					
NDV/northern pintail/Primorje/Russia/319/2019	Шилохвость <i>Anas acuta</i>	2019	Приморский край Primorye Territory	256 ГАЕ / 256 HAU	2,20
NDV/gadwall/Buryatia/Russia/2210/2019	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2019	Республика Бурятия Republic of Buryatia	-	2,10
NDV/shoveler/Buryatia/Russia/52i/2018	Широконоска <i>Spatula clypeata</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	128 ГАЕ / 128 HAU	1,70
NDV/falckated duck/Buryatia/Russia/10i/2018	Касатка <i>Mareca falcata</i>	2018	Республика Бурятия Republic of Buryatia	512 ГАЕ / 512 HAU	1,50
NDV/European herring gull/Taimyr peninsula/Russia/17k/2020	Чайка серебристая <i>Larus argentatus</i>	2020	Таймыр Taymyr Peninsula	8 ГАЕ / 8 HAU	1,40
NDV/garganey/Omsk region/O131/Russia/2021	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2021	Омская область Omsk Region	16 ГАЕ / 16 HAU	1,00
NDV/teal/Omsk region/O164/Russia/2021	Чирок-свиистунок <i>Anas crecca</i>	2021	Омская область Omsk Region	-	1,00
NDV/garganey/Novosibirsk region/5068k/Russia/2021	Чирок-трескунок <i>Spatula querquedula</i>	2021	Новосибирская область, Карасук Karasuk, Novosibirsk Region	-	1,00
NDV/gadwall/Omsk region/O4/Russia/2021	Утка серая <i>Mareca strepera</i>	2021	Омская область Omsk Region	16 ГАЕ / 16 HAU	2,50

Интересно отметить, что не все изоляты с выраженным ЦПД демонстрировали высокие титры в РГА. Это расхождение может объясняться особенностями взаимодействия вирусных белков с эритроцитарными рецепторами: известно, что активность гемагглютинаина-нейраминидазы (HN) не всегда коррелирует с уровнем репликации вируса в клеточной культуре [15]. В некоторых случаях низкий титр в РГА может отражать мутации в области связывания HN-белка, не влияющие на общую вирусную продуктивность, но уменьшающие эффективность агглютинации эритроцитов.

Для дальнейшего анализа цитотоксической активности были отобраны 19 штаммов, соответствующих следующим критериям: высокий титр в РГА и/или на клетках Vero, а также стабильность при повторных пассажах.

Такой подход согласуется с рекомендациями FAO и OIE по отбору изолятов для углубленного фенотипического анализа [16]. Он позволяет сосредоточиться на штаммах, демонстрирующих максимальный биологический потенциал и представляющих интерес для изучения как с эпизоотологической, так и с вирусологической точки зрения.

Обоснование выбора опухолевых клеточных линий

Для изучения возможной цитотоксической активности отобранных штаммов ВБН использовались опухолевые клеточные линии различных гистогенетических типов: HeLa, SW-13, RD, SKBR3, HEp-2, A549. Использование указанных линий обусловлено тем, что они обладают различной степенью чувствительности к вирусным инфекциям и применяются в качестве стандартных моделей для оценки онколитической активности вирусов [17]. Согласно литературным данным, некоторые штаммы ВБН способны проявлять онколитические свойства, вызывая лизис опухолевых клеток млекопитающих при отсутствии выраженной репликации в нормальных клетках [18; 19]. Это делает их перспективными для дальнейших исследований в области экспериментальной виротерапии.

Описание цитотоксической активности штаммов в опухолевых клетках (МТТ-тест)

Оценка цитопатического действия выделенных изолятов ВБН проводилась с использованием МТТ-теста на клеточной линии, относящейся к клеткам млекопитающих (человека). Целью данного анализа являлась сравнительная характеристика степени воздействия различных штаммов ВБН на метаболическую активность клеток, что отражает уровень их репликативной активности и цитотоксического потенциала в гетерологичной клеточной системе.

В исследовании использовано 17 штаммов ВБН, которые показали высокие титры РГА или ЦПД на клетках VeroE6 с сохранением стабильного показателя активности вируса в нескольких пассажах. Каждый штамм тестировался в пяти последовательных разведениях на клетках SW13. Средние значения жизнеспособности клеток (в процентах относительно контроля) варьировали от 12,6 % до 145,1 %, что указывает на значительную межштаммовую вариабельность цитопатического эффекта (рис. 2).

В целом, при высоких концентрациях вируса (разведения -1 и -2) наблюдалось достоверное снижение жизнеспособности клеток – в среднем до 65 % от контроля, что свидетельствует о выраженной цитотоксичности ряда изолятов. При увеличении разведения вируса (до -3 и выше) активность снижалась, и жизнеспособность клеток восстанавливалась до 90–100 %, что типично для дозозависимой реакции клеток на вирусную нагрузку.

Наиболее выраженное снижение показателей жизнеспособности клеток наблюдалось при действии штаммов: NDV/northern pintail/Primorje/Russia/319/2019; NDV/eurasian coot/Novosibirsk region/Russia/928/2018; NDV/common teal/Omsk region/O85/Russia/2021, для которых при первых двух разведениях жизнеспособность клеток составляла менее 40–45 %. Эти изоляты характеризуются повышенной цитопатогенностью, что может быть связано с особенностями строения их поверхностных гликопротеинов (HN и F), обеспечивающих эффективное слияние с мембраной клеток млекопитающих и быструю индукцию апоптоза [20].

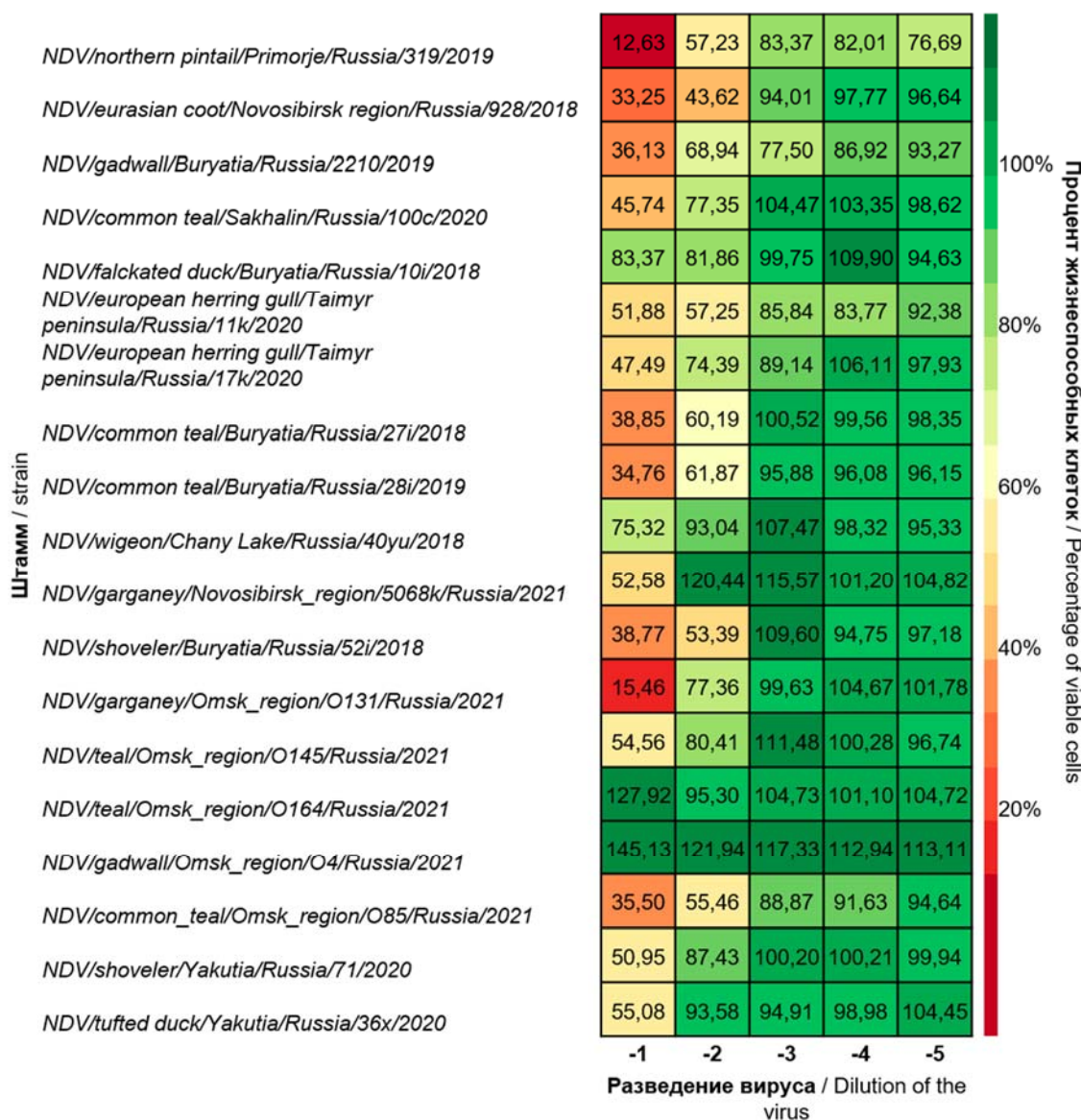


Рисунок 2. Цитотоксическая активность штаммов ВБН на клеточной линии SW13
Figure 2. Cytotoxic activity of NDV strains on the SW13 cell line

Напротив, штаммы *NDV/gadwall/Omsk_region/O4/Russia/2021*, *NDV/teal/Omsk_region/O164/Russia/2021*, *NDV/garganey/Novosibirsk_region/5068k/Russia/2021* демонстрировали слабое цитопатическое действие, а в отдельных случаях даже незначительное повышение метаболической активности клеток (>110 % от контроля), что может указывать на низкую репликативную активность или адаптацию данных изолятов к иным типам клеток.

Анализ цитотоксической активности штаммов ВБН на клеточной линии RD выявил выраженные различия между изолятами как по силе цитолитического действия, так и по его дозозависимости. Для ряда штаммов (*NDV/northern pintail/Primorje/319/2019* и *NDV/common teal/Sakhalin/100c/2020*) наблюдалось резкое подавление жизнеспособности клеток в высоких концентрациях (разведения 10^{-1} – 10^{-2}) при заметном восстановлении клеточной популяции при низких дозах вируса. Это указывает на выраженный острофазный цитопатический эффект при высоком уровне вирусной нагрузки (рис. 3).

Однако изоляты *NDV/european herring gull/Taimyr peninsula/17k/2020* и *NDV/teal/Omsk_region/O145/2021*

демонстрировали относительно стабильное сохранение низкого уровня цитотоксичности во всех исследованных разведениях, включая высокие концентрации. Подобный профиль можно интерпретировать как более слабое взаимодействие вируса с рецепторным аппаратом клеток RD или особенности его внутриклеточной репликации, не приводящие к быстрому лизису клеток.

Группа штаммов, включая *NDV/shoveler/Buryatia/52i/2018*, *NDV/garganey/Novosibirsk_region/5068k/2021* и *NDV/common teal/Buryatia/27i/2018*, демонстрировала промежуточный тип реакции, при котором в диапазоне разведений 10^{-1} – 10^{-3} отмечалась умеренная цитотоксичность с постепенным восстановлением жизнеспособности клеток по мере снижения дозы вируса. Это предполагает сбалансированное взаимодействие вируса с клетками, что, вероятно, отражает как особенности тропизма, так и различия в кинетике репликации.

Наиболее восприимчивой к ЦПД штаммов ВБН оказалась клеточная линия A549. В случае воздействия вируса в высоких концентрациях наблюдалось значительное подавление клеточного роста (рис. 4).

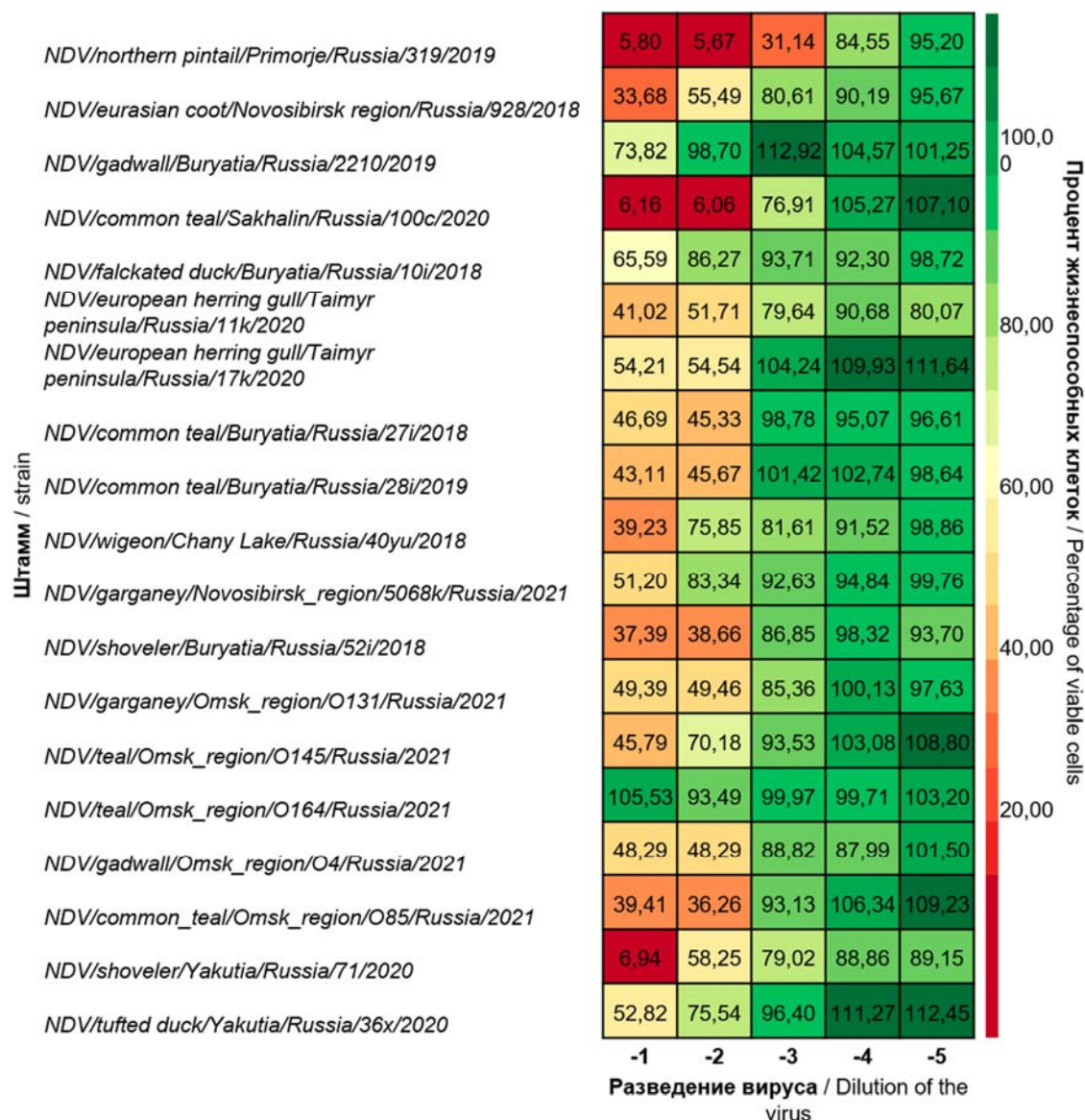


Рисунок 3. Цитотоксическая активность штаммов ВБН на клеточной линии RD
Figure 3. Cytotoxic activity of NDV strains on the RD cell line

На клеточной линии A549 наблюдалась выраженная зависимость чувствительности клеток к инфицированию различными штаммами ВБН, при этом выявленные закономерности в значительной степени воспроизводили тенденции, ранее описанные для культур SW-13 и RD. Наиболее интенсивный ЦПД был зарегистрирован при инфицировании штаммами *NDV/northern pintail/Primorje/Russia/319/2019*, *NDV/eurasian coot/Novosibirsk region/Russia/928/2018*, *NDV/common teal/Sakhalin/Russia/100c/2020*, *NDV/falckated duck/Buryatia/Russia/10i/2018*, *NDV/european herring gull/Taimyr peninsula/Russia/11k/2020*, *NDV/wigeon/Chany Lake/Russia/40yu/2018* и *NDV/teal/Omsk_region/O145/Russia/2021*. Эти штаммы демонстрировали стабильную способность индуцировать гибель клеток даже при значительных разведениях, что может указывать на высокую эффективность вирусного проникновения и репликации, а также на потенциально усиленную активность F- и HN-белков, обеспечивающих слияние мембран и дальнейшее распространение вируса в культуре.

Следует отметить, что в системе A549 выраженность ЦПД в целом была выше по сравнению с SW-13 и RD, что согласуется с данными литературы о повышенной восприимчивости эпителиальных клеток лёгких к ВБН вследствие активной продукции интерферона I типа и вовлечения митохондриальных апоптотических путей, которые могут усиливать вирус-опосредованную гибель клеток.

В то же время ряд штаммов проявил минимальный или практически отсутствующий цитопатический эффект. К этой группе относились *NDV/common teal/Buryatia/Russia/28i/2019*, *NDV/garganey/Novosibirsk_region/5068k/Russia/2021*, *NDV/common_teal/Omsk_region/O85/Russia/2021* и *NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/36x/2020*. Вероятно, низкий ЦПД в A549 обусловлен либо сниженной способностью этих изолятов к эффективной репликации в клетках эпителиального происхождения, либо особенностями взаимодействия вирусных гликопротеинов с рецепторным аппаратом A549, что ограничивает ранние этапы инфицирования и дальнейшее распространение вирусной инфекции [21].

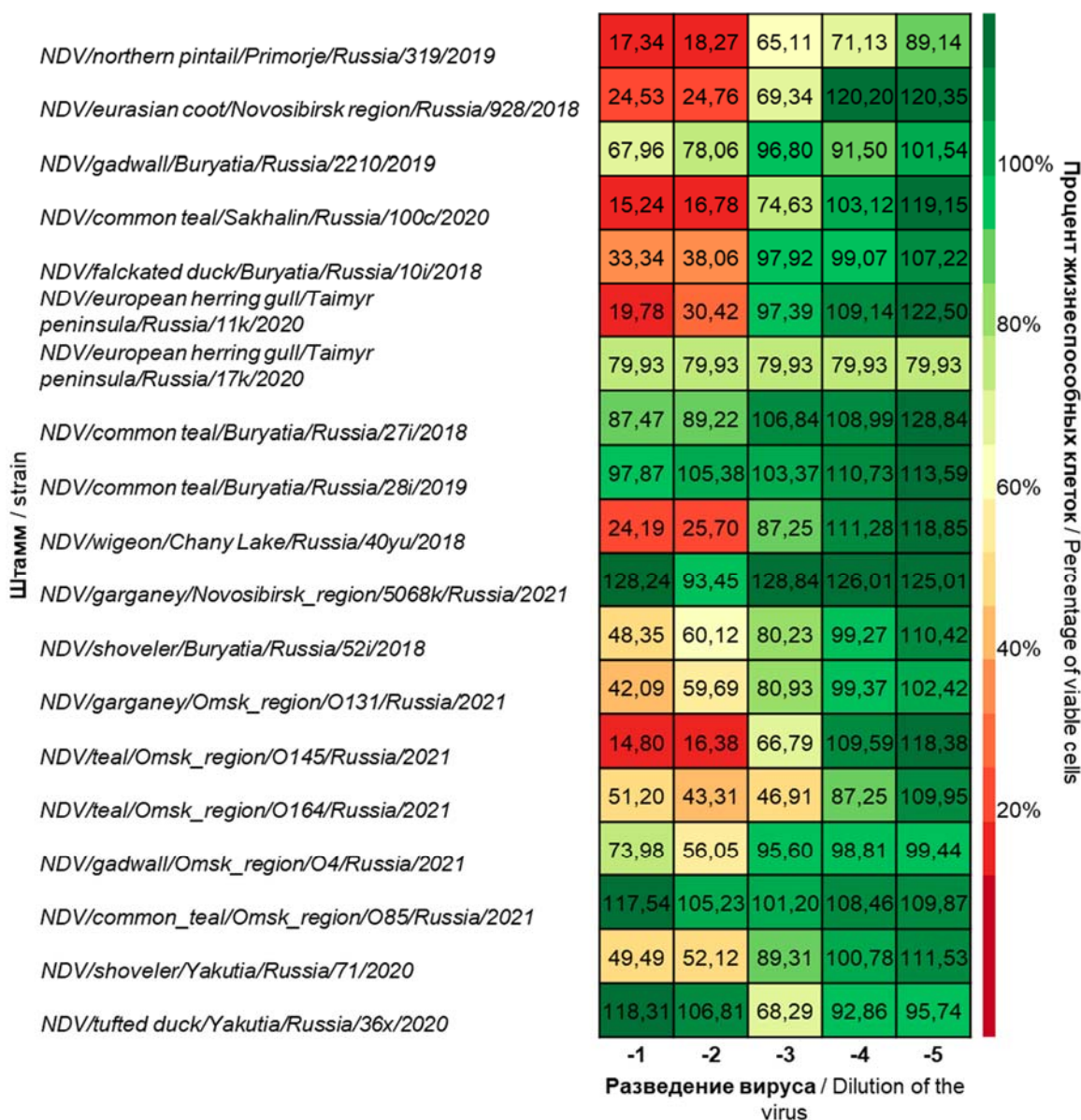


Рисунок 4. Цитотоксическая активность штаммов ВБН на клеточной линии A549

Figure 4. Cytotoxic activity of NDV strains on the A549 cell line

В отличие от клеточных линий RD, SW-13 и A549, где для ряда штаммов наблюдалось выраженное снижение жизнеспособности клеток уже при высоких концентрациях вируса, на линиях SKBR-3, HeLa и HEP-2 цитопатическое действие было менее выраженным.

На клетках SKBR-3 большинство исследованных штаммов ВБН вызывали умеренное снижение жизнеспособности клеток при высоких дозах вируса (разведения -1 и -2), однако начиная с разведения

-3 уровень метаболической активности клеток стабилизировался на уровне 80–100%. Это указывает на эффективные механизмы клеточной компенсации и восстановления, а также на сниженную чувствительность данной линии к переработке вирусного материала и апоптотической сигнализации, по сравнению с более уязвимыми линиями RD и SW-13 (табл. 3).

Таблица 3. Перечень штаммов без проявления ЦПД в отношении опухолевых линий SKBR-3, HeLa и HEP-2

Table 3. List of strains without CPE in relation to the tumor lines SKBR-3, HeLa and HEP-2

Клеточная линия Cell Line	Штаммы с полным отсутствием ЦПД Strains with Complete Absence of CPE
SKBR-3	NDV/european herring gull/Taimyr peninsula/Russia/17k/2020
	NDV/teal/Omsk_region/O164/Russia/2021
	NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/36x/2020
HeLa	NDV/gadwall/Buryatia/Russia/2210/2019
	NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/36x/2020
HEP-2	NDV/gadwall/Buryatia/Russia/2210/2019
	NDV/tufted duck/Yakutia/Russia/36x/2020

Клеточная линия HeLa также продемонстрировала ограниченную восприимчивость к большинству штаммов. В ряде случаев даже при высокой концентрации вируса сохранялось до 70–90 % жизнеспособных клеток. Это согласуется с литературными данными, согласно которым HeLa-клетки имеют высокую устойчивость к активации каспазного апоптоза, что может ограничивать эффективность вирус-опосредованной гибели клеток и, соответственно, выраженность цитопатического эффекта [22].

На клетках HEp-2 наблюдалась промежуточная чувствительность: для некоторых штаммов фиксировалось умеренное снижение жизнеспособности (до 60–70 %) в высоких концентрациях вируса, однако в дальнейшем отмечалось выравнивание ответа при низких разведениях. Это указывает на то, что эффективность репликации ВБН в HEp-2 ограничена, вероятно, вследствие активного интерферонового и врождённого противовирусного ответа.

Слабовыраженная цитотоксичность на SKBR-3, HeLa и HEp-2 отражает естественную биологию большинства диких изолятов ВБН, которые сохраняют орнитотропность и ограниченную способность к репликации в клетках млекопитающих.

Обнаруженная вариабельность цитотоксического эффекта среди исследованных штаммов отражает широкий спектр биологических свойств ВБН, присущих изолятам, выделенным от диких птиц. Это соответствует ранее опубликованным данным о высокой генетической и фенотипической неоднородности природных штаммов [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования установлено, что штаммы ВБН, выделенные от диких водоплавающих птиц различных регионов России, демонстрируют значительную вариабельность цитотоксического действия в отношении опухолевых клеточных линий млекопитающих. Наиболее выраженный ЦПД регистрировался на клетках линии SW13, тогда как на SKBR-3 наблюдалось умеренное снижение жизнеспособности, а на клетках HeLa цитотоксическое действие было минимальным или отсутствовало.

Выявленные различия в чувствительности клеточных линий отражают особенности их противовирусной защиты и позволяют предположить, что способность штаммов ВБН индуцировать клеточную гибель в культурах млекопитающих определяется сочетанием факторов: эффективности репликации вируса, состояния интерферонового ответа в клетке-хозяине и уровня дисрегуляции апоптотических механизмов. Кластеризация полученных данных позволила выделить группы штаммов с близкими биологическими свойствами, что подтверждает их природное эволюционное различие и адаптацию к специфическим эколого-географическим нишам.

Таким образом, исследованные штаммы ВБН представляют собой биологически неоднородную группу вирусов, сохраняющих характерную для орнитотропных вирусов низкую репликативную активность в клетках человека и вариативную степень цитотоксичности в опухолевых клетках. Полученные результаты имеют значение для дальнейшего изучения механизмов взаимодействия штаммов ВБН с клетками

млекопитающих, оценки их потенциальной безопасности, а также определения критериев выбора штаммов для углубленного биологического и функционального анализа.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта «Создание актуальной коллекции современных вирусов болезни Ньюкасла (ВБН) для разработки иммунологических биопрепаратов» РНФ № 24-24-00367.

ACKNOWLEDGMENT

The work was supported by the Russian Science Foundation grant, Creation of an Up-To-Date Collection of Modern Newcastle Disease Viruses (NDV) for the Development of Immunological Biological Products» RSF № 24-24-00367.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Malik Y.S. et al. Newcastle disease and other avian paramyxoviruses // Role of Birds in Transmitting Zoonotic Pathogens. Singapore: Springer Singapore. 2021. С. 79–91. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4554-9_6
2. Ariyama N. et al. Avian orthoavulavirus 1 (Newcastle Disease virus) antibodies in five penguin species, Antarctic peninsula and Southern Patagonia // Transboundary and Emerging Diseases. 2021. V. 68. N 6. P. 3096–3102. <https://doi.org/10.1111/tbed.14037>
3. Samad A. et al. Newcastle disease in poultry, its diagnosis, prevention and control strategies // Int. J. Med. Phar. Drug Re. 2022. V. 6. Iss. 6. P. 25–28. <https://doi.org/10.22161/IJMPD.6.2.3>
4. Murashkina T. et al. Avian influenza virus and avian paramyxoviruses in wild waterfowl of the western coast of the Caspian Sea (2017–2020) // Viruses. 2024. V. 16. N 4. P. 598. doi: 10.3390/v16040598
5. Afonso C.L. Virulence during Newcastle disease viruses cross species adaptation // Viruses. 2021. V. 13. N 1. P. 110. doi: 10.3390/v13010110
6. Kanwal A. et al. Role of wild birds in spreading potential zoonotic diseases in poultry // Zoonosis. Uni Sci Pub. Faisalabad. Pakistan. 2023. V. 1. P. 530–540.
7. Derko A. et al. Detection of a novel gull-like clade of Newcastle disease virus and H3N8 avian influenza virus in the Arctic region of Russia (Taimyr Peninsula) // Viruses. 2025. V. 17. N 7. P. 955. doi: 10.3390/v17070955
8. Глущенко А.В. и др. О роли диких птиц в сохранении и распространении птичьего парамиксовируса серотипа 1 (вирус болезни Ньюкасла) на территории Сибири и Дальнего востока, Россия // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. N 2. С. 50–58. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-2-50-58>
9. Zhou J. et al. Recent advancements in the diverse roles of polymerase-associated proteins in the replication and pathogenesis of Newcastle disease virus // Veterinary Research. 2025. V. 56. N 1. P. 8.
10. Guseva N.A. et al. Analysis of avian orthoavulavirus 1 detected in the Russian Federation between 2017 and 2021 // Vaccines. 2023. V. 11. N 6. P. 1032.
11. Perlas A. et al. Persistence of low pathogenic avian influenza virus in artificial streams mimicking natural conditions of waterfowl habitats in the Mediterranean climate // Science of the Total Environment. 2023. V. 863. Article ID: 160902.

12. Karamendin K., Kydyrmanov A. Cormorants as a potentially important reservoir and carrier of Newcastle disease virus on the Asian continent // *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. V. 8. Article ID: 648091.
13. Amoia C.F. et al. Genomic diversity and geographic distribution of Newcastle disease virus genotypes in Africa: implications for diagnosis, vaccination, and regional collaboration // *Viruses*. 2024. V. 16. N 5. P. 795.
14. Nooruzzaman M. et al. Genetic and biological characterization of Newcastle disease viruses circulating in Bangladesh during 2010–2017: further genetic diversification of class II genotype XIII in Southcentral Asia // *Journal of General Virology*. 2021. V. 102. N 3. Article ID: 001554.
15. Zhang D., Ding Z., Xu X. Pathologic mechanisms of the Newcastle disease virus // *Viruses*. 2023. V. 15. N 4. P. 864.
16. Maciel C. World Organisation for Animal Health // *Elgar Concise Encyclopedia of Animal Law*. 2025. P. 446.
17. Каркавин Ю.И. и др. Противоопухолевый эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010 на модели солидной карциномы Льюиса // *Юг России: экология, развитие*. 2024. Т. 19. N 3. С. 44–54. doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-4
18. Yurchenko K.S. et al. Oncolytic virotherapy with mesogenic Newcastle disease virus for Lewis lung carcinoma // *Cell and Tissue Biology*. 2025. V. 19. N 4. P. 347–357.
19. Huang F. et al. Development of molecular mechanisms and their application on oncolytic Newcastle disease virus in cancer therapy // *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2022. V. 9. Article ID: 889403.
20. Lu X. et al. The haemagglutinin–neuraminidase protein of velogenic Newcastle disease virus enhances viral infection through NF- κ B-mediated programmed cell death // *Veterinary Research*. 2024. V. 55. N 1. P. 58.
21. Bian J. et al. Caspase- and p38-MAPK-dependent induction of apoptosis in A549 lung cancer cells by Newcastle disease virus // *Archives of virology*. 2011. V. 156. N 8. P. 1335–1344.
22. Chandrasekaran A.P. et al. YM155 sensitizes HeLa cells to TRAIL-mediated apoptosis via cFLIP and survivin downregulation // *Oncology Letters*. 2020. V. 20. N 4. P. 72.
23. Miller P.J. et al. Identification of new sub-genotypes of virulent Newcastle disease virus with potential panzootic features // *Infection, genetics and evolution*. 2015. V. 29. P. 216–229.
- REFERENCES**
1. Malik Y.S., Arun Prince Milton A., Ghatak S., Ghosh S. Newcastle Disease and Other Avian Paramyxoviruses. *Role of Birds in Transmitting Zoonotic Pathogens. Livestock Diseases and Management*. Springer, Singapore, 2021, pp. 79–91. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4554-9_6
2. Ariyama N., Tapia R., Godoy C., Agüero B., Valdés V., Berrios F., García Borboroglu P., Pütz K., Alegria R., Barriga G.P., Medina R., Neira V. Avian orthoavulavirus 1 (Newcastle Disease virus) antibodies in five penguin species, Antarctic peninsula and Southern Patagonia. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2021, vol. 68, no. 6, pp. 3096–3102. <https://doi.org/10.1111/tbed.14037>
3. Samad A., Hamza M., Muazzam A., Ahmer A., Tariq S., Shahid M.J., Akram W., Kaleem M.Z., Javaid A. Newcastle disease in poultry, its diagnosis, prevention and control strategies. *International Journal of Medical, Pharmaceutical and Drug Research*, 2022, vol. 6, iss. 2, pp. 25–28. <https://doi.org/10.22161/IJMPD.6.2.3>
4. Murashkina T., Sharshov K., Gadzhiev A., Petherbridge G., Derko A., Sobolev I., Dubovitskiy N., Loginova A., Kurskaya O., Kasianov N., Kabilov M., Mine J., Uchida Y., Tsunekuni R., Saito T., Alekseev A., Shestopalov A. Avian Influenza Virus and Avian Paramyxoviruses in Wild Waterfowl of the Western Coast of the Caspian Sea (2017–2020). *Viruses*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 598. doi: 10.3390/v16040598
5. Afonso C.L. Virulence during Newcastle Disease Viruses Cross Species Adaptation. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 110. doi: 10.3390/v13010110
6. Kanwal A., Rashid M., Shakir U., Rizwan M., Akram M.S. Role of wild birds in spreading potential zoonotic diseases in poultry. *Zoonosis*, 2023, vol. 1, pp. 530–540.
7. Derko A., Dubovitskiy N., Prokudin A., Mine J., Tsunekuni R., Uchida Y., Saito T., Kasianov N., Loginova A., Sobolev I., Kumar S., Shestopalov A., Sharshov K. Detection of a Novel Gull-like Clade of Newcastle Disease Virus and H3N8 Avian Influenza Virus in the Arctic Region of Russia (Taimyr Peninsula). *Viruses*, 2025, vol. 17, no. 7, pp. 955. doi: 10.3390/v17070955
8. Glushchenko A.V., Yurchenko K.S., Yurlov A.K., Yushkov Y.G., Shchelkanov M.Y., Shestopalov A.M. The role of wild birds in preservation and prevalence of avian paramyxovirus serotype 1 (Newcastle disease viruses) in Siberia and the Far East, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2016, vol. 11, no. 2, pp. 50–58. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-2-50-58>
9. Zhou J., Duan Y., Liu M., Liu J., Hu Z., Duan Z. Recent advancements in the diverse roles of polymerase-associated proteins in the replication and pathogenesis of Newcastle disease virus. *Veterinary Research*, 2025, vol. 56, no. 1, p. 8.
10. Guseva N.A., Kolosov S.N., Zinyakov N.G., Andriyasov A.V., Yin R., Scherbakova L.O., Ovchinnikova E.V., Nikonova Z.B., Andreychuk D.B., Sprygin A.V., Chvala I.A., Moroz N.V. Analysis of avian orthoavulavirus 1 detected in the Russian Federation between 2017 and 2021. *Vaccines*, 2023, vol. 11, no. 6, p. 1032.
11. Perlas A., Bertran K., Abad F.X., Borrego C.M., Nofrarias M., Valle R., Paillet-García L., Ramis A., Cortey M., Acuña V., Majó N. Persistence of low pathogenic avian influenza virus in artificial streams mimicking natural conditions of waterfowl habitats in the Mediterranean climate. *Science of the Total Environment*, 2023, vol. 863, article id: 160902.
12. Karamendin K., Kydyrmanov A. Cormorants as a potentially important reservoir and carrier of Newcastle disease virus on the Asian continent. *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, vol. 8, article id: 648091.
13. Amoia C.F., Hakizimana J.N., Chengula A.A., Munir M., Misinzo G., Weger-Lucarelli J. Genomic diversity and geographic distribution of Newcastle disease virus genotypes in Africa: implications for diagnosis, vaccination, and regional collaboration. *Viruses*, 2024, vol. 16, no. 5, p. 795.
14. Nooruzzaman, M. et al. Genetic and biological characterization of Newcastle disease viruses circulating in Bangladesh during 2010–2017: further genetic diversification of class II genotype XIII in Southcentral Asia. *Journal of General Virology*, 2021, vol. 102, no. 3, article id: 001554.
15. Zhang D., Ding Z., Xu X. Pathologic mechanisms of the Newcastle disease virus. *Viruses*, 2023, vol. 15, no. 4, p. 864.
16. Maciel C. World Organisation for Animal Health. In: *Elgar Concise Encyclopedia of Animal Law*, 2025, p. 446.
17. Karkavin Y.I., Adamenko L.S., Yurchenko K.S., Glushchenko A.V. Antitumor effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010 on a model of solid

- Lewis carcinoma. *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 44–54. (In Russian) doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-4
18. Yurchenko K.S., Adamenko L.S., Glushchenko A.V., Shestopalov A.M. Oncolytic virotherapy with mesogenic Newcastle disease virus for Lewis lung carcinoma. *Cell and Tissue Biology*, 2025, vol. 19, no. 4, pp. 347–357.
19. Huang F., Dai C., Zhang Y., Zhao Y., Wang Y., Ru G. Development of molecular mechanisms and their application on oncolytic Newcastle disease virus in cancer therapy. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 2022, vol. 9, article id: 889403.
20. Lu X., Zhan T., Zhou Q., Yang W., Liu K., Chen Y., Gao R., Hu J., Gu M., Hu S., Jiao X.A., Wang X., Liu X., Liu X. The haemagglutinin-neuraminidase protein of velogenic Newcastle disease virus enhances viral infection through NF- κ B-mediated programmed cell death. *Veterinary Research*, 2024, vol. 55, no. 1, p. 58.
21. Bian J., Wang K., Kong X., Liu H., Chen F., Hu M., Zhang X., Jiao X., Ge B., Wu Y., Meng S. Caspase- and p38-MAPK-dependent induction of apoptosis in A549 lung cancer cells by Newcastle disease virus. *Archives of virology*, 2011, vol. 156, no. 8, pp. 1335–1344.
22. Chandrasekaran A.P., Poondla N., Ko N.R., Oh S.J., Ramakrishna S. YM155 sensitizes HeLa cells to TRAIL-mediated apoptosis via cFLIP and survivin downregulation. *Oncology Letters*, 2020, vol. 20, no. 4, p. 72.
23. Miller P.J., Haddas R., Simanov L., Lublin A., Rehmani S.F., Wajid A., Bibi T., Khan T.A., Yaqub T., Setiyaningsih S., Afonso C.L. Identification of new sub-genotypes of virulent Newcastle disease virus with potential panzootic features. *Infection, Genetics and Evolution*, 2015, vol. 29, pp. 216–229.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александра В. Глущенко и Ксения С. Юрченко участвовали в разработке концепции исследования и научного дизайна, редактировании текста статьи. Вероника С. Коваленко принимала участие в написании текста статьи, анализе и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке графического материала и статистической обработке данных. Любовь С. Адаменко и Юрий И. Каркавин осуществляли сбор и обработку экспериментальных данных и статистической обработке данных. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи перед подачей в журнал. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexandra V. Glushchenko and Kseniya S. Yurchenko participated in the development of the research concept and scientific design, and editing the text of the article. Veronika S. Kovalenko contributed to writing the text, analysing and interpreting the results and also preparing graphic material and statistics. Lyubov S. Adamenko and Yuri I. Karkavin collected and processed experimental data and also assisted with statistical analysis. All authors read and approved the final version before submission to the journal. All authors are equally participated to the preparation of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Вероника С. Коваленко / Veronika S. Kovalenko <https://orcid.org/0009-0005-8655-9220>
Любовь С. Адаменко / Lyubov S. Adamenko <https://orcid.org/0000-0001-6412-3622>
Ксения С. Юрченко / Kseniya S. Yurchenko <https://orcid.org/0000-0002-0679-8493>
Юрий И. Каркавин / Yuri I. Karkavin <https://orcid.org/0000-0001-8320-6298>
Александра В. Глущенко / Alexandra V. Glushchenko <https://orcid.org/0000-0002-5784-0073>

Оригинальная статья / Original article

УДК 581.543 (634.21:470.67)

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-3



Предварительные итоги изучения фенологии цветения абрикоса в Горном Дагестане

Руслан М. Османов, Джалалудин М. Анатов

Горный ботанический сад – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Руслан М. Османов, к.б.н., науч. сотрудник лаборатории флоры и растительных ресурсов Горного ботанического сада – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского 75.
Тел. +79389868980
Email ru.osmanov@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4857-6354>

Формат цитирования

Османов Р.М., Анатов Д.М. Предварительные итоги изучения фенологии цветения абрикоса в Горном Дагестане // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 31-38.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-3

Получена 23 октября 2025 г.

Прошла рецензирование 24 ноября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

В работе представлены результаты сравнительной оценки фенофаз цветения культиваров и природных форм абрикоса различного эколого-географического происхождения в горных условиях Дагестана для последующего выделения генотипов с поздними сроками цветения.

Исследование проведено на 130 сортах и формах абрикоса различного эколого-географического происхождения. В весенний период 2025 года на Цудахарской экспериментальной базе проведена фенологическая оценка по пяти признакам цветения: красный бутон, белый бутон, начало, конец и продолжительность цветения.

Установлено синхронное прохождение сроков фаз «красный бутон» (26–28.03) и «белый бутон» (30–31.03) у всех образцов. У 89,2 % образцов (116 генотипов) фаза «красный бутон» отмечена 25–30 марта, а «начало цветения» (117 образцов) – 30 марта – 4 апреля. Продолжительность цветения у 85 % образцов составила 10–15 дней. Отмечена наименьшая продолжительность цветения у европейских сортов (5 дней), завершающаяся к 7–11 апреля. Выявлена крайне низкая изменчивость фенологических признаков ($CV < 7 \%$), обусловленная влиянием высоких среднесуточных температур в марте. Дагестанские генотипы культурного и дикорастущего происхождения продемонстрировали ранние сроки цветения. Поздние сроки цветения характерны для гибридных форм – 60 %, а также образцов из других групп от 2,8 до 14,3 %, за исключением групп «Дагестанская дикорастущая» и «Московская».

Существующий сортимент из числа дагестанских сортов, форм и природных образцов характеризуется как раноцветущий, что в условиях глобального потепления требует создания новых поздноцветущих форм, таких как интродуцированные генотипы: 'Запоздалый', гибрид 8134, 'Кубанский Чёрный', 'Тип Краснощекоего' и местный сорт – 'Муса'.

Ключевые слова

Абрикос, фенология, цветение, эколого-географические группы, УНУ «СЭБ», Горный Дагестан.

Preliminary results of the study of apricot flowering phenology in Mountainous Dagestan

Ruslan M. Osmanov and Dzhahaludin M. Anatov

Mountain Botanical Garden – a separate division of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Ruslan M. Osmanov, CSc (Biol), Research Associate, Laboratory of Flora and Plant Resources, Mountain Botanical Garden – a separate division of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 M. Yaragskogo St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79389868980

Email ru.osmanov@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4857-6354>

How to cite this article

Osmanov R.M., Anatov D.M. Preliminary results of the study of apricot flowering phenology in Mountainous Dagestan. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):31-38. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-3

Received 23 October 2025

Revised 24 November 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

This paper presents the results of a comparative assessment of the flowering phenophases of apricot cultivars and natural forms of various ecological and geographical origins in the mountainous conditions of Dagestan, with the aim of subsequently identifying genotypes with late flowering periods.

The study was conducted on 130 apricot varieties and forms of varying ecological and geographical origins. In the spring of 2025, a phenological assessment was conducted at the Tsudakhar experimental base using five flowering traits: red bud, white bud, and the beginning, end, and duration of flowering.

Synchronous passage of the “red bud” (March 26–28) and “white bud” (March 30–31) phases was established in all accessions. In 89.2 % of accessions (116 genotypes), the “red bud” phase was observed from March 25–30, and the “beginning of flowering” (117 accessions) – from March 30 to April 4. The flowering duration in 85% of accessions was 10–15 days. The shortest flowering duration was noted in European varieties (5 days), ending by April 7–11. Extremely low variability of phenological traits ($CV < 7\%$) was revealed, due to the influence of high average daily temperatures in March. Dagestan genotypes of cultivated and wild origin demonstrated early flowering periods. Late flowering periods are typical for hybrid forms – 60 %, as well as samples from other groups from 2.8 to 14.3 %, with the exception of the Dagestan wild-growing and Moscow groups.

The existing assortment of Dagestan varieties, forms and natural specimens is characterised as early flowering, which in the conditions of global warming requires the creation of new late flowering forms, such as the introduced genotypes: 'Zapozdaly', hybrid 8134, 'Kubansky Cherny', 'Tip Krasnoshchekogo' and the local variety 'Musa'.

Key Words

Apricot, phenology, flowering, ecological-geographical groups, Scientific Research Institute, Mountainous Dagestan.

ВВЕДЕНИЕ

Абрикос является важнейшей косточковой культурой Горного Дагестана, для которой свойственна выраженная фенотипическая изменчивость, включая полиморфизм морфологических и фенологических признаков. Особую актуальность при этом приобретают интродукционно-селекционные работы по отбору форм и сортов абрикоса с поздними сроками цветения в горных условиях [1; 2].

Согласно современным литературным данным, влияние погодноклиматических факторов на формирование биологических признаков и продуктивность абрикоса изучено в ряде научных работ, проведенных как в условиях Республики Крым [3–5], так и в других регионах Российской Федерации [6–11].

Проведение комплексной оценки и отбор сортов абрикоса с поздними сроками цветения, характеризующимися повышенной устойчивостью к экстремальным температурам и обеспечивающих как ранние, так и поздние сроки созревания плодов, способствуют оптимизации современного сортимента культуры и повышению её агрономической ценности [4; 5].

В связи с этим целью работы являлось проведение сравнительной оценки фенологических фаз цветения сортов и форм абрикоса различного эколого-географического происхождения в горных условиях Дагестана, для последующего отбора генотипов с поздними сроками цветения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в условиях Цудахарской экспериментальной базы Горного ботанического сада ДФИЦ РАН в течение весеннего периода 2025 года с использованием генетической коллекции абрикоса.

Цудахарская экспериментальная база (ЦЭБ) Горного ботанического сада находится в зоне Внутригорного Дагестана на высотах 1100–1300 м над уровнем моря, занимая участок площадью в 10 га в долине реки Сана (бассейн реки Казии-Кумухского Койсу). Для данной местности свойственны черты умеренно-континентального климата со среднегодовой температурой +10,1°C. Преобладают маломощные каменистые почвы сухостепного типа с большим содержанием хрящеватого грунта [12]. В 2025 году среднесуточная температура воздуха в марте месяце равнялась 7,6°C, с минимумом -12,2°C и максимумом 25,8°C, количество осадков составило 2 мм. Сумма положительных среднесуточных температур до начала красного бутона для большинства образцов составила примерно 240°C, из которых 187°C пришлось на март месяц.

Оценка фенологии цветения абрикоса проведена по следующим фазам: «красный бутон», «белый бутон», «начало цветения», «конец цветения», «продолжительность цветения». Всего было изучено 130 сортов и форм абрикоса различного эколого-географического происхождения, которые были подразделены на группы: «Дагестанская культурная» (36 образца – сорта и формы дагестанского происхождения), «Дагестанская дикорастущая» (23 – отборы из природы), «Европейская» (28), «Среднеазиатская» (15), «Ирано-Кавказская» (8) «Московская» (8 – селекции ГБС РАН), «Дальневосточно-Китайская» (7), и «Гибридная»

(5 форм имеющих межвидовое происхождение). Календарные сроки прохождения фенологических фаз цветения абрикоса учитывали в соответствии с общепринятыми методиками [13]. Для статистической обработки календарные даты были преобразованы в значения непрерывного ряда по известной методике [14].

Применялись методы описательной статистики, t-критерий, кластерный анализ методом k-средних. Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с использованием программы “Statistica v. 13.3”.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средние даты фенологических фаз цветения абрикоса у изученных групп представлены в таблице 1. В 2025 году фенология развития абрикоса характеризовалась более ранним началом вегетации (примерно на 10 дней) и ускоренным прохождением фенофаз от начала формирования красного бутона до завершения цветения, что было связано с высокими среднесуточными температурами в марте и апреле. Все образцы абрикоса демонстрировали слабые различия в фазах «красный бутон» (26.03–30.03) и «белый бутон» (30.03–02.04), что выразилось в низкой дифференциации групп, разделенных по эколого-географическому происхождению. Начало цветения пришлось на период с третьей декады марта (31.03) по первую декаду апреля (04.04), при этом генотипы гибридного происхождения отличались более поздним вступлением в фазу цветения в среднем на 1–2 дня по сравнению с другими группами. Соответственно, внутри групп наблюдались низкие различия между образцами, что выразилось в очень низком уровне изменчивости по шкале С.С. Мамаева (коэффициент вариации в целом не превышал <7 %). При этом в наших ранних исследованиях были отмечены более сильные различия между образцами – 7,3–8,7 % в 2017 и 13,1–14,7 % в 2018 годах [11].

Фаза «конец цветения» варьировала между 7 и 14 апреля, причем сорта европейского происхождения отличались самым коротким периодом от начала до завершения цветения (в среднем 5 дней).

По данным приводимым И.А. Гурлевым [15], 50 лет назад в предгорной зоне Дагестана цветение абрикоса преимущественно начиналось в первую (28 % случаев) и вторую (58 %) декады апреля. При этом вероятность возвратных заморозков сохраняется до 26 апреля, создавая 68 %-ный риск повреждения цветущих деревьев. В горных районах погодные условия отличаются большей непредсказуемостью и экстремальным характером, соответственно и выше риск повреждения почек и цветков. По нашим наблюдениям в 2025 году было отмечено несколько волн потеплений и похолоданий в Дагестане приведшие к почти полному повреждению цветков абрикоса выше 1100 м над уровнем моря, в том числе и в коллекции абрикоса на ЦЭБ.

Распределение коллекционных образцов абрикоса по анализируемым признакам, включая сроки и частоты встречаемости, приведены на рисунке 1. Максимальная частота по признаку «красный бутон» (89,2 %) отмечена у 116 генотипов в период с 25 по 30 марта, а по признаку «белый бутон» (80,8 %) у 105 образцов. Фаза «начало цветения» включает 117 образцов и наблюдается в интервале с 30 марта по

4 апреля, тогда как «конец цветения» (106 образцов) приходится на период с 9 по 14 апреля (81,5 %).

Продолжительность цветения у 85,4 % образцов составляет 10–15 дней.

Таблица 1. Средние даты фенологических фаз цветения абрикоса

Table 1. Average dates of phenological phases of apricot flowering

Группы Groups	Признаки / Traits									
	КБ / RB		ББ / WB		НЦ / BF		КЦ / EF		ПЦ / FP	
	X±Sx	CV	X±Sx	CV	X±Sx	CV	X±Sx	CV	X±Sx	CV
ДД / DW	26.03±0,3	4,8	30.03±0,4	6,8	31.03±0,3	4,5	10.04±0,3	4,0	11±0,3	12,7
ДК / DC	26.03±0,3	5,9	31.03±0,2	4,0	01.04±0,2	3,3	10.04±0,3	3,8	11±0,2	9,5
Е / E	27.03±0,3	6,0	31.03±0,3	4,8	02.04±0,4	7,1	11.04±0,4	5,4	11±0,3	14,4
М / M	27.03±0,4	4,5	30.03±0,3	3,0	01.04±0,3	2,4	10.04±0,3	1,8	11±0,4	9,9
ДВК / FC	28.03±0,4	4,1	31.03±0,5	4,3	02.04±0,5	3,9	11.04±0,7	4,2	11±0,6	15,9
СА / CA	26.03±0,3	4,9	30.03±0,4	5,2	01.04±0,3	4,1	10.04±0,4	3,8	11±0,3	11,9
ИК / IC	27.03±0,7	7,8	31.03±0,5	4,9	02.04±0,4	3,3	11.04±0,6	4,0	11±0,3	8,1
Г / H	30.03±0,7	5,3	02.04±0,6	3,9	04.04±1,0	6,2	14.04±1,1	5,6	12±1,0	18,6
Общее General	27.03±0,1	6,2	31.03±0,1	5,2	01.04±0,2	5,2	10.04±0,2	4,6	11±0,1	12,3

Примечание: признаки – КБ (красный бутон), ББ (белый бутон), НЦ (начало цветения), КЦ (конец цветения), ПЦ (продолжительность цветения); группы – ДД («Дагестанская дикорастущая»), ДК («Дагестанская культурная»), Е («Европейская»), М («Московская»), ДВК («Дальневосточно-Китайская»), СА («Среднеазиатская»), ИК («Ирано-Кавказская»), Г («Гибридная»)

Note: traits – RB (red bud), WB (white bud), BF (beginning of flowering), EF (end of flowering), FP (flowering period); groups – DW (“Dagestan wild”), DC (“Dagestan cultural”), E (“European”), M (“Moscow”), FC (“Far East China”), CA (“Central Asian”), IC (“Iranian-Caucasian”), H (“Hybrid”)

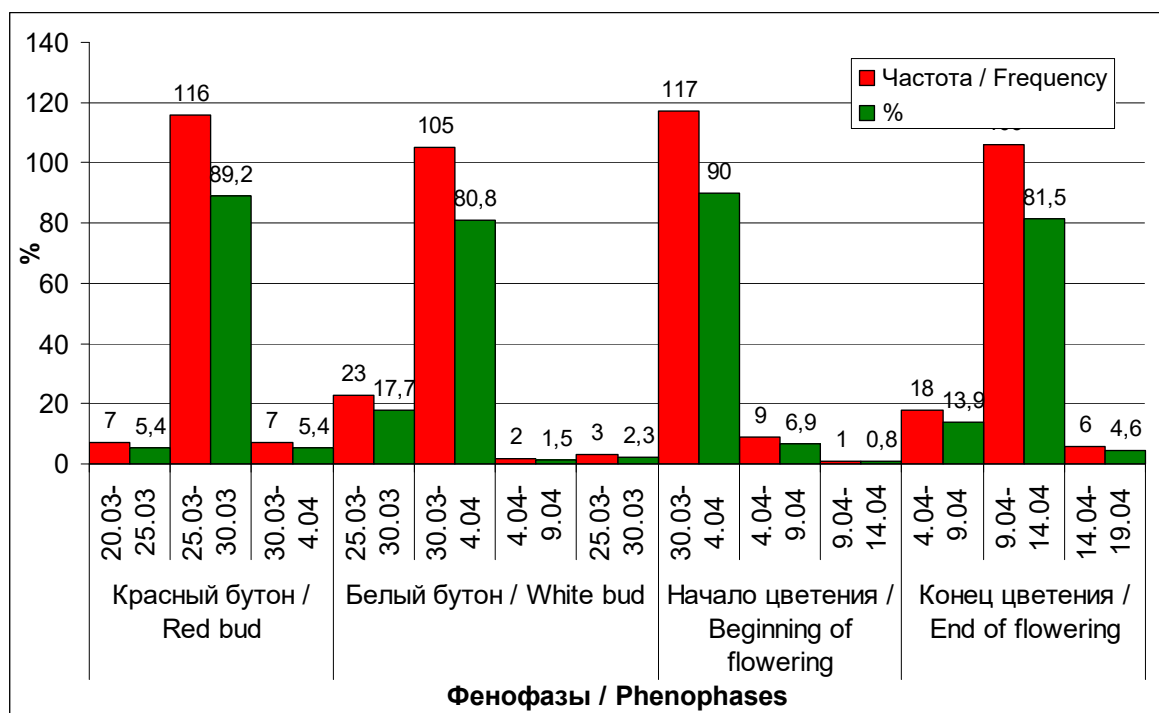


Рисунок 1. Распределение коллекционных образцов абрикоса по изучаемым признакам и частотам в пределах диапазона дат

Figure 1. Distribution of apricot collection samples by the traits and frequencies studied within the date range

Сорта и формы с ранним сроком цветения выделены для группы «Дагестанской культурной», включающей такие образцы, как 'Хекобарш', 'Хонобах', 'Хуаил', 'Махачевский', 'Сеянец Бухары' и др. (72,2 %), а также для группы «Дагестанская дикорастущая», где представлены 'Гача Кваналеп', 'Карандалаевский', 'Салта 2', 'ЦЭБ 1', 'Хибил Баквалеп' и др. (73,9 %).

Кроме того, раноцветущие образцы преобладают и в группах «Среднеазиатская», куда входят 'Арзами Кислый', 'Ахрори', 'Гюлюнги Кате Лючак', 'Чичкан', 'Шастали' и др. (73,3 %); «Европейская», включающей следующие сорта:

'Ананасный Цюрупинский', 'Аурел', 'Ежегодник', 'Красный Партизан', 'Крымский Медунец' и др. (53,6 %) (рис. 2).

Со средним сроком цветения выделяется группа «Ирано-Кавказская», куда вошли сорта 'Игдеджик-28-6', 'Кара Кале', 'Мулла Садык' и 'Шалах' (50,0 %).

Также образцы со средним сроком цветения составляют примерно треть (от 20,0 до 32,1 %) во всех остальных группах. Преобладание позднего цветения – только у форм группы «Гибридная» (60 %).

Поздние сроки цветения отмечены у образцов европейского происхождения (14,3 %): 'Запоздалый',

'Зоркий облученный', 'Тип Краснощекого' и 'Lednicka'. Единично в других группах (2,8–12,5 %), за исключе-

нием групп «Дагестанская дикорастущая» и «Московская», где их вовсе и не наблюдалось.

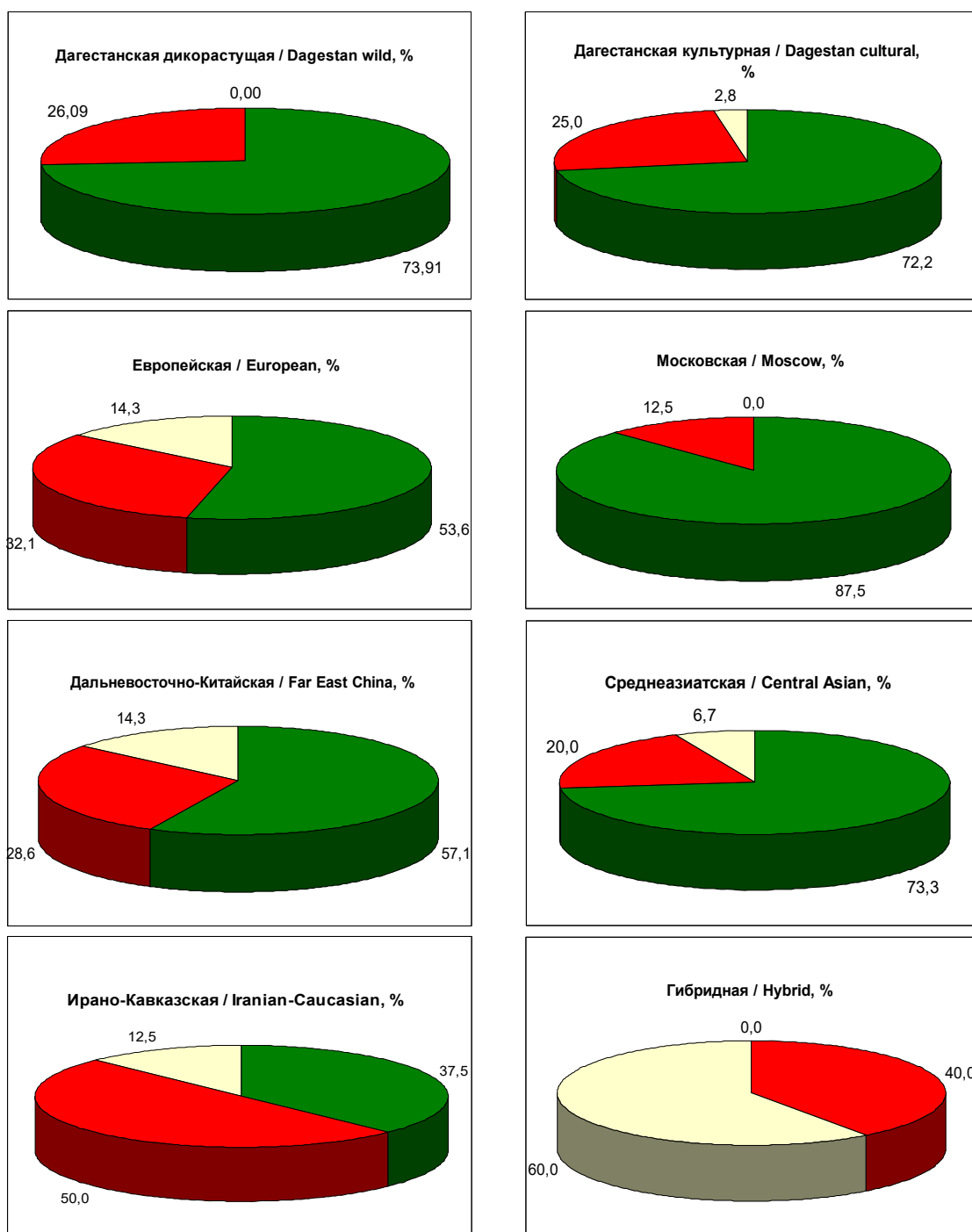


Рисунок 2. Соотношение сортов и форм абрикоса по срокам цветения в горных условиях (в %)

Примечание: сроки цветения – зеленый цвет (ранние), красный (средние), желтый (поздние)

Figure 2. The relationship between apricot varieties and forms according to flowering time in mountainous conditions (in %)

Note: flowering times are indicated by: green (early), red (middle) and yellow (late)

В соответствии с распределением по срокам цветения наиболее ранозцветающие генотипы отмечены в группах «Московская» (87,5 %), «Дагестанская дикорастущая» (73,9 %), «Среднеазиатская» (73,3 %) и «Дагестанская культурная» (72,2 %); равномерное распределение по срокам цветения – «Ирано-Кавказская», «Европейская», «Дальневосточно-Китайская»; позднее цветение – «Гибридная».

Анализ результатов оценки достоверности различий между изучаемыми группами абрикоса по критерию Стьюдента позволил выявить, что наибольшие различия проявились между образцами абрикосов группы «Гибридная» и местными формами группы «Дагестанская дикорастущая» ($t = 5,31$), а также сортами групп «Среднеазиатская», «Европейская» и «Московская», где особенно выраженные отличия

наблюдались по признакам «красный бутон» и «белый бутон» (табл. 2).

Некоторые группы показывают лишь незначительное число значимых отличий. По некоторым парам отсутствовали достоверные различия,

например, по продолжительности цветения, за исключением групп «Дагестанская дикорастущая» и «Ирано-Кавказская», где по этому признаку выявлены значимые различия ($t = 2,40^*$).

Таблица 2. Достоверность различий между группами абрикоса по t-критерию
Table 2. The reliability of differences between apricot groups according to the t-test

Группы Groups	КБ / RB	ББ / WB	НЦ / BF	КЦ / EF	ПЦ / FP
Г – ДД / Н – DW	5,31**	4,14**	3,32*	3,68*	–
Г – ДК / Н – DC	4,72**	3,45*	–	3,13*	–
Г – ДВК / Н – FC	2,94*	–	–	–	–
Г – Е / Н – E	3,94**	2,45*	–	–	–
Г – ИК / Н – IC	3,44**	2,75*	–	–	–
Г – М / Н – M	4,25**	3,64**	2,78*	3,32*	–
Г – СА / Н – CA	4,51**	3,46**	2,60*	3,04*	–
ДД – ДК / DW – DC	–	–	2,05*	–	–
ДД – ДВК / DW – FC	3,14**	–	–	–	–
ДД – Е / DW – E	2,40*	2,74**	3,01**	2,70**	–
ДД – М / DW – M	–	–	–	–	–
ДК – ИК / DC – IC	–	–	–	–	2,25*

Примечание: уровни достоверности – * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; признаки – КБ (красный бутон), ББ (белый бутон), НЦ (начало цветения), КЦ (конец цветения), ПЦ (продолжительность цветения); группы – группы – ДД («Дагестанская дикорастущая»), ДК («Дагестанская культурная»), Е («Европейская»), М («Московская»), ДВК («Дальневосточно-Китайская»), СА («Среднеазиатская»), ИК («Ирано-Кавказская»), Г («Гибридная»)

Note: confidence levels – * – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$; traits – RB (red bud), WB (white bud), BF (beginning of flowering), EF (end of flowering), FP (flowering period); groups – DW (“Dagestan wild”), DC (“Dagestan cultural”), E (“European”), M (“Moscow”), FC (“Far East China”), CA (“Central Asian”), IC (“Iranian-Caucasian”), H (“Hybrid”)

По итогам наблюдений все дагестанские сорта и формы сгруппированы по срокам цветения (табл. 3). К ранним образцам отнесено наибольшее число дагестанских форм и сортов, что может быть связано с их естественной адаптацией к горным условиям.

Образцы со средними сроками цветения представлены менее обширно по сравнению с ранними генотипами: в группе «Дагестанская культурная» их 9, а в группе «Дагестанская дикорастущая» – 6 (включая

3 природных образца из окр. с. Курми Гергебильского района).

Дефицит поздноцветущих генотипов в группе «Дагестанская дикорастущая» подтверждает необходимость гибридизации с интродуцированными образцами (с поздними сроками цветения) для расширения адаптивного сортимента в условиях потепления.

В группе «Дагестанская культурная» один генотип с поздним цветением – местный сорт 'Муса'.

Таблица 3. Список сортов и форм дагестанского происхождения, сгруппированный по срокам цветения
Table 3. List of varieties and forms of Dagestan origin, grouped by flowering time

Группа Groups	Сроки цветения / Flowering Time		
	ранние / early	средние / middle	поздние / late
Дагестанская дикорастущая Dagestan wild	'Багикла 1', 'Гача Кваналеб', 'Хибил Баквалеб', 'Карандалаевский', 'Кикуни 4', 'Рустамовский', 'Салта 2', 'Салта 7', 'Салта 9', 'Салта 10', 'Салта 11', 'ЦЭБ 1', 'ЦЭБ 31', 'ЦЭБ 32', 'ЦЭБ 33', 'ЦЭБ 34', 'ЦЭБ 35'	'Исин Бахсан', 'Курми 7', 'Курми 8', 'Курми 9', 'Ругуджа 12', 'Салта 1'	–
Дагестанская культурная Dagestan cultivated	'Бухара' (Гергебиль), 'Гергебильский Августовский', 'Гоорский', 'Зульпукар', 'Камиль', 'Камха 4', 'Качасул', 'Магомедгаджиевский Ранний', 'Магомедовский 2', 'Магомедовский 3', 'Махачевский', 'С-ц Бухары 1', 'С-ц Бухары 2', 'С-ц Хонобах', 'Тамаша', 'Уздень', 'форма 3/10', 'форма 6/22', 'Хекобарш', 'Хонобах', 'Хонобах' (Голотль), 'Хонобах' (Учхоз), 'Хутаил', 'Чамастак 2', 'Шиндахлан', 'Шиндахлан' (Буйнакс)	'Дженгутаевский', 'Зирил', 'Кахаб Аик', 'Куппинский Поздний', 'Муса' (Голотль), 'Умумузул', 'Чамастак 1', 'Чамастак' (Буйнакс), 'Шиндахлан' (Камха)	'Муса'

Таким образом, для минимизации рисков повреждения весенними заморозками необходимо внедрять в культуру и использовать в селекционной работе генотипы абрикоса с поздними сроками цветения, что

уменьшит вероятность повреждения возвратными заморозками и увеличит регулярность плодоношения при продвижении культуры абрикоса в высокогорные районы.

Проведенный анализ образцов абрикоса на основе фенологических признаков цветения с использованием метода к-средних показал распределение их на 2 кластера (табл. 4). Кластер 1 (n=114) объединил условно «раноцветущие», куда вошли все генотипы

групп «Дагестанская культурная» (36 обр.), «Дагестанская дикорастущая» (23 обр.), «Московская» (8 обр.), а также большая часть генотипов из других групп кроме «Гибридной».

Таблица 4. Распределение образцов абрикоса по фенологическим признакам цветения для категориальной переменной «группы»

Table 4. Distribution of apricot samples by phenological traits of flowering for the categorical variable “groups”

Группы Groups	Кластер / Cluster		Всего образцов Total samples
	1	2	
Г / Н	0	5	5
ДД / DW	23	0	23
ДК / DC	36	0	36
ДВК / FC	4	3	7
Е / Е	23	5	28
ИА / IC	6	2	8
М / М	8	0	8
СА / CA	14	1	15
Итого / Total	114	16	130

Кластер 2 (n=16) представлен «поздноцветущими» формами: всеми гибридными образцами, генотипами групп «Европейская» (5), «Дальневосточно-Китайская» (3), «Ирано-Кавказская» (2) и одним генотипом среднеазиатского происхождения.

Распределение образцов различных групп по двум кластерам согласуется с результатами приведенных для описательной статистики.

ВЫВОДЫ

Среди 130 исследованных интродуцированных и местных сортов абрикоса, выращиваемых в Горном ботаническом саду ДФИЦ РАН, выделено 83 образца (63,8 %) с ранним сроком цветения, 36 (27,7 %) – со средним сроком и 11 образцов (8,5 %) – с поздним сроком цветения.

Кластерный анализ позволил выделить две группы, куда вошли образцы той или иной доминирующей группы с разными сроками цветения: 1 кластер – раноцветущие («Дагестанская культурная», «Дагестанская дикорастущая» и «Московская»); 2 кластер – поздноцветущие («Гибридная», частично – «Европейская», «Дальневосточно-Китайская» и «Ирано-Кавказская» группы).

В качестве источников позднего цветения выделены следующие интродуцированные образцы: сорт 'Запоздалый' (начало цветения – 11.04/конец – 17.04) и гибридная форма 8134 (06.04/16.04) селекции Никитского ботанического сада; сорт Крымской опытной станции – 'Кубанский Чёрный' (05.04/18.04), форма европейского происхождения 'Тип Краснощекоего' (07.04/16.04), а также сорт народной селекции, оригинатор: Дагестанская селекционная опытная станция плодовых культур – 'Муса' (06.04/15.04).

Таким образом, проведённое исследование показало, что большинство дагестанских районированных сортов и форм являются раноцветущими, что в условиях глобального потепления требуют создания нового сортимента абрикоса с поздними сроками цветения. Выделенные интродуцированные сорта и формы с поздними сроками цветения могут быть вовлечены в генетико-селекционные программы и внедрены в производственные сады.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Дагестан (№25-16-20125) с использованием уникальной научной установки Горного ботанического сада ДФИЦ РАН «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента» (УНУ «СЭБ»).

ACKNOWLEDGMENT

The study was carried out with the financial support of a grant from the Russian Science Foundation and the Government of the Republic of Dagestan (No. 25-16-20125) using a unique scientific installation of the Mountain Botanical Garden DFRC RAS “System of Experimental Bases Located Along the Altitude Gradient” (USI “SEB”).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Османов Р.М. Природные ресурсы и биологические особенности абрикоса обыкновенного в условиях Горного Дагестана // Дисс. ... канд. биол. наук. Ялта, 2023. 180 с.
- Османов Р.М., Анатов Д.М. Оценка фаз сезонного развития абрикоса в условиях Цудахарской экспериментальной базы (Внутригорный Дагестан) // Материалы XI Всеросс. научно-практ. конф., посвящ. 105-летию основания отдела защиты растений НБС. Симферополь: ИТ «АРИАЛ». 2025. С. 94–96.
- Корзин В.В. Влияние погодных условий Южного берега Крыма на цветение и продуктивность различных сортов абрикоса // Таврический вестник аграрной науки. 2018. N 3 (15). С. 65–71.
- Корзин В.В., Горина В.М., Месяц Н.В. Оценка новых селекционных форм абрикоса в коллекции Никитского ботанического сада // Бюллетень ГНБС. 2018. Вып. 126. С. 82–86.
- Корзин В.В., Месяц Н.В. Особенности фенологии сортов абрикоса в связи с изменяющимся климатом // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019. N 1 (150). С. 59–66.
- Ноздрачева Р.Г. Биологические особенности абрикоса в годичном цикле развития // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. N 3 (183). С. 42–47.
- Стародубцева Е.П., Джурбаева Ф.К. Феноритмика и особенности адаптации оренбургского абрикоса // Вестник ОГПУ. 2014. N 1 (9). С. 59–64.
- Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Ключкина А.В. Оценка экологических ресурсов плодоношения плодовых культур на юге России в условиях изменения климата (на примере абрикоса в Краснодарском крае) // Бюллетень ГНБС. 2019. Вып. 132. С. 37–44.
- Ахматова З.П., Тебугев Х.Х., Карданов А.Р., Хусейнаева Ж.С. Влияние климатических изменений (30 лет)

- агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование урожая абрикоса в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. N 66 (6). С. 168–183.
10. Лёзин М.С., Лёзина В.А. Роль экологических факторов в нерегулярном плодоношении культуры абрикоса в условиях лесостепи Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2022. N 10 (225). С. 12–20.
11. Анатов Д.М., Османов Р.М. Фенологические особенности начальных фаз цветения и вегетации культиваров абрикоса Дагестана // Аграрный вестник Урала. 2019. N 12 (191). С. 31–39.
12. Каталог растений Горного ботанического сада / под ред. З.М. Асадулаева, Р.А. Муртазалиева, З.А. Гусейновой. Махачкала: АЛЕФ, 2018. 84 с.
13. Джигадло Е.Н., Колесникова А.Ф., Еремин Г.В., Морозова Т.В., Дебискаева С.Ю., Каньшина М.В., Медведева Н.И., Симагин В.С. Косточковые культуры / В кн.: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 300–350.
14. Зайцев Г.Н. Обработка результатов фенологических наблюдений в ботанических садах // Бюллетень ГБС. 1984. N 134. С. 3–10.
15. Гурлев И.А. Природные зоны Дагестана. Махачкала: Дагучпедгиз, 1972. 211 с.
5. Korzin V.V., Mesyats N.V. Features of the phenology of apricot varieties in connection with a changing climate. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* [Plant Biology and Horticulture: theory, innovation]. 2019, no. 1 (150), pp. 59–66. (In Russian)
6. Nozdracheva R.G. Biological features of apricot in the annual development cycle. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. 2008, no. 3 (183), pp. 42–47. (In Russian)
7. Starodubtseva E.P., Dzhuraeva F.K. Phenorrhythms and adaptation features of the Orenburg apricot. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University]. 2014, no. 1 (9), pp. 59–64. (In Russian)
8. Dragavtseva I.A., Savin I.Yu., Klyukina A.V. Assessment of ecological resources of fruit crops in the south of Russia under climate change conditions (using apricot in Krasnodar region as an example). *Byulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden]. 2019, iss. 132, pp. 37–44. (In Russian)
9. Akhmatova Z.P., Tebuev H.Kh., Kardanov A.R., Khuseinaeva Zh.S. The influence of climate change (30 years) of agrometeorological conditions on the growth, development and formation of the apricot crop in the foothill zone of the Kabardino-Balkarian Republic. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* [Fruit growing and viticulture of the South of Russia]. 2020, no. 66 (6), pp. 168–183. (In Russian)
10. Lyozin M.S., Lyozina V.A. The role of environmental factors in irregular fruiting of apricot crops in the forest-steppe conditions of the Trans-Urals. *Agrarny vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2022, no. 10 (225), pp. 12–20. (In Russian)
11. Anatov D.M., Osmanov R.M. Phenological features of the initial phases of flowering and vegetation of apricot cultivars of Dagestan. *Agrarny vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2019, no. 12 (191), pp. 31–39. (In Russian)
12. Asadulaev Z.M., Murtazaliyev R.A., Guseinova Z.A., eds. *Katalog rasteniy Gornogo botanicheskogo sada* [Catalogue of plants of the Mountain Botanical Garden]. Makhachkala, ALEF Publ., 2018, 84 p. (In Russian)
13. Dzhigadlo E.N., Kolesnikova A.F., Eremin G.V., Morozova T.V., Debiskaeva S.Yu., Kanyshina M.V., Medvedeva N.I., Simagin V.S. Stone fruit crops. In: *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* [Program and methods of variety study of fruit, berry and nut crops]. Orel, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding Publ., 1999, pp. 300–350. (In Russian)
14. Zaitsev G.N. Processing of the results of phenological observations in botanical gardens. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden]. 1984, no. 134, pp. 3–10. (In Russian)
15. Gurlev I.A. *Prirodnnye zony Dagestana* [Natural zones of Dagestan]. Makhachkala, Daguchpedgiz Publ., 1972, 211 p. (In Russian)

REFERENCES

1. Osmanov R.M. *Prirodnnye resursy i biologicheskiye osobennosti abrikosa obyknovennogo v usloviyakh Gornogo Dagestana* [Natural resources and biological characteristics of common apricot in the conditions of Mountainous Dagestan]. Diss. ... Cand. of Biological Sciences. Yalta, 2023, 180 p. (In Russian)
2. Osmanov R.M., Anatov D.M. Otsenka faz sezonnogo razvitiya abrikosa v usloviyakh Tsudakharskoy eksperimental'noy bazy (Vnutrigornyy Dagestan) [Evaluation of the phases of seasonal development of apricot in the conditions of the Tsudakhar experimental base (Inner-mountain Dagestan)]. *Materialy XI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 105-letiyu osnovaniya otdela zashchity rastenii NBS. Simferopol'*, 2025 [Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 105th anniversary of the founding of the Plant Protection Department of the National Botanical Garden, Simferopol, 2025]. Simferopol, ARIAL Publ., 2025, pp. 94–96. (In Russian)
3. Korzin V.V. Influence of weather conditions of the Southern coast of Crimea on flowering and productivity of different varieties of apricot. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science]. 2018, no. 3 (15), pp. 65–71. (In Russian)
4. Korzin V.V., Gorina V.M., Mesyats N.V. Evaluation of new breeding forms of apricot in the collection of the Nikitsky Botanical Garden. *Byulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden]. 2018, iss. 126, pp. 82–86. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Руслан М. Османов осуществил учет признаков, написал рукопись. Джалалудин М. Анатов задумал и разработал исследование, обработал статистические данные, принимал посильное участие в обсуждении и интерпретации результатов. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ruslan M. Osmanov analysed the data and wrote the manuscript. Dzhahalaludin M. Anatov conceived and developed the study, processed the statistical data and participated actively in the discussion and interpretation of the results. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Руслан М. Османов / Ruslan M. Osmanov <https://orcid.org/0000-0002-4857-6354>
Джалалудин М. Анатов / Dzhahalaludin M. Anatov <https://orcid.org/0000-0002-6725-4086>

Оригинальная статья / Original article

УДК 582 + 581.4 + 581.5

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-4



Особенности строения и состояние популяции *Campanula galushkoi* (Campanulaceae) на территории Республики Ингушетия

Лида С. Хашиева¹, Светлана А. Литвинская², Марет К. Дакиева¹, Зухра А. Фаргиева¹¹Ингушский государственный университет, Магас, Россия²Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Лида С. Хашиева, кандидат биологических наук, доцент, кафедра биологии, Ингушский государственный университет; 386001 Россия, Республика Ингушетия, г. Магас, пр. И.Б. Зязикова, 7.
Тел. +79287311858

Email lhashieva@yandexORCID <https://orcid.org/0009-0004-0186-764>

Формат цитирования

Хашиева Л.С., Литвинская С.А., Дакиева М.К., Фаргиева З.А. Особенности строения и состояние популяции *Campanula galushkoi* (Campanulaceae) на территории Республики Ингушетия // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 39-46. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-4

Получена 20 октября 2025 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Особый научный и практический интерес представляют узколокальные эндемичные виды, поскольку они определяют оригинальность и самобытность флоры территории. В статье рассматривается узколокальный эндемик с ограниченным ареалом в пределах Республики Ингушетия *Campanula galushkoi* (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (*syn. Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) – Нельхское ущелье близ впадения р. Нельх в р. Асса, с незначительными иррадиациями на территории Чеченской Республики. **Целью** данного исследования является детализация и дополнение к ботаническому описанию редкого вида *Campanula galushkoi*: уточнение границ ареала, эколого-ценотической приуроченности, биоэкологических особенностей, лимитирующих факторов, разработка рекомендаций по охране вида на территории Республики Ингушетия, определение природоохранного статуса вида. Исследования проводились традиционными флористическими методами, материалом послужили популяции вида *Campanula galushkoi* в пределах Республики Ингушетия.

Дано детальное морфологическое описание вида, приведена характеристика места обитания, изучены особенности биологии и экологии вида в условиях Республики Ингушетия, определены факторы, лимитирующие состояние популяции таксона, определены категория угрозы исчезновения и статус таксона, даны рекомендации по охране вида.

Campanula galushkoi (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (*syn. Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) – уникальный узколокальный эндемичный вид, описанный из Нельхского ущелья – единственного местонахождения вида в Республике Ингушетия. Вид требует дальнейшего детального изучения и полной охраны.

Ключевые слова

Campanula galushkoi, узколокальный эндемик, Республика Ингушетия, флора, экология, биология.

Features of the structure and state of the *Campanula galushkoi* (Campanulaceae) population in territory of the Republic of Ingushetia, Russia

Lida S. Khashieva¹, Svetlana A. Litvinskaya², Maret K. Dakieva¹ and Zuhra A. Fargieva¹

¹Ingush State University, Magas, Russia

²Kuban State University, Krasnodar, Russia

Principal contact

Lida S. Khashieva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology, Ingush State University; 7 I.B. Zyzikov Ave., Magas, Republic of Ingushetia, Russia 386001.

Tel. +79287311858

Email lkhashieva@yandex

ORCID <https://orcid.org/0009-0004-0186-764>

How to cite this article

Khashieva L.S., Litvinskaya S.A., Dakieva M.K., Fargieva Z.A. Features of the structure and state of the *Campanula galushkoi* (Campanulaceae) population in territory of the Republic of Ingushetia, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):39-46. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-4

Received 20 October 2025

Revised 14 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

Narrow-local endemic species are of particular scientific and practical interest, as they define the originality and distinctiveness of a region's flora. The article discusses a narrow-local endemic with a limited range within the Republic of Ingushetia, *Campanula galushkoi* (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (syn. *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) – Nelkh Gorge near the confluence of the Nelkh and Assa Rivers, with minor occurrences in the Chechen Republic. The aim of this study was to detail and supplement the botanical description of the rare species *Campanula galushkoi*, clarify its range boundaries, ecological and coenotic association, bioecological features, limiting factors, recommendations for its protection in the Republic of Ingushetia and determine its conservation status.

The research was conducted using traditional floristic methods, using populations of the species *Campanula galushkoi* within the Republic of Ingushetia as the material.

A detailed morphological description of the species is provided, its habitat is characterised and its biological and ecological characteristics in the Republic of Ingushetia are studied. Factors limiting the taxon's population status are identified, the taxon's threat category and status are determined and recommendations for its conservation are provided.

Campanula galushkoi (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (syn. *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) is a unique, locally endemic species described from the Nelkh Gorge, the only known location of this species in the Republic of Ingushetia. This species requires further detailed study and full protection.

Key words

Campanula galushkoi, narrowly localised endemic, Republic of Ingushetia, flora, ecology, biology.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Республики Ингушетия в орографическом отношении неоднородна. Она представлена Терским, Сунженским хребтами, Алханчуртской долиной (рис. 1а), равнинно-предгорной и горной частью, где четко выражены хребты – Лесистый, Пастбищный (Меловой), Скалистый (Юрский) и Боковой, расчлененные глубокооврезанными ущельями (рис. 1б). Вдоль южной границы республики, к северу от Главного

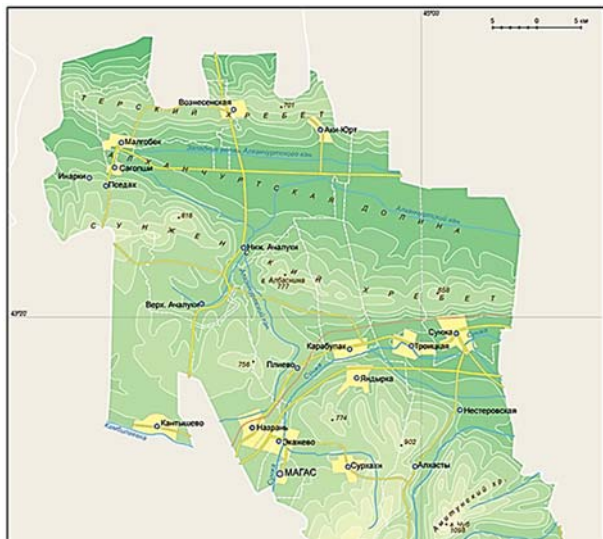


Рисунок 1а. Равнинно-предгорная часть территории Ингушетии

Figure 1a. The plain and foothill part of the territory of Ingushetia

Горная Ингушетия отличается своеобразными ландшафтами, сложным генезисом биоты, широким распространением скал и осыпей с уникальной петрофитной растительностью, специфическим флористическим составом (список видов сосудистых растений флоры РИ насчитывает 1678 видов, относящихся к 585 родам и 114 семействам) [2], обилием эндемичных видов, что обусловлено длительной изоляцией, разнообразием природно-географических условий, наличием системы изолирующих барьеров, определяющих небольшие специфические изолированные участки (микрорекотопы), концентрирующие популяции эндемичных видов. Особый научный и практический интерес представляют узколокальные эндемичные виды, поскольку определяют оригинальность и самобытность флоры определенной территории. Особенно ценными объектами флористических исследований являются эталонные популяции в классических местообитаниях, как носители информации о генезисе флоры территории. Одним из таких уникальных природных образований является ущелье реки Нельх, где на сланцевых скальных обнажениях был описан новый вид рода *Campanula*.

Первая публикация о новом виде *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov появляется в Бюлетене Московского общества испытателей природы в 2009 г. [3]. В этом же году в связи с объединением родов *Symphyandra* и *Campanula* вид переведен в род *Campanula* как *Campanula galushkoi* (Taisumov et Teimurov) Murtaz. [4]. Данный вид как *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov включен в Красную книгу

Кавказского хребта на расстоянии 2–25 км, тянется Боковой хребет, который на данном отрезке выше Главного Кавказского хребта почти на 1000 м (горы Мартинисмта (3899 м), Махисмагали (3991 м); Шан (4451 м), Киччоч-Корт (4118 м), Сахарисмта (3963 м)). Он «сложен сильно метаморфизированными глинистыми сланцами, толщами аргилитов, песчаников и алевролитов нижнеюрского возраста» [1].

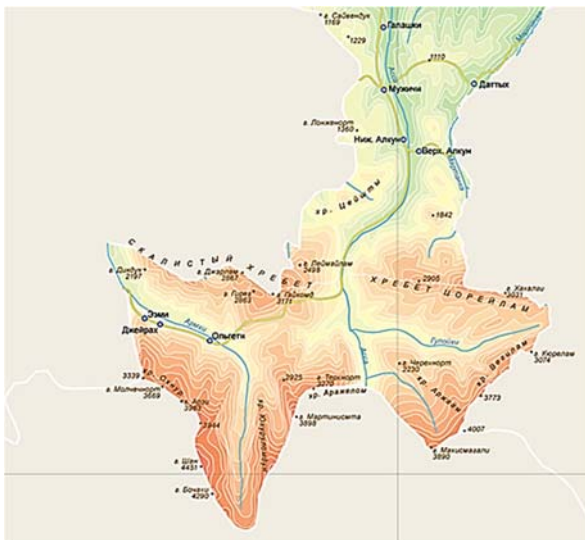


Рисунок 1б. Горная часть территории Ингушетии

Figure 1b. Mountainous part of the territory of Ingushetia

Чеченской республики. М.А-М. Астамирова отмечает, что вид редко встречается в Чеченской Республике – по р. Шаро-Аргуну и в верховьях р. Гехи [5]. *Campanula galushkoi* – редкий вид, эндемик с очень ограниченным ареалом в пределах Республики Ингушетия. Ценопопуляция занимает Нельхскую часть ущелья р. Асса протяженностью всего 500 м на высоте 1300–1500 м н.у.м. [6].

Целью данного исследования является детализация и дополнение к ботаническому описанию вида *Campanula galushkoi*: характеристика ареала, эколого-ценотическая приуроченность, биоэкологические особенности, лимитирующие факторы, рекомендации по охране вида на территории Ингушетии на основе данных, полученных при исследовании ценопопуляции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом послужили натурные исследования вида *Campanula galushkoi*, произрастающего в ущелье р. Нельх на сланцевых скальных обнажениях. Сбор, обработка материала велись традиционными флористическими методами. Собранный материал хранится в гербарной коллекции Ингушского государственного университета.

Первые исследования ценопопуляции *Campanula galushkoi* проводились в 2002 г., по результатам которых М.К. Дакиевой было составлено детальное морфологическое описание вида и выявлены диагностические признаки. Гербарные образцы переданы в Кавказский отдел БИН РАН. В свете геополитических преобразований, возникших в

последние десятилетия, связанных с прохождением государственной границы по территории горной части региона, с дислокацией воинских частей в местах обитания вида, проведение исследований на протяжении нескольких лет было затруднено. Исследования в ущелье Нельх по специальным пропускам были возобновлены в 2006 г. и в 2020–2024 гг.

Согласно административно-территориальному делению региона Нельхское ущелье находится в пределах Джейрахского муниципального района. Согласно флористическому районированию Кавказа [7], район исследования относится к Ассо-Аргунскому району Восточного Кавказа.

Нельхское ущелье образовано правым притоком р. Асса – р. Нельх. Река Нельх (Чурочодохи) берет

начало на северных ледниках массива горы Махисмалаги на высоте 3200 м н. у. м. и образует довольно узкое и глубоко врезанное ущелье, разделяющее Боковой хребет на высокогорные отроги, ориентированные в северо-западном направлении. Длина реки 15 км, на высоте 1200 м н. у. м. она впадает в р. Асса. Рельеф альпийский. Экологический тип не устойчивый, подвержен смыванию и осыпанию, представлен сильно метаморфизированными глинистыми сланцами. Климат континентальный.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Campanula galushkoi (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (syn. *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) – Колокольчик Галушко (рис. 2).



Рисунок 2. *Campanula galushkoi*
Figure 2. *Campanula galushkoi*

В обновленной классификации группы филогении покрытосеменных растений – (*Angiosperm Phylogeny Group*, APG IV, 2016) *Campanula galushkoi* занимает следующее положение: Classis *Magnoliopsida* – Asterids – Ordo *Asterales* Link – Familia *Campanulaceae* Juss. – Genus *Campanula* L. – Subgenus *Campanula* – Sect. *Symphyandriiformes* (Fomin) Charadze – Species *Campanula galushkoi* (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (syn. *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov).

Диагностические признаки вида

Campanula galushkoi – корневищный травянистый каудексовый поликарпик. Каудексы покрыты остатками листовых черешков (рис. 3). Корневище короткое с длинными шнуровидными корнями, уходящими в расщелины скал (рис. 4).

Все растение, включая венчик и цветоножку, голое. Цветоносные побеги в числе 1–4 до 20–40 см длиной, более или менее равные по толщине, округлые, слабобороздчатые, повислые, олиственные по всей длине. Листья полукожистые, сверху темно – снизу светло-зеленые, с хорошо заметными жилками, двояко- или неравнопильчатые. Розеточные листья длинночерешковые от почковидной до треугольно-сердцевидной формы (рис. 5). Нижние стеблевые

листья округло-почковидные, оттянутые в черешок (рис. 6).

Средние стеблевые листья яйцевидно-продолговатые, с длинно заостренной верхушкой, до 9 см длиной и 4 см шириной (рис. 7). Верхние стеблевые листья от ланцетных с оттянутым основанием и длинно заостренной верхушкой до 6–9 см длиной и 2 см шириной, до узко ланцетных верхушечных до 4 см длиной и 3,5–4 мм шириной, клиновидно оттянутых в черешок (рис. 8).

Цветки на нитевидных цветоносах в пазухах листьев по одному или в щитковидных соцветиях по 3–4 (рис. 9). Верхушечный цветок одиночный, на более короткой утолщенной цветоножке без прицветника и прицветничков. Остальные цветки имеют по одному линейному прицветнику до 4 см длиной и до 1,5 мм шириной и по 2 узких реснитчатых прицветничка.

Трубка чашечки конусовидная, зубцы узколинейные, растопыренные, при цветении до 1 см длиной и 1 мм шириной, увеличивающиеся при плодах. Придатки отсутствуют. Венчик ярко (лимонно)-желтый, узкоколокольчатый, до 2,5 см длиной, разделенный на лопасти до ¼ (рис. 10). Завязь полунижняя, 3-гнездная (рис. 11).



Рисунок 3. Каудексы *C. galushkoi*
Figure 3. Caudexes *C. galushkoi*



Рисунок 4. Корень *C. galushkoi*
Figure 4. Root of *C. galushkoi*



Рисунок 5. Розеточные листья
Figure 5. Rosette leaves



Рисунок 6. Нижние стеблевые листья
Figure 6. Lower stem leaves

Столбик не выставляющийся, рыльце 3-лопастное (рис. 12). Тычинок 5. Тычиночные нити, расширенные у основания; пыльники, сросшиеся в трубку (рис. 13). Тычинки вдвое короче столбика. Плод трехгнездная яйцевидная коробочка, вскрывающаяся базальными аксикорновыми щелями. Семена многочисленные, светло-бурые, эллиптические, до 1–1,5 мм длиной (рис. 14) [8].

Распространение и место произрастания

Узколокальный эндемичный вид. Растет только выше области впадения р. Нельх в р. Асса, длина локуса

ценопопуляции 500 м, приурочен к трещинам влажных сланцевых скальных обнажений. Субстрат неустойчивый, подвержен осыпанию и смыванию лавинами. Численность во всех биотопах по всему ареалу низкая. Произрастание диффузное.

Особенности биологии и экологии на территории Ингушетии.

Цветет VI–VII, плодоносит в середине июля – начале августа. Семена созревают к концу августа. Криптофит. Энтомофил. Ксеромезофит. Сциофит. Литофит. Хазмофит. Вид стенобионтный, приурочивается только к сырым расщелинам в сланцевых скалах.



Рисунок 7. Средние стеблевые листья
Figure 7. Middle stem leaves



Рисунок 8. Верхние стеблевые листья
Figure 8. Upper stem leaves



Рисунок 9. Соцветия *C. galushkoi*
Figure 9. Inflorescences of *C. galushkoi*



Рисунок 10. Цветок *C. galushkoi*
Figure 10. Flower of *C. galushkoi*

Факторы, лимитирующие состояние региональной популяции таксона: стеноитопность и узкая экологическая амплитуда, низкая конкурентная способность, строгая приуроченность к сланцевому экотопу, низкая плотность популяций, естественная фрагментация ареала.

Категория и статус

1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения;
КР – находящийся под критической угрозой исчезновения; I приоритет природоохранных мер.

Категория угрозы исчезновения таксона

Оценка угрозы исчезновения региональной популяции таксона, определенная по Критериям Красного Списка МСОП на региональном уровне: Critically Endangered, CR B2a; C2a (i, ii). С.А. Литвинская.

Предлагаемые меры охраны

Внесение во второе издание Красной книги Республики Ингушетия.



Рисунок 11. Полунижняя завязь *C. galushkoi*
Figure 11. Semi-inferior ovary of *C. galushkoi*



Рисунок 12. Рыльце пестика *C. galushkoi*
Figure 12. Stigma of *C. galushkoi*



Рисунок 13. Пыльники *C. galushkoi*
Figure 13. Anthers of *C. galushkoi*



Рисунок 14. Семена *C. galushkoi*
Figure 14. Seeds of *C. galushkoi*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Campanula galushkoi (Taisumov et Teimurov) Murtaz. (syn. *Symphyandra galushkoi* Taisumov et Teimurov) – уникальный узколокальный эндемичный вид, описанный из Нельского ущелья – единственного местонахождения вида в Республике Ингушетия. Вид требует дальнейшего детального изучения и полной охраны. Места произрастания в Нельском ущелье должны быть объявлены особо охраняемой природной территорией. Для сохранения вида необходимо запретить сбор в декоративных и даже научных целях, вести контроль за состоянием популяций с учетом его эколого-биологических особенностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головлев А.А., Головлева Н.М. Почвы Чечено-Ингушетии. Грозный: Чеч. Инг. кн. изд-во, 1990. 350 с.
2. Дакиева М.К. Современное состояние флоры РИ и проблемы его сохранения // Материалы международной научной конференция Кавказа, Пятигорск, 2010. С. 36–37.
3. Тайсумов М.А., Теймуров А.А. Два новых вида с Северного Кавказа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2009. Т. 114, Вып. 5. С. 69–70.

4. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созоология, экология. Краснодар, 2009. 439 с.
5. Астамирова М.А.-М. Симфиандра Галушко – *Symphyanandra galushkoi* Taisumov et Teimurov // Красная книга Чеченской Республики. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Грозный, 2020. С. 134.
6. Ахмадов Б.А. Реликтовые флористические комплексы ущелья реки Ассы (Ингушетия) // Тезисы III Международной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа», Нальчик, 2001. С. 6–7.
7. Меницкий Ю.Л. Проект «Конспект флоры Кавказа». Карта района флоры // Бот. журн. 1991. Т. 76. N 11. С. 1513–1521.
8. Хашиева Л.С., Дакиева М.К. Редкие и исчезающие растения Республики Ингушетия. Москва: АО «Первая Образцовая типография», 2025. С. 153–154.
3. Taisumov M.A., Teimurov A.A. Two new species from Northern Caucasus. [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series]. 2009, vol. 114, iss. 5, pp. 69–70. (In Russian)
4. Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. *Kavkazskii ehlement vo flore Rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ehkologiya* [Caucasian element in the flora of the Russian Caucasus: geography, sozology, ecology]. Krasnodar, 2009, 439 p. (In Russian)
5. Astamirova M.A.-M. *Symphyanandra galushkoi* Taisumov et Teimurov. In: *Krasnaya kniga Chechenskoi Respubliki. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoventiya vidy rastenii i zhivotnykh* [Red Data Book of the Chechen Republic. Rare and endangered species of plants and animals]. Grozny, 2020, p. 134. (In Russian)
6. Akhmadov B.A. Reliktovye floristicheskie kompleksy uschel'ya reki Assy (Ingushetiya) [Relict floristic complexes of the Assy River gorge (Ingushetia)]. *Tezisy III Mezhdunarodnoi konferentsii «Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza», Nal'chik, 2001* [Abstracts of the III International Conference "Biological Diversity of the Caucasus", Nalchik, 2001]. Nalchik, 2001, pp. 6–7. (In Russian)
7. Menitsky Yu.L. Project "Compendium of the Flora of the Caucasus". Map of the flora area. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal]. 1991, vol. 76, no. 11, pp. 1513–1521. (In Russian)
8. Khashieva L.S., Dakieva M.K. *Redkie i ischezayushchie rasteniya Respubliki Ingushetiya* [Rare and endangered plants of the Republic of Ingushetia]. Moscow, JSC First Model Publ., 2025, pp. 153–154. (In Russian)

REFERENCES

1. Golovlev AA, Golovleva N.M. *Pochvy Checheno-Ingushetii* [Soils of Chechen-Ingushetia]. Grozny, Chechen-Ingush Book Publ., 1990, 350 p. (In Russian)
2. Dakieva M.K. *Sovremennoe sostoyaniye flory RI i problemy ego sokhraneniya* [Current state of the flora of the Ingushetia Republic and problems of its conservation]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsiya Kavkaza, Pyatigorsk, 2010* [Proceedings of the international scientific conference of the Caucasus, Pyatigorsk, 2010]. Pyatigorsk, 2010, pp. 36–37. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лида С. Хашиева, Марет К. Дакиева и Зухра А. Фаргиева собрали и обработали флористический материал. Сделали подробное морфологическое описание, выявили диагностические признаки. Светлана А. Литвинская определила категорию и статус, а также категорию угрозы исчезновения таксона. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Lida S. Khashieva, Maret K. Dakieva and Zuhra A. Fargieva collected and processed the floral material. Provided a detailed morphological description and identified diagnostic features. Svetlana A. Litvinskaya determined the taxon's category and endangered species status. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Лида С. Хашиева / Lida S. Khashieva <https://orcid.org/0009-0004-0186-764>
 Светлана А. Литвинская / Svetlana A. Litvinskaya <https://orcid.org/0000-0003-3805-1359>
 Марет К. Дакиева / Maret K. Dakieva <https://orcid.org/0009-0002-3135-2626>
 Зухра А. Фаргиева / Zuhra A. Fargieva <https://orcid.org/0009-0005-6006-7252>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 577.3

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-5



Популяционный состав эритроцитов как индикатор адаптации зимоспящего млекопитающего к неблагоприятным факторам окружающей среды

Магомедрасул Б. Саидов¹, Альбина М. Джафарова¹, Ислам А. Ахмедов²¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия²Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Магомедрасул Б. Саидов, кандидат биологических наук, доцент, кафедра биохимии и биофизики, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М.Гаджиева, 43а.
Тел. +79288004351

Email smagras@mail.ruORCID <https://orcid.org/0009-0005-3272-1712>

Формат цитирования

Саидов М.Б., Джафарова А.М., Ахмедов И.А. Популяционный состав эритроцитов как индикатор адаптации зимоспящего млекопитающего к неблагоприятным факторам окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 47-55.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-5

Получена 2 сентября 2025 г.

Прошла рецензирование 24 октября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью является исследование популяционного состава эритроцитов крови сусликов в период глубокой спячки и на разных этапах согревания при индуцированном пробуждении.

Исследования были выполнены на малых сусликах *Spermophilus rugtmaeus* Pall. Для эксперимента использовали бодрствующих животных (контроль), находящихся в середине баута глубокой спячки и на различных этапах индуцированного пробуждения (с температурой тела 15 °С, 25 °С, 37 °С). Для оценки популяционного состава эритроцитов применили метод кислотных эритрограмм.

В период гибернации зафиксировано увеличение количества эритроцитов, претерпевших сфероцитарную трансформацию с одновременным ростом доли высокостойких и сверхвысокостойких клеток. Пробуждение и повышение температуры тела сусликов до 15°C способствует снижению содержания эритроцитов с низкой и средней устойчивостью по сравнению с состоянием бодрствования. Согревание сусликов до 25 °С характеризуется более высоким, по сравнению со всеми состояниями животных, содержанием подвергшихся сферуляции и пониженностойких эритроцитов. При этом популяция высокорезистентных эритроцитов, напротив, демонстрирует значительное снижение относительно предыдущих этапов исследования. Уровень сверхвысокорезистентных клеток остается достаточно высоким по сравнению с зимним контролем. Достижение температуры тела животного 37 °С не приводит к полной нормализации популяционного состава эритроцитов.

В цикле спячка-пробуждение популяционный состав эритроцитов претерпевает значительные изменения, которые могут быть обусловлены как изменениями в системе эритрона, так и структурными модификациями эритроцитарных мембран, меняющими их чувствительность к гемолитикам.

Ключевые слова

Малый суслик, зимняя спячка, популяции эритроцитов, самосогревание, гемолиз, эритрограмма.

The population composition of erythrocytes as an indicator of adaptation of a hibernating mammal to unfavourable environmental factors

Magomedrasul B. Saidov¹, Albina M. Dzhafarova¹ and Islam A. Akhmedov²

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Magomedrasul B. Saidov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology, Dagestan State University; 43a M. Gadzhieva St, Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79288004351
Email smagras@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-3272-1712>

How to cite this article

Saidov M.B., Dzhafarova A.M., Akhmedov I.A. The population composition of erythrocytes as an indicator of adaptation of a hibernating mammal to unfavourable environmental factors. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):47-55. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-5

Received 2 September 2025

Revised 24 October 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

This study aimed to investigate the population composition of erythrocytes in ground squirrels during deep hibernation and at various stages of rewarming upon induced arousal.

The study was conducted on little ground squirrels (*Spermophilus pygmaeus* Pall.). Experiments were performed on awake animals (control), animals in the middle of a deep hibernation bout, and in various stages of induced arousal (with body temperatures of 15 °C, 25 °C, and 37 °C). The population composition of erythrocytes was assessed using the acid erythrogram method.

During hibernation, an increase was observed in the number of erythrocytes undergoing spherocytic transformation, accompanied by a rise in the proportion of highly-resistant and ultra-highly resistant cells. Arousal and an increase in body temperature to 15 °C led to a decrease in the proportion of erythrocytes with low and medium resistance compared to the arousal state. Rewarming of ground squirrels to 25 °C was characterised by a higher content of spherulated and low-resistance erythrocytes compared to all other states. Conversely, the population of highly resistant erythrocytes showed a significant decrease relative to the previous stages of the study. The level of ultra-highly resistant cells remained relatively high compared to the winter control. Achieving a body temperature of 37 °C did not result in complete normalisation of the erythrocyte population composition.

During the hibernation–arousal cycle, the population composition of erythrocytes undergoes significant changes. These may be attributed both to alterations within the erythron system and to structural modifications of erythrocyte membranes, which change their sensitivity to hemolytic agents.

Key Words

Little ground squirrel, hibernation, erythrocyte populations, self-warming, hemolysis, erythrogram.

ВВЕДЕНИЕ

Зимняя спячка – уникальный механизм, выработавшийся в процессе эволюции у многих млекопитающих животных для преодоления зимней бескормицы и низкой температуры окружающей среды, путем обратной минимизации метаболизма и других физиологических важных функций, таких как температура тела, частота сердечных сокращений и др. [1]. Однозначно, спячка – это не пассивный процесс снижения температуры тела, а скорее сложный, многоуровневый процесс, который регулируется на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. В обширной литературе подробно освещены многие вопросы окислительно-восстановительной биологии, приводятся результаты анализа лейкоцитов и тромбоцитов, уделено внимание исследованию деформируемости эритроцитов, изучению морфологии красных клеток крови, а также обсуждаются особенности эритропоэза у разных гибернарующих животных в торпидном состоянии и в состоянии бодрствования в разные сезоны года. Исследования показали, что при искусственном выведении сусликов из спячки, концентрация мочевой кислоты и белков, подвергшихся окислительной модификации, в их крови увеличивается в зависимости от температуры тела. Параллельно наблюдается уменьшение активности супероксиддисмутазы (СОД), важного фермента антиоксидантной защиты [2]. Предполагается, что это может указывать на усиленное образование активных форм кислорода (АФК) в процессе насыщения тканей кислородом при пробуждении. Усиленное образование АФК способно вызывать окислительные повреждения белков и липидов в мембранах эритроцитов. Это, в свою очередь, может приводить к изменениям в структурно-динамических характеристиках мембран клеток и, как следствие, к снижению деформируемости эритроцитов. Влияние времени года на интегральную деформируемость эритроцитов, их водопроницаемость, содержание гемоглобина внутри клеток, механическую устойчивость и другие показатели эритроцитов было продемонстрировано в исследовании Katiukhin et al. [3]. Было установлено, что у сусликов, проснувшихся весной, интегральная деформируемость и водопроницаемость эритроцитов достигают максимальных значений, а внутриклеточная вязкость – минимальных. Летом деформируемость эритроцитов заметно снижается. Это снижение деформируемости эритроцитов летом объясняется замещением части холестерина в мембранах клеток фитостеролами, поступающими в организм с обильной растительной пищей в этот период года.

Осенью, когда суслики готовятся к залеганию в спячку, интегральная деформируемость эритроцитов вновь увеличивается по отношению к летнему периоду, оставаясь несколько сниженной по отношению к весеннему периоду [3]. Уровень таких эритроцитарных показателей как (RDW-SD и RDW-C), характеризующих гетерогенность эритроцитов, циркулирующих в крови по объему и ширине распределения [4], также оказались повышенными в весенний период по сравнению с летними и осенними значениями этих показателей [3]. Это может говорить о присутствии в крови животных, проснувшихся от спячки, одновременно эритроцитов, имеющих разные размеры и форму. Выход из состояния оцепенения сопровождается усилением эритропоэза и выбросом в

кровь молодых эритроцитов на замену старым для поддержания функциональной полноценности эритроцитарной популяции в активный летний период. Оказалось, что уровень ретикулоцитов в крови сусликов значительно возрастает после пробуждения весной [5], что подтверждается результатами по усилению синтетической активности костного мозга [6]. Значительное увеличение количества ретикулоцитов в крови, уровень которых не восстанавливался после выхода из спячки показано исследователями, определявшими особенности эритропоэза у гибернарующих сусликов [7]. Так как уровень производства лейкоцитов при гибернации находится в подавленном состоянии [8], авторы полагают, что в костном мозге происходит продукция именно предшественников эритроцитов, а не других клеток. Более того гены, ответственные за производство эритроцитов в состоянии торпора сохраняют уровень экспрессии на летнем уровне [9]. В то же время, на наш взгляд, в обширной литературе недостаточно уделяется внимание анализу адаптивных изменений в популяциях эритроцитов гетеротермных животных, находящихся в состоянии зимней спячки и в разные периоды физиологической активности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы применялись экспериментальные методы исследования на малых сусликах (*Spermophilus pygmaeus* Pall.) с весом тела от 250 до 300 граммов. Все животные были пойманы в Буйнакском районе Республики Дагестан (42°55' северной широты, 47°20' восточной долготы; 320 метров над уровнем моря). Условия содержания животных были стандартными для вивария, с постоянным доступом к питьевой воде и пище. Выполнение экспериментов соответствовало положениям Приказа Министерства здравоохранения РФ № 199н, выпущенного 01.04.2016 («Правила надлежащей лабораторной практики»). Этический комитет Дагестанского государственного университета одобрил протоколы всех процедур, связанных с использованием животных (протокол № 2 от 5 февраля 2024 года). Процедуры отвечали этическим стандартам, закрепленным в законодательстве Российской Федерации, принципам Базельской декларации и применимым рекомендациям. Имитация зимней спячки и процесса пробуждения проводилась следующим образом. Животные были случайным образом поделены на 5 групп, в каждой из которых было по 7 особей. Первая группа являлась контрольной и состояла из животных, находящихся в состоянии бодрствования в зимний период. Животные содержались поодиночке в клетках, расположенных в специально оборудованных комнатах. В этих комнатах поддерживался контролируемый световой режим, обеспечивалось достаточное количество питания (злаки, семена подсолнуха, корнеплоды) и неограниченный запас материалов для постройки гнезд. Температура в помещениях поддерживалась в диапазоне 20–22 °С. Еще одна группа включала животных, находящихся в состоянии глубокого зимнего сна (в середине периода гибернации). Третья, четвертая и пятая группы были сформированы из животных, которые искусственно выводились из спячки на разных этапах этого процесса. В летние месяцы зверьки содержались поодиночке в обычных клетках вивария со стандартным питанием. Чтобы вызвать зимнюю спячку,

в конце октября сусликов помещали в отдельные клетки и перемещали в темное помещение с контролируемой температурой в пределах 2–5 °С. В течение нескольких дней у животных начиналась спячка, характеризующаяся снижением температуры тела (tt) примерно до 4 °С. Спустя два месяца гибернации, в состоянии глубокого сна, животных извлекали для проведения экспериментов. Чтобы запустить процесс пробуждения, животных переводили в помещение с температурой 20 °С. Полное пробуждение и достижение температуры тела 37 °С занимало в среднем 2 часа 30 минут. Животных использовали в эксперименте после достижения температуры тела 15 °С, 25 °С и 37 °С. Температуру тела определяли термометром, введенным в прямую кишку на глубину 3–4 см.

Определение кислотной резистентности и популяционного состава эритроцитов

Перед проведением декапитации животным вводили лёгкий наркоз, используя препарат Золетил 100 (Virbac, France) в дозировке 4 мг/кг внутривенно. После декапитации кровь собирали в пробирку, содержащую гепарин, и подвергали центрифугированию (1500 об/мин, 10 минут). Полученную эритроцитарную массу трехкратно промывали физиологическим раствором с последующим центрифугированием (1500 об/мин, 10 минут) после каждой промывки.

Кислотную резистентность эритроцитов определяли по методу Терскова и Гительсона [10]. Этот метод основан на регистрации процесса разрушения эритроцитов под действием соляной кислоты определённой концентрации с помощью фотометра. Анализ последовательности разрушения эритроцитов позволяет построить гистограмму, отражающую распределение эритроцитов по их устойчивости, что является показателем неоднородности эритроцитарной популяции, в основном обусловленной возрастом клеток.

В термостатированной кювете (24 °С), содержащей физиологический раствор, при постоянном перемешивании добавляли исследуемую суспензию эритроцитов до достижения оптической плотности 0.700 ед. Таким образом, формировалась суспензия эритроцитов стандартной оптической плотности, соответствующей разведению обычной крови 1:1000. Затем 2 мл этой суспензии извлекали из кюветы. Оставшийся объем суспензии удаляли, и в осушенную кювету возвращали 2 мл свежеприготовленной суспензии, поддерживая постоянный объем (2 мл) и оптическую плотность (0.700) при 24 °С.

По сигналу таймера в кювету добавляли 2 мл гемолитика (0.004N раствор соляной кислоты) и тщательно перемешивали. Кюветное отделение закрывали крышкой и устанавливали показания прибора на ноль, используя кювету с компенсационным раствором. Кювету с эритроцитами и гемолитиком помещали в измерительный блок спектрофотометра. Все этапы, начиная с добавления гемолитика, выполняли в течение 30 секунд. С этого момента регистрировали изменения реакции во времени, дискретно измеряя скорость гемолиза с интервалом в 30 секунд до достижения 2–3 стабильных значений, указывающих на завершение гемолиза. После полного гемолиза кювету промывали и прибор был готов к новому анализу.

Полученные значения оптической плотности, уменьшающиеся со временем, использовались для построения эритрограмм. За 100 % гемолиза принимали разницу между начальной и конечной оптической плотностью образцов. Вся популяция эритроцитов условно разделялась на группы в зависимости от времени гемолиза: эритроциты, разрушающиеся в период 2,5–3,5 мин – низкоустойчивые, 3,5–5,0 мин – среднеустойчивые, 5,0–7,5 мин – высокоустойчивые, 7,5–9,5 мин – очень устойчивые, свыше 9,5 мин – чрезвычайно устойчивые [11].

Статистическая обработка

Анализ данных был выполнен посредством применения специализированных программных комплексов Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., USA) и SPSS Statistics 22 (IBM, USA). Для анализа различий между несколькими независимыми группами был применен непараметрический метод дисперсионного анализа, конкретно, Н-критерий Краскела-Уоллиса. Если обнаруживались статистически значимые отличия между группами, то проводились дополнительные парные сравнения с использованием U-критерия Манна-Уитни. При этом критический уровень значимости корректировался, чтобы учесть количество проводимых сравнений. Информация в табличной форме отображена в виде $M \pm m$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование динамики эритроцитов зимоспящих млекопитающих во время спячки может способствовать более широкому пониманию того, как различные типы клеток реагируют на экстремальные метаболические состояния. Результаты, полученные нами по распределению эритроцитов крови бодрствующих сусликов (температура тела 37 °С) по группам стойкости к кислотному гемолитику представлены в таблице 1. Анализ данных, представленных в таблице 1, демонстрирует, что основная часть эритроцитов (более 40 %) относится к группе средней устойчивости. Несколько более 21 % приходится на долю эритроцитов с пониженной устойчивостью. В то же время, процентное соотношение эритроцитов повышенной и высокой устойчивости составляет 21,7 % и 8,2 %, соответственно. Количество эритроцитов с пониженной резистентностью несколько превышает 21 %. В то же время, доля эритроцитов с повышенной и высокой устойчивостью составляет 21,7 % и 8,2 %, соответственно. Процент сфероцитарно измененных клеток крови равен 8,1 %. Доля же клеток с ультравысокой резистентностью крайне мала и составляет 0,3 %. Длительность гемолиза, отражающая суммарную резистентность эритроцитарных популяций у активных животных, достигает 9,9 минут. Момент наступления основного пика гемолиза фиксируется на 4,1 минуте. Следует отметить, что во время спячки достоверно повышается содержание эритроцитов, подвергшихся сфероляционному изменению (8,1 % у бодрствующих животных против 11,2 % у спящих). Процентное содержание пониженностойких и среднестойких эритроцитов снижается до 16,9 и 36,1 %, соответственно. Однако эти изменения не носят достоверного характера. Содержание повышенностойких эритроцитов во время гибернации не претерпевают существенных изменений, оставаясь на

уровне контрольных значений. Отмечается рост доли эритроцитов повышенной резистентности (с 8,2 % у активных особей до 10,7 % в период спячки). Параллельно с этим, зарегистрировано значительное

увеличение числа эритроцитов с чрезвычайно высокой устойчивостью. Более того, концентрация крайне резистентных эритроцитов увеличивается в разы.

Таблица 1. Распределение эритроцитов крови сусликов по группам стойкости к кислотному гемолизу (в % к общему числу эритроцитов) при зимней спячке и на разных этапах самосогревания при пробуждении ($M \pm m$, $n=7$ для каждой группы)

Table 1. Distribution of erythrocytes in the blood of ground squirrels by groups of resistance to acid hemolytic agents (in % of the total number of erythrocytes) during hibernation and at different stages of self-warming upon awakening ($M \pm m$, $n=7$ for each group)

№ п/п No	Показатели Indicators	Состояние животного / Animal condition				
		Бодрствующие Awake	Спячка Hibernation	Самосогревание до 15°C Warming up to 15°C	Самосогревание до 25°C Warming up to 25°C	Самосогревание до 37°C Warming up to 37°C
1	Сферуляционные изменения Spherulation changes	8,1±0,3	11,2±0,9 $P_{1-2}<0,05$	10,6±0,4 $P_{1-3}<0,01$	13,5±1,1 $P_{1-4}<0,01$ $P_{2-4}<0,01$ $P_{3-4}<0,01$	10,1±0,6 $P_{1-5}<0,01$
2	Пониженностойкие Low resistant	21,4±1,7	16,4±1,5	14,9±1,9 $P_{1-3}<0,05$	25,7±1,1 $P_{1-4}<0,01$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$	27,2±2,1 $P_{1-5}<0,01$ $P_{3-5}<0,01$
3	Среднестойкие Medium resistant	40,9±2,1	36,1±1,4	33,5±1,6 $P_{1-3}<0,02$	34,0±1,7	38,0±0,9
4	Повышенностойкие Highly resistant	21,5±1,6	21,4±1,4	26,8±1,4 $P_{1-3}<0,05$	20,4±1,9	17,2±0,5 $P_{1-5}<0,02$ $P_{2-5}<0,01$ $P_{3-5}<0,01$ $P_{4-5}<0,01$
5	Высокостойкие Very highly resistant	8,2±1,1	10,5±0,3	10,4±0,9	3,5±0,4 $P_{1-4}<0,02$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$	4,4±0,4 $P_{1-5}<0,03$ $P_{2-5}<0,001$ $P_{3-5}<0,05$
6	Сверхвысокостойкие Ultra high resistance	0,3±0,01	4,5±0,4 $P_{1-2}<0,02$	4,0±0,8 $P_{1-3}<0,001$	3,1±0,7 $P_{1-4}<0,001$	3,3±0,4 $P_{1-5}<0,001$
7	Продолжительность гемолиза, мин. Duration of hemolysis, min.	9,6±0,4	11,0±0,3 $P_{1-2}<0,03$	11,4±0,7	10,3±0,3	9,8±0,3 $P_{2-5}<0,02$ $P_{3-5}<0,05$
8	Время выхода основного пика гемолиза, мин. Main peak release time, min.	4,1±0,1	4,0±0,2	4,2±0,2	3,9±0,2	3,2±0,1

Обращает на себя внимание то, что продолжительность гемолиза эритроцитов во время гибернации также достоверно увеличивается по сравнению с продолжительностью гемолиза эритроцитов бодрствующих животных. Время наступления максимума лизиса эритроцитов при этом остается на уровне контрольных значений. Содержание температуры на уровне 15 °С, приближенной к комнатной, существенно не влияет на процентное соотношение эритроцитов, изменивших свою форму на сферическую, в сравнении с периодом гибернации. Тем не менее, относительно активного состояния, фиксируется статистически значимое увеличение данного показателя ($p < 0.05$). Число эритроцитов с малой и умеренной резистентностью ощутимо уменьшается в сопоставлении с величинами, свойственными активным животным. В сравнении с

результатами, полученными у гибернирующих животных, отмечается небольшое, но различимое сокращение представленности этих групп (см. табл. 1). В то же время, доля популяций эритроцитов с высокой и экстремально высокой стойкостью остается на уровне показателей спящих особей, демонстрируя явный рост по отношению к соответствующим показателям у бодрствующих животных. Такие характеристики эритрограмм, как длительность гемолиза и время достижения основного пика гемолиза при самосогревании до 15 °С, статистически не разнятся от аналогичных параметров как спящих, так и активных особей.

Таким образом, начальные этапы самосогревания и индуцированного пробуждения характеризуются достоверным уменьшением доли пониженностойких и среднестойких эритроцитов, на

фоне повышения процентного содержания повышенной популяции клеток по отношению к зимнему контролю. Доля эритроцитов, изменивших свою форму на сфероцитарную, значительно увеличивается по сравнению с нормой. При дальнейшем нагреве организма до 25 °C наблюдается прогрессирующее возрастание числа преобразованных красных кровяных телец. Одновременно с этим, доля эритроцитов с пониженной устойчивостью значительно превышает показатели всех предыдущих этапов, включая зимний контроль. Особого внимания заслуживает то, что популяция эритроцитов с высокой устойчивостью в этих условиях существенно снижается по сравнению со всеми предыдущими наблюдениями. При этом, содержание эритроцитов с экстремально высокой устойчивостью остается относительно стабильным, сопоставимым с зимним контролем. Общая продолжительность гемолиза и время наступления пика гемолиза остаются в пределах контрольных значений. При достижении температуры тела животного 37 °C, полной нормализации эритроцитарного состава не происходит. Количество эритроцитов, находящихся в предгемолитическом состоянии, остается значительно выше, чем в зимнем контроле. В крови также сохраняется повышенное содержание эритроцитов с низкой и экстремально высокой устойчивостью. Однако, популяция эритроцитов со средней устойчивостью возвращается к уровню зимнего контроля. Численность эритроцитов с повышенной и высокой устойчивостью уменьшается по сравнению с контрольными значениями. При этом, длительность гемолиза и время достижения пика эритрограммы восстанавливаются до уровня зимнего контроля.

Таким образом, усиление оксигенации тканей на заключительных стадиях согревания (25 °C и 37 °C) способствует снижению устойчивости эритроцитов, что проявляется в увеличении числа клеток в предгемолитическом состоянии, повышении доли эритроцитов с пониженной устойчивостью и сокращении популяции клеток с высокой устойчивостью. В то же время, количество эритроцитов с экстремально высокой устойчивостью остается достоверно высоким по отношению к зимнему контролю. У животных, впадающих в спячку, эволюционно сформировался ряд физиологических адаптаций, позволяющих переносить неблагоприятные воздействия окружающей среды посредством обратимого замедления метаболизма, снижения температуры тела, частоты сердечных сокращений и дыхания, а также ряда других изменений. Например, в период гибернации у животных отмечается снижение уровня лейкоцитов и тромбоцитов почти на 90 %, которые быстро восстанавливаются до летних показателей во время кратковременных периодов бодрствования. Эритроцитарные показатели в период спячки практически не отличаются от летних, однако физиологические свойства эритроцитов меняются в зависимости от времени года. Традиционно, исследования, в которых изучались уникальные биохимические и клеточные характеристики гибернаторов и других животных с гипоксической резистентностью, подчеркивают значительную метаболическую депрессию и связанные с ней последующие реакции [12]. Обширная литература сосредоточена на исследовании окислительно-

восстановительного метаболизма некоторых тканей, таких как печень, кишечник и межлопаточная бурая жировая ткань (БЖТ), но мало внимания уделялось эритроцитам, особенно у млекопитающих, впадающих в спячку. Согласно нашим данным, в состоянии глубокой зимней спячки (при температуре тела 8 °C) эритроциты у сусликов становятся более устойчивыми. Это может указывать на два момента: во-первых, период спячки может сопровождаться выходом в кровоток молодых эритроцитов, отличающихся повышенной устойчивостью; во-вторых, мембраны эритроцитов спящих животных могут претерпевать изменения, повышающие их устойчивость к негативному воздействию низких температур. Считается, что при глубоком состоянии анабиоза в кровоток поступают новообразованные эритроциты, характеризующиеся повышенной резистентностью к воздействию стрессовых факторов. Повышение стабильности мембран эритроцитов играет важную роль, поскольку они должны проходить через мелкие капилляры в тканях. Известно, что при снижении температуры тела увеличивается вязкость крови [13], что в условиях зимней спячки может привести к внутрисосудистому гемолизу. Изучение сирийских (*Mesocricetus auratus*) и европейских (*Cricetus cricetus*) хомячков продемонстрировало, что у погруженных в спячку особей наблюдается повышенное содержание эритроцитов и концентрация гемоглобина. Это объясняется замедлением процессов старения и почти полным прекращением разрушения красных кровяных телец в период гибернации. Продолжительность жизни эритроцитов у этих грызунов увеличивается до 160 дней, в то время как у бодрствующих хомячков тех же видов этот показатель варьируется от 50 до 70 дней [14].

В научной литературе имеются данные, полученные на других зимующих видах, указывающие на потенциальную возможность высвобождения ретикулоцитов в кровь во время глубокой гибернации. Отмечено, что у тринадцатиполосных сусликов в состоянии глубокой спячки наблюдается уменьшение объема эритроцитов по сравнению со средним объемом эритроцитов в периоды между пробуждениями, когда их объем увеличивается [15]. Принимая во внимание, что в процессе циркуляции в кровеносной системе размеры эритроцитов уменьшаются из-за потери части мембраны, увеличение размеров эритроцитов в период между спячками авторы объясняют активацией эритропоэза и поступлением в кровь ретикулоцитов, которые характеризуются большим размером по сравнению с циркулирующими эритроцитами. Также было установлено, что активность генов, контролирующих эритропоэз, существенно не меняется во время гибернации. Исследователи зафиксировали трехкратное увеличение активности гена SF3B1, участвующего в стимуляции образования эритроцитов. По мнению ученых, повышенная экспрессия данного гена может поддерживать эффективное производство красных кровяных телец и обеспечивать высокий функциональный уровень эритроцитарных популяций в период глубокой гибернации. Однако, биологическое значение преобладания молодых эритроцитов в крови впадающего в спячку организма, характеризующегося пониженным метаболизмом, нуждается в дальнейших исследованиях.

Сон у небольших млекопитающих отличается прерывистостью: состояние анабиоза складывается из сменяющих друг друга фаз глубокого сна и периодов активности. Оперативное возобновление циркуляции крови в органах и тканях в моменты периодических пробуждений может усилить вероятность повреждений, сопряженных с ишемией-реперфузией, в тех частях тела, где кровоток еще не полностью восстановился, а температура уже возросла. В связи с этим, представляется интересным проанализировать изменения в распределении эритроцитов по группам устойчивости на различных этапах самосогревания при индуцированном пробуждении.

В частности, согревание до 15 °С при комнатной температуре не оказывает существенного влияния на процентное содержание эритроцитов, подвергшихся сфероцитарным изменениям, по сравнению с периодом сна. Однако этот показатель значительно возрастает по сравнению с аналогичным показателем у бодрствующих животных. Процентное содержание эритроцитов с пониженной и средней устойчивостью заметно снижается по сравнению с данными, полученными у бодрствующих животных. По сравнению с показателями спящих животных, эти популяции демонстрируют небольшую тенденцию к снижению (табл. 1). В то же время, доля популяций эритроцитов с высокой и экстремально высокой устойчивостью остается сопоставимой с показателями, наблюдаемыми у находящихся в спячке животных, при этом демонстрируется статистически значимое увеличение относительно значений, измеренных у бодрствующих особей. Такие характеристики эритрограмм, как длительность гемолиза и момент достижения пика гемолиза при саморазогреве до 15 °С, не выявляют значимых различий в сравнении с аналогичными характеристиками, полученными как у спящих, так и у активных животных. Первые фазы вызванного пробуждения и процесса самосогревания заметно отличаются снижением соотношения эритроцитов с низкой и средней устойчивостью. Одновременно с этим, наблюдается увеличение процентного содержания популяции клеток с высокой устойчивостью, относительно зимних контрольных значений. В то же время, количество эритроцитов, претерпевших сфероцитарные изменения, существенно возрастает по сравнению с контролем (см. табл. 1). Данное изменение в распределении эритроцитарных популяций в начале процесса самосогревания, вероятно, обусловлено активацией механизмов обновления всего эритроцитарного состава, подготавливающих организм к пробуждению.

На следующем этапе самосогревания при достижении температуры тела до 25 °С в крови еще больше становится эритроцитов, подвергшихся сфероцитарным изменениям. При этом процентное содержание пониженностойких эритроцитов достоверно увеличивается по отношению ко всем предыдущим сериям опытов, в том числе и к состоянию зимнего контроля. Обращает на себя внимание то, что в этом состоянии популяция высокостойких эритроцитов демонстрирует достоверное снижение по сравнению со всеми предыдущими сериями опытов. Содержание наиболее устойчивых к разрушению клеток остается сравнительно большим, если сравнивать с зимним периодом. Общая длительность процесса гемолиза и время появления главного пика гемолиза остаются

сопоставимыми с контрольными значениями. Однако, при достижении температуры тела животного до 37 °С, полного восстановления нормального состава эритроцитов не фиксируется. Количество эритроцитов, готовых к гемолизу, остается значительно выше уровня зимнего контроля. В крови также сохраняется заметно повышенное количество клеток с низкой и крайне высокой устойчивостью. В то же время, количество эритроцитов со средней устойчивостью возвращается к значениям, характерным для зимнего периода. Количество клеток с повышенной и высокой устойчивостью показывает значительное снижение по сравнению с контролем. При этом продолжительность гемолиза и момент появления основного пика эритрограммы вновь соответствуют зимним показателям.

В результате, повышенное снабжение тканей кислородом на последних этапах согревания (25 °С и 37 °С) приводит к ослаблению стабильности красных кровяных телец. Это проявляется в увеличении количества клеток, находящихся в состоянии, предшествующем разрушению, росте числа эритроцитов с пониженной устойчивостью и сокращении популяции клеток с высокой резистентностью. Какие причины могут обуславливать снижение показателей устойчивости эритроцитов на завершающих этапах самостоятельного согревания при пробуждении? В работе Cooper et al. (2016) [16], показано снижение среднего объема эритроцитов у гибернарующих животных. Предполагается, что длительная циркуляция эритроцитов в кровотоке может привести к потере части мембраны путем везикулизации и повреждению мембраны. Можно предположить, что в процессе циркуляции в цикле спячка-пробуждение часть мембраны эритроцитов изменяется в результате окислительной модификации липидов и белков, кластеризации белка полосы 3, экстернализации фосфотидилсерина на наружный монослой, связывании с аутологичными антителами и такие эритроциты подвергаются элиминации клетками ретикуло-эндотелиальной системы или эритроптозу [2; 17]. Показано также, что в ходе самосогревания животных в диапазоне t , 25–30 °С в крови возникает окислительный стресс, о чем свидетельствует пик увеличения мочевой кислоты, повышение супероксидперехватывающей активности плазмы и повышения активности супероксиддисмутазы и каталазы в эритроцитах [18]. Окислительные повреждения мембраны приводят к быстрому старению эритроцитов, и такие клетки ускоренно выводятся из кровотока. В исследовании [19] изучалось влияние зимней спячки и выхода из неё на процессы перекисного окисления липидов, степень окислительной модификации липидов и белков, а также активность антиоксидантной системы в эритроцитах малого суслика (*Spermophilus pygmaeus*) в течение активного летнего периода, во время спячки (торпора) и в период пробуждения. Было показано, что уровень ТБК-активных продуктов и карбонильных групп в мембранных белках эритроцитов значительно снижался у особей в состоянии торпора по сравнению с контролем. Одновременно наблюдалось выраженное угнетение ферментативной антиоксидантной защиты.

Пробуждение от спячки сопровождалось повышенным образованием активных форм кислорода (АФК) и азотсодержащих соединений, а также

увеличением окислительного повреждения липидов и белков, достигающим пика при 25 °С. В этот период окислительный стресс проявлялся в падении уровня, восстановленного глутатиона, активности супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы, а также в дисбалансе их соотношения. Однако после нормализации температуры тела признаки окислительного стресса полностью исчезали, что, по мнению авторов, объясняется значительным усилением антиоксидантной защиты эритроцитов.

Снижение устойчивости эритроцитов при увеличении температуры на заключительных этапах выхода из гибернации, вероятно, связано с активацией процессов окисления в мембранах клеток крови. Отмеченное возрастание продолжительности гемолиза и существенный рост процента эритроцитов с высокой резистентностью в состоянии торпора, которые сохраняются и во время пробуждения, с большой вероятностью указывают на выход в кровотоки молодых эритроцитов, отличающихся повышенной устойчивостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Даже при восстановлении температуры тела животного до 37 °С, полного возврата к исходному состоянию эритроцитарной популяции не происходит. Увеличение времени разрушения эритроцитов статистически значимо проявляется исключительно в период оцепенения, если сравнивать с контрольной группой. Время выхода основного пика гемолиза во всех исследованных состояниях остается на уровне контрольных значений. Делается вывод о том, что качественный состав эритроцитов крови в значительной мере зависит от состояния пребывания животного.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Giroud S., Yamaguchi Y., Terrien J., Henning R.H. Editorial: Torpor and hibernation: metabolic and physiological paradigms // *Front Physiol.* 2024. V. 15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1441872>
- Астаева М.Д., Кличханов Н.К. Окислительная модификация белков и антиоксидантная активность крови сусликов при индуцированном пробуждении от зимней спячки // *Изв. АН Сер. Биол.* 2009. N 6. С. 662–668.
- Katiukhin L.N., Chalabov S.I., Bekshokov K.S., Pokhmelnova M.S., Klichkhanov N.K., Nikitina E.R. Seasonal changes in blood rheology in little ground squirrels // *J. Exp. Zool – A. Ecol. Integr. Physiol.* 2023. V. 339. N 5. P. 474–486. <https://doi.org/10.1002/jez.2693>
- Perkins S.L. *Wintrobe's Clinical Hematology.* Philadelphia, Lippincot Wilkins and Williams Publ., 2003. V. 1. 11th ed. 5510 p.
- Gulevsky A.K., Shchenyavsky I.I. Seasonal changes in mechanical resistance of erythrocytes of the long-tailed ground squirrel (*Citellus undulatus*) // *Jour. of Evol. Biochem. and Physiol.* 2014. V. 50. N 5. P. 364–368.
- Карнаухова Н.А., Сергиевич Л.А., Игнатьев Д.А., Карнаухов В.Н. Влияние ионизирующего излучения на синтетическую активность клеток системы крови у сусликов при разных физиологических состояниях животных // *Биофизика.* 2008. T. 53. N 1. С. 113–122.
- Лизоркина К.И., Аксенова Г.Е., Афанасьев В.Н., Теллова П.О., Захарова Н.М. Особенности эритропоэза гибернирующих сусликов *Urocyon undulatus* // *Журн.*

- эвол. биох. и физиол. 2024. T. 60. N 6. С. 599–607. <https://doi.org/10.31857/S0044452924070026>
- Yasuma Y., Mc Carron R.M., Spatz M., Hallenbeck J.M. Effects of plasma from hibernating ground squirrels on monocyte-endothelial cell adhesive interactions // *Am. J. Physiol.* 1997. V. 273. N 6. P. 1861–1869. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1997.273.6.R1861>
- Ануфриев А.И. Механизмы зимней спячки мелких млекопитающих Якутии. Новосибирск: Из-во СО РАН, 2008. 158 с.
- Терсков И.А., Гительзон И.И. Метод химических (кислотных) эритрограмм // *Биофизика.* 1957. N 2. С. 259–265.
- Леонова В.Г. Анализ эритроцитарных популяций в онтогенезе человека. Новосибирск: Наука, 1987. 240 с.
- Giraud-Billoud M., Rivera-Ingraham G.A., Moreira D.C., Burmester T., Castro-Vazquez A., Carvajalino Fernandez J.M., Dafre A., Niu C., Tremblay N., Paital B., Rosa R., Storey J.M., Vega I.A., Zhang W., Yepiz Plascencia G., Zenteno-Savin T., Storey K.B., Hermes-Lima M. Twenty years of the 'Preparation for Oxidative Stress' (POS) theory: ecophysiological advantages and molecular strategies // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular and Integrative Physiology.* 2019. V. 234. P. 36–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.04.004>
- Липина О.В., Луговой В.И. Изменение вязкости крови и гематокрита при охлаждении животных // *Биофизика.* 1996. T. 41. N 3. С. 678–679.
- Reznik G., Reznik-Schuller H., Emminger A., Mohr U. Comparative studies of blood from hibernating and nonhibernating European hamsters (*Cricetus cricetus* L.) // *Lab. Animal Sci.* 1975. V. 25. N 2. P. 210–215.
- Jorgensen P.G., Arnemo J., Swenson J.E., Jensen J.S., Galatius S., Frobert O. Low cardiac output as physiological phenomenon in hibernating, free-ranging Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*) – an observational study // *Cardiovasc Ultrasound.* 2014. V. 12. P. 36. <https://cardiovascularultrasound.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-7120-12-36>
- Cooper S.T., Sell S.S., Fahrenkrog M., Wilkinson K., Howard D.R., Bergen H., Cruz E., Cash S.E., Andrews M.T., Hampton M. Effects of hibernation on bone marrow transcriptome in thirteen-lined ground squirrels // *Physiol Genomics.* 2016. V. 48. N 7. P. 513–525. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00120.2015>
- Repsold L., Joubert A.M. Eryptosis: An erythrocyte's suicidal type of cell death // *BioMed Research International.* 2018. Article id: 9405617. doi: 10.1155/2018/9405617
- Okamoto I., Kayano T., Hanaya T., Arai S., Ikeda M., Kurimoto M. Up-regulation of an extracellular superoxide dismutase-like activity in hibernating hamsters subjected to oxidative stress in mid- to late arousal from torpor // *Comp Biochem Physiol and Toxicol Pharmacol.* 2006. V. 144. N 1. P. 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.05.003>
- Klichkhanov N.K., Nikitina E.R., Shihamirova Z.M., Astaeva M.D., Chalabov S.I., Krivchenko A.I. Erythrocytes of Little Ground Squirrels Undergo Reversible oxidative stress during arousal from hibernation // *Front Physiol.* 2021. V. 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.730657>

REFERENCES

- Giroud S., Yamaguchi Y., Terrien J., Henning R.H. Editorial: Torpor and hibernation: metabolic and physiological paradigms. *Front Physiol.* 2024, vol. 15, article id: 1441872. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1441872>

2. Astayeva M.D., Klichkhanov N.K. Oxidative modification of proteins and antioxidant activity of ground squirrel blood during induced awakening from hibernation. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Izvestia RAS. Biological Series]. 2009, no. 6, pp. 662–668. (In Russian)
3. Katiukhin L.N., Chalabov S.I., Bekshokov K.S., Pokhmelnova M.S., Klichkhanov N.K., Nikitina E.R. Seasonal changes in blood rheology in little ground squirrels. *J. Exp. Zool – A. Ecol. Integr. Physiol.* 2023, vol. 339, no. 5, pp. 474–486. <https://doi.org/10.1002/jez.2693>
4. Perkins S.L. *Wintrobe's Clinical Hematology*. Philadelphia, Lippincot Wilkins and Williams Publ., 2003, vol. 1, 11th ed., 5510 p.
5. Gulevsky A.K., Shchenyavsky I.I. Seasonal changes in mechanical resistance of erythrocytes of the long-tailed ground squirrel (*Citellus undulatus*). *Jour. of Evol. Biochem. and Physiol.* 2014, vol. 50, no. 5, pp. 364–368.
6. Karnaukhova N.A., Sergiyevich L.A., Ignat'yev D.A., Karnaukhov V.N. The influence of ionizing radiation on the synthetic activity of blood system cells in ground squirrels under different physiological conditions of animals. *Biofizika* [Biophysics]. 2008, vol. 53, no. 1, pp. 113–122. (In Russian)
7. Lizorkina K.I., Aksenova G.Y., Afanas'yev V.N., Teplova P.O., Zakharova N.M. Peculiarities of erythropoiesis in hibernating ground squirrels *Uroctellus undulatus*. *Jour. of Evol. Biochem. and Physiol.* 2024, vol. 60, no. 6, pp. 599–607. <https://doi.org/10.31857/S0044452924070026>
8. Yasuma Y., Mc Carron R.M., Spatz M., Hallenbeck J.M. Effects of plasma from hibernating ground squirrels on monocyte-endothelial cell adhesive interactions. *Am. J. Physiol.* 1997, vol. 273, no. 6, pp. 1861–1869. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1997.273.6.R1861>
9. Anufriev A.I. *Mekhanizmy zimney spyachki melkikh mlekopitayushchikh Yakutii* [Mechanisms of Hibernation of Small Mammals of Yakutia]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2008, 158 p. (In Russian)
10. Terskov I.A., Gitel'zon I.I. Method of chemical (acid) erythrograms. *Biofizika* [Biophysics]. 1957, no. 2, pp. 259–265. (In Russian)
11. Leonova V.G. *Analiz eritrotsitarnykh populyatsiy v ontogeneze cheloveka* [Analysis of erythrocyte populations in human ontogenesis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, 240 p. (In Russian)
12. Giraud-Billoud M., Rivera-Ingraham G.A., Moreira D.C., Burmester T., Castro-Vazquez A., Carvajalino Fernandez J.M., Dafre A., Niu C., Tremblay N., Paital B., Rosa R., Storey J.M., Vega I.A., Zhang W., Yepiz Plascencia G., Zenteno-Savin T., Storey K.B., Hermes-Lima M. Twenty years of the 'Preparation for Oxidative Stress' (POS) theory: ecophysiological advantages and molecular strategies. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular and Integrative Physiology*, 2019, vol. 234, pp. 36–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.04.004>
13. Lipina O.V., Lugovoy V.I. Changes in blood viscosity and hematocrit during cooling of animals. *Biofizika* [Biophysics]. 1996, vol. 41, no. 3, pp. 678–679. (In Russian)
14. Reznik G., Reznik-Schuller H., Emminger A., Mohr U. Comparative studies of blood from hibernating and nonhibernating European hamsters (*Cricetus cricetus* L.). *Lab. Animal Sci.* 1975, vol. 25, no. 2, pp. 210–215.
15. Jorgensen P.G., Arnemo J., Swenson J.E., Jensen J.S., Galatius S., Frobert O. Low cardiac output as physiological phenomenon in hibernating, free-ranging Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*) - an observational study. *Cardiovasc Ultrasound*. 2014, vol. 12, pp. 36. <https://cardiovascularultrasound.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-7120-12-36>
16. Cooper S.T., Sell S.S., Fahrenkrog M., Wilkinson K., Howard D.R., Bergen H., Cruz E., Cash S.E., Andrews M.T., Hampton M. Effects of hibernation on bone marrow transcriptome in thirteen-lined ground squirrels. *Physiol Genomics*. 2016, vol. 48, no. 7, pp. 513–525. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00120.2015>
17. Repsold L., Joubert A.M. Eryptosis: An erythrocyte's suicidal type of cell death. *BioMed Research International*, 2018, article id: 9405617. doi: 10.1155/2018/9405617
18. Okamoto I., Kayano T., Hanaya T., Arai S., Ikeda M., Kurimoto M. Up-regulation of an extracellular superoxide dismutase-like activity in hibernating hamsters subjected to oxidative stress in mid- to late arousal from torpor. *Comp Biochem Physiol and Toxicol Pharmacol.* 2006, vol. 144, no. 1, pp. 47–56. doi: 10.1016/j.cbpc.2006.05.003
19. Klichkhanov N.K., Nikitina E.R., Shihamirova Z.M., Astaeva M.D., Chalabov S.I., Krivchenko A.I. Erythrocytes of Little Ground Squirrels Undergo Reversible oxidative stress during arousal from hibernation. *Front Physiol.* 2021, vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.730657>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Магомедрасул Б. Саидов получил экспериментальный результат. Альбина М. Джафарова разработала дизайн и провела математическую обработку результатов. Ислам А. Ахмедов интерпретировал экспериментальный результат. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Magomedrasul B. Saidov obtained the experimental results. Albina M. Dzhafarova designed the article and performed the mathematical processing of the results. Islam A. Akhmedov interpreted the experimental results. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Магомедрасул Б. Саидов / Magomedrasul B. Saidov <https://orcid.org/0009-0005-3272-1712>

Альбина М. Джафарова / Albina M. Dzhafarova <https://orcid.org/0000-0001-7744-859X>

Ислам А. Ахмедов / Islam A. Akhmedov <https://orcid.org/0009-0005-4410-8923>

Оригинальная статья / Original article

УДК 616.995.132

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-6



К эпизоотологии диктиокаулеза мелкого рогатого скота в Армении

Марине В. Варданян^{1,2}, Лаура Дж. Арутюнова¹, Роза Э. Барсемян¹, Заруи М. Дудукчян¹,
Рузанна Л. Оганесян¹, Мартин Я. Рухкян¹, Илона Р. Варданян¹, Микаел Дж. Микаелян¹,
Ирена Р. Мовсисян², Магина З. Магомедова³, Патимат Д. Магомедова³,
Асият Ш. Магомедова³, Карине В. Акопян¹

¹Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, Ереван, Армения

²Национальный аграрный университет Армении, Ереван, Армения

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Марине В. Варданян, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией общей гельминтологии и паразитологии, Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, доцент, Национальный аграрный университет Армении; 0014, Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Севака, 7. Тел. +37495520487; +37493520487
Email marine.vardanyan.1974@mail.ru
ORCID <http://orcid.org/0009.0000.5610.0375>

Формат цитирования

Варданян М.В., Арутюнова Л.Дж., Барсемян Р.Э., Дудукчян З.М., Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я., Варданян И.Р., Микаелян М.Дж., Мовсисян И.Р., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Магомедова А.Ш., Акопян К.В. К эпизоотологии диктиокаулеза мелкого рогатого скота в Армении // Юг России: экология, развитие. 2026. Т. 21, N 1. С. 56-62. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-6

Получена 3 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 18 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Цель исследования – изучение эпизоотологии диктиокаулеза мелкого рогатого скота, экологии его возбудителя – *Dictyocaulus filaria*, на территории двух природно-ландшафтных поясов Армении (полупустыни – 375–700 м и горные степи – 1200–2000 м над уровнем моря). Исследования проводились в осенне-зимний период 2024 года в индивидуальных и фермерских хозяйствах республики. Копроларвоскопическим методом исследованы пробы фекалий от 356 голов овец двух возрастных групп: 1–2 лет и старше 2-х лет. Методом неполных гельминтологических вскрытий исследовано 56 голов овец (24-молодняк, 32-взрослые овцы).

Установлены показатели экстенсивности и интенсивности инвазии. ЭИ животных в низменной зоне варьировала в пределах 25,26–33,33 %, в высотной – 31,79–40,0 %. В целом, зараженность животных в условиях высотного пояса горных степей была выше на 13,9 % по сравнению с показателями зараженности животных в условиях низменного пояса. Аналогичная картина была выявлена и в отношении показателей интенсивности диктиокаулезной инвазии. Показатели интенсивности инвазии животных в низменном поясе колебались в пределах 16±0,82–29±1,39 экземпляров в 5-граммах навески фекалий, в высотном поясе – 22±0,68–31±1,09 экземпляров. Молодняк стабильно демонстрировал более высокие показатели экстенсивности и интенсивности инвазии по сравнению с аналогичными показателями у взрослых овец как в низменном, так и в высотном поясах Армении. Результаты проведенных исследований показывают, что на территории двух природно-ландшафтных поясов Армении зараженность овец *Dictyocaulus filaria* продолжает оставаться на довольно высоком уровне.

Ключевые слова

Овцы, диктиокаулез, *Dictyocaulus filaria*, экстенсивность и интенсивность инвазии, Армения.

Epizootology of Dictyocaulosis among sheep in Armenia

Marine V. Vardanyan^{1,2}, Laura J. Harutyunova¹, Roza E. Barseghyan¹, Zaruhi M. Dudukchyan¹, Ruzanna L. Hovhannisyan¹, Martin Ya. Rukhkyan¹, Ilona R. Vardanyan¹, Mikael J. Mikaelyan¹, Irena R. Movsisyan², Madina Z. Magomedova³, Patimat D. Magomedova³, Asiyat Sh. Magomedova³ and Karine V. Akopyan¹

¹Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

²National Agrarian University of Armenia, Yerevan, Armenia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Marine V. Vardanyan, Candidate of Veterinary Sciences (PhD), Senior Researcher, Head of the Laboratory of General Helminthology and Parasitology, Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia, National Agrarian University of Armenia; 7 Paruyr Sevak st., Yerevan, Republic of Armenia, 0014.

Tel. +37495520487

Email marine.vardanyan.1974@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0009.0000.5610.0375>

How to cite this article

Vardanyan M.V., Harutyunova L.J., Barseghyan R.E., Dudukchyan Z.M., Hovhannisyan R.L., Rukhkyan M.Ya., Vardanyan I.R., Mikaelyan M.J., Movsisyan I.R., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Magomedova A.Sh., Akopyan K.V. Epizootology of Dictyocaulosis among sheep in Armenia. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):56-62. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-6

Received 3 November 2025

Revised 18 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The objective of the present study was to investigate the epizootiology of dictyocaulosis in small ruminants and the ecology of its causative agent, *Dictyocaulus filaria*, within two natural-landscape zones of Armenia – namely, the semi-desert zone (375–700 m above sea level) and the mountain-steppe zone (1200–2000 m above sea level). The research was conducted during the autumn–winter period of 2024 in both private and commercial sheep farms across the republic.

Fecal samples from 356 sheep of two age groups (1–2 years and over 2 years) were examined using the coprolarvoscopy method. Additionally, 56 sheep (24 young and 32 adult animals) were examined by partial helminthological necropsy.

The indices of prevalence (extensity) and intensity of invasion were determined. The prevalence rate in the lowland zone ranged between 25.26–33.33 %, while in the highland zone it varied between 31.79–40.0 %. Overall, infection rates in the mountain-steppe zone were 13.9 % higher compared to those observed in the lowland zone. A similar pattern was recorded with respect to the intensity of *Dictyocaulus* invasion: in the lowland zone, the intensity varied between 16 ± 0.82 and 29 ± 1.39 larvae per 5 g of feces, while in the highland zone it ranged between 22 ± 0.68 and 31 ± 1.09 larvae.

Young sheep consistently demonstrated higher prevalence and intensity indices of invasion compared to adult animals in both ecological zones of Armenia. The results obtained indicate that *Dictyocaulus filaria* infection among sheep remains at a relatively high level within both natural-landscape zones of the republic.

Key Words

Sheep, dictyocaulosis, *Dictyocaulus filaria*, prevalence and intensity of invasion, Armenia.

ВВЕДЕНИЕ

Инвазионные болезни занимают значительное место в формировании патологии животных. Одним из таких заболеваний является диктиокаулез – хронически протекающее паразитарное заболевание дыхательных путей жвачных животных, которое широко распространено во всем мире. Возбудителем диктиокаулеза мелкого рогатого скота является нематода из рода *Dictyocaulus* (сем. *Dictyocaulidae* Skrabin, 1914) – *Dictyocaulus filaria* (Rudolphi, 1809). Диктиокаулы, паразитируя в бронхах и трахеях домашних копытных оказывают достаточно сильное аллергическое и токсическое воздействие, нарушая течение многих физиологических функций у заболевших животных, что влечет за собой экономические потери и снижение биологического потенциала экосистемы. Наряду с клинически выраженными признаками болезни, нередко случаи падежа животных, особенно молодняка.

Армения представляет собой оптимальное сочетание благоприятных природно-климатических и хозяйственно-географических условий, необходимых для развития всех видов паразитозов животных, что является причиной ежегодных заболеваний животных. В условиях современного ведения сельского хозяйства все еще остается актуальной проблема распространения инвазионных болезней животных.

Овцеводство в Армении является одной из ведущих отраслей животноводства, определяющего экономическое состояние республики. В последние годы наблюдается значительное увеличение численности поголовья овец в индивидуальном секторе и фермерских хозяйствах, что приводит к изменению паразитологического статуса опасных инвазионных болезней, в том числе, диктиокаулеза. Диктиокаулез мелкого рогатого скота распространен повсеместно в республике, особенно в зонах интенсивного овцеводства. Однако вопросы биологии, экологии диктиокаула, эпизоотологии, и патогенеза диктиокаулеза остаются изученными недостаточно. Во многих хозяйственных структурах республики борьба с гельминтозами в плановом порядке не проводится. Нашими исследованиями были охвачены территории двух природно-ландшафтных поясов Армении – полупустынный и горностепной с высотными отметками 375–700 м и 1200–2000 м над уровнем моря. В низменной зоне (375–700 м) обследовалось поголовье овец в хозяйствах Армавирской области, где доминируют полупустынные и низменные солончаково-луговые ландшафты Араратской равнины, со среднегодовой температурой около +13 °С и среднегодовой нормой атмосферных осадков – 293 мм. В высотной зоне (1200–2000 м) обследовалось поголовье овец в хозяйствах Котайкской области, где в основном горностепной ландшафт, со среднегодовой температурой около +7 °С и среднегодовой нормой атмосферных осадков – 649 мм. В ходе эпизоотического мониторинга состояния овцепоголовья указанных регионов возникла необходимость определения степени зараженности овец *Dictyocaulus filaria*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала был проведен в осенне-зимний период 2024 года в индивидуальных и фермерских хозяйствах двух природно-ландшафтных поясов Армении – в

полупустынном (Армавирский регион) на высоте 375–700 м над уровнем моря, и в горностепном (Котайкский регион) на высоте 1200–2000 м над уровнем моря. Согласно исследованиям прошлых лет, именно в это время года отмечается значительная зараженность животных диктиокаулами. Исследовательская работа проведена в лаборатории общей гельминтологии и паразитологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА.

Копроларвоскопическим методом [1] исследованы пробы фекалий от овец двух возрастных групп: 1–2-х лет и старше 2-х лет. Всего обследовано 356 голов. Методом посмертных гельминтологических вскрытий исследовано 56 комплектов легких, полученных от павших и вынужденно убитых животных. Была использована также методика диагностики диктиокаулеза мелкого рогатого скота, предложенная и опробованная в нашей лаборатории Г.А. Боячяном. Разработанный метод был одобрен секцией отделения ветеринарной медицины Российской Академии Сельскохозяйственных Наук «Инвазионные болезни животных» (протокол № 2 от 25. 05. 2007 г.) [2].

Экстенсивность инвазии (EI) определяли процентным отношением инвазированных животных ко всем исследованным по формуле:

$$EI = \frac{n}{N} * 100$$

где n – число зараженных особей хозяев, N – число исследованных особей хозяев.

Интенсивность инвазии учитывалась прижизненно путем подсчета количества личинок в пятиграммовой навеске фекалий (лич/5 г) и путем подсчета количества паразитов в легких павших и убитых животных.

Интенсивность инвазии (II) – рассчитывали по формуле:

$$II = \frac{m}{n}$$

где m – число обнаруженных гельминтов, n – число зараженных особей хозяев.

Проведена статистическая обработка результатов исследований [3].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты копроларвоскопических исследований свидетельствуют о широком распространении диктиокаулеза мелкого рогатого скота на территории обследованных регионов Армении. Показатели экстенсивности и интенсивности диктиокаулезной инвазии колебались в зависимости от высоты ландшафтных поясов (табл. 1).

В низменной зоне (375–700 м н.у.м.) у молодняка ЭИ была на уровне – 33,33 %, у овец старшего возраста ЭИ – 25,26 %. У животных высотного пояса (1200–2000 м н.у.м.) показатели ЭИ были значительно выше – у молодняка – 40,0 %, у взрослых овец – 31,79 %. В целом, зараженность овец высотного, горностепного пояса оказалась на 13,9 % выше чем зараженность овец низменного, равнинного пояса. Молодняк демонстрировал более высокую степень инвазированности по сравнению с овцами старшего возраста в обеих ландшафтных зонах республики – 37.27 % против 29.26 % (рис. 1).

Таблица 1. Зараженность овец разных возрастных групп по результатам копроларвoscopic исследований
Table 1. Infection of sheep of different age groups based on the results of coprolarvoscopic studies

Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	Исследовано всего Total explored		Из них заражены Of them are infected		ЭИ, % Prevalence of invasion, %		ИИ, в 5г образца M±m, экз. Intensity of invasion, in 5 g sample M±m, spec.	
	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults
375–700	45	95	15	24	33.33	25.26	29±1,39	16±0,82
1200–2000	65	151	26	48	40.0	31.79	31±1.09	22±0.68
Итого / Total	110	246	41	72	37.27	29.26	30±1,25	19±0,75

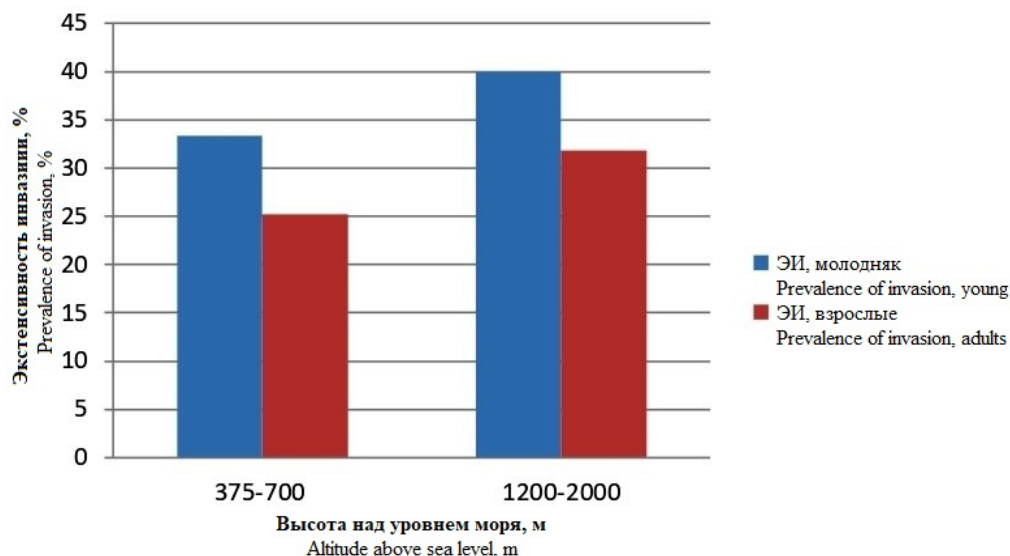


Рисунок 1. Экстенсивность инвазии овец *Dictyocaulus filaria* в двух высотных поясах Армении
Figure 1. Prevalence of invasion in sheep of *Dictyocaulus filaria* infestation in two altitude zones of Armenia

Аналогичная картина наблюдалась и в отношении интенсивности диктиокаулезной инвазии у овец разных возрастов (рис. 2). Интенсивность зараженности овец диктиокаулами в низменной зоне была заметно ниже и колебались в пределах $16 \pm 0,82$ – $29 \pm 1,39$ экземпляров в 5-граммах навески фекалий против – $22 \pm 0,68$ – $31 \pm 1,09$ экз./ 5 г. фекалий, в высотной зоне.

Инвазированность диктиокаулами молодняка по сравнению с взрослыми овцами была выше как в низменной, так и в высотной зоне республики (2).

Кроме копрологических исследований были проведены также гельминтологические обследования легких 56-ти павших и забитых овец. У 22-х животных была выявлена зараженность диктиокаулами (рис. 3).

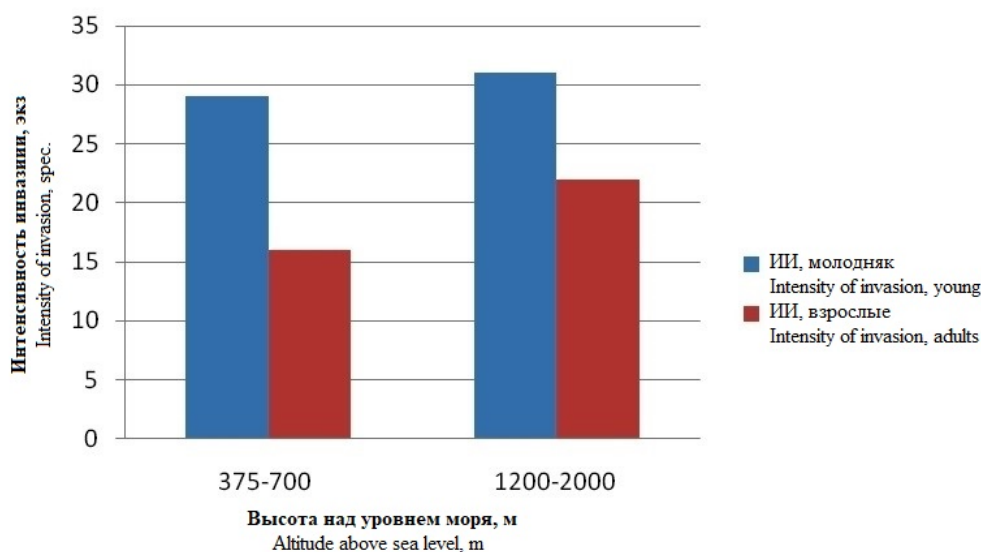


Рисунок 2. Интенсивность инвазии овец *Dictyocaulus filaria* в двух высотных поясах Армении
Figure 2. Intensity of invasion in sheep of *Dictyocaulus filaria* infestation in two altitude zones of Armenia



Рисунок 3. Диктиокаулы, извлеченные из легких овец
Figure3. Dictyocaulus extracted from the lungs of sheep

Уровень инвазированности животных, установленный по результатам вскрытия легких, также был неодинаков у животных низменных и горных ландшафтов (табл. 2).

Согласно исследованиям, наибольшая зараженность диктиокаулами была установлена у животных в хозяйствах горностепного пояса на высоте 1200–2000 м н.у. моря. У молодняка в этой зоне

ЭИ находилась в пределах – 46,15 % при ИИ – 61±0,45 экз/гол., у взрослых овец ЭИ – 44,44 %, при ИИ – 59±0,27 экз/гол. В полупустынном поясе ЭИ у молодняка была в пределах – 27,27 %, у взрослых овец – 35,7 %, при ИИ у молодняка – 32±1,0 экз/гол., у взрослых – 30±0,89 экз/гол. (рис. 4, 5).

Таблица 2. Зараженность овец разных возрастных групп по результатам гельминтологического вскрытия легких
Table 2. Prevalence of infection in different age groups of sheep according to helminthological lung postmortem examination

Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	Обследовано Examined		Заражено Infected		ЭИ, % Prevalence of invasion, %		ИИ, диктиокаулов / животное, М±m Intensity of invasion, Dictyocaulus per animal, M±m	
	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults	молодняк young	взрослые adults
375–700	11	14	3	5	27,27	35,7	32±1,0	30±0,89
1200–2000	13	18	6	8	46,15	44,44	61±0,45	59±0,27
Итого Total	24	32	9	13	36.71	40.07	46.5±0.78	44.5±0.66

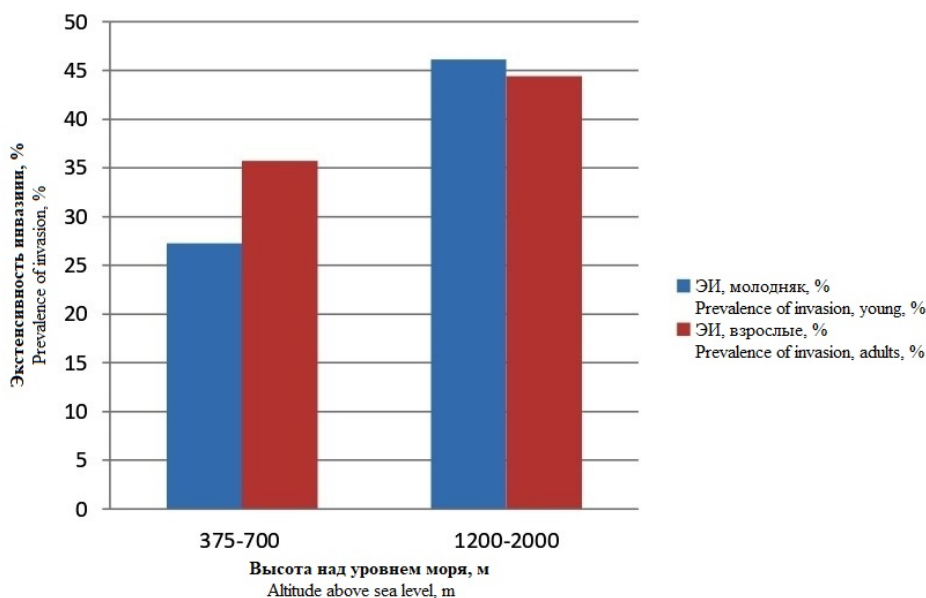


Рисунок 4. Экстенсивность инвазии овец *Dictyocaulus filaria* по результатам вскрытия легких овец
Figure 4. Prevalence of invasion of *Dictyocaulus filaria* infestation in a sheep, based on the results of a lung dissection

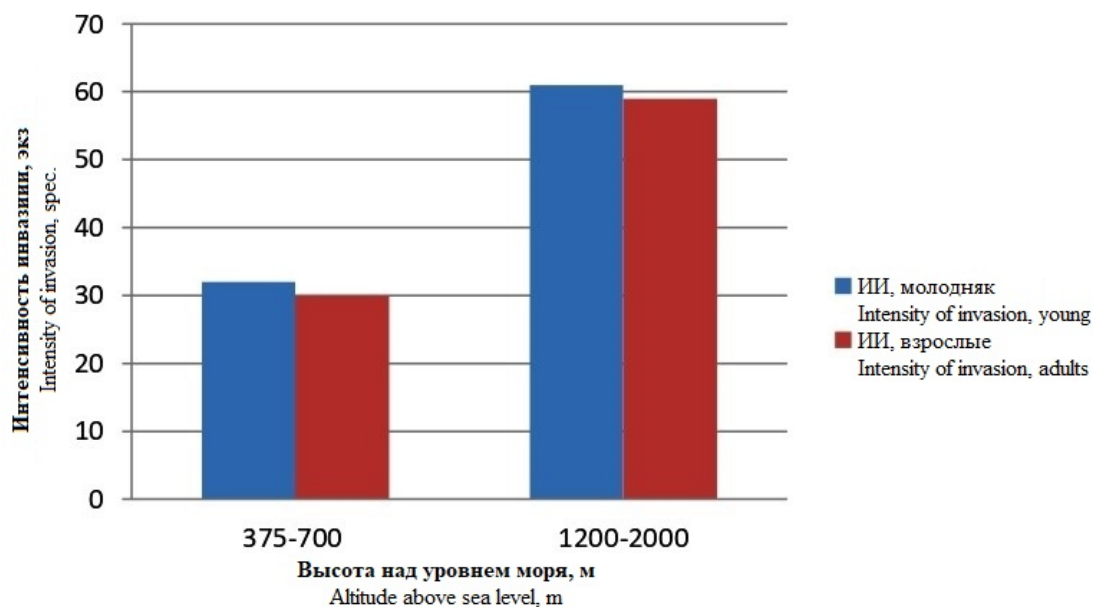


Рисунок 5. Интенсивность инвазии овец *Dictyocaulus filaria* по результатам вскрытия легких овец

Figure 5. Intensity of invasion in sheep of *Dictyocaulus filaria* infestation, based on the results of lung dissection

Результаты гельминтологических исследований легких также показали высокую степень заражения животных *Dictyocaulus filaria*. Средние показатели ЭИ у молодняка составляли – 36.71 %, при ИИ – 46.5 ± 0.78 экз/гол., у взрослых овец – 40.07 %, при ИИ – 44.5 ± 0.66 экз/гол.

В целом, по результатам копрологических и неполных гельминтологических вскрытий установлено, что на территории двух природно-ландшафтных поясов Армении диктиокаулез достаточно распространен. Однако, территория горноостепного пояса (1200–2000 м н.у.м.) имеет экологические условия, благоприятные для более высоких уровней зараженности овец диктиокаулезом.

В целом, результаты наших исследований имеют незначительные расхождения от исследований, проведенных в Армении в прошлые годы. Сказывается влияние различных условий внешней среды, антропогенный фактор, проведение профилактических мероприятий и др. [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные свидетельствуют о широком распространении диктиокаулеза в двух обследованных регионах Армении. Степень инвазированности овец диктиокаулами зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются возраст животных, сезон года, климатические условия природно-ландшафтных поясов республики. Наибольшая зараженность диктиокаулами зарегистрирована у овец горноостепного пояса на высоте 1200–2000 м н.у. моря, наименьшая – у овец полупустынного пояса на высоте 375–700 м н.у. моря. Инвазированность животных горноостепного пояса на 13,9 % выше, чем у животных полупустынного пояса. Это может быть связано с благоприятными условиями для развития личинок диктиокаула в более влажных предгорных регионах республики, природно-климатические условия которых создают благоприятные условия для распространения личинок гельминтов и их развития. Инвазированность

молодняка в обследованных регионах была выражена больше, чем у взрослых овец.

На основании полученных результатов можно заключить, что своевременный мониторинг эпизоотической ситуации по диктиокаулезу мелкого рогатого скота в Армении и проведение профилактических дегельминтизаций являются одними из основных систем мер борьбы с диктиокаулезом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абуладзе К.И. Паразитология и инвазионные болезни сельскохозяйственных животных. Москва: Агропромиздат, 1975. 471 с.
2. Бояхчян Г.А. Методика прижизненной диагностики легочных гельминтозов овец и коз в экспедиционных условиях // Российский паразитологический журнал. 2007. N 2. С. 122–124.
3. Geoffrey N.R., Steiner D.L. Biostatistics: The Bare Essentials. 4th edition. St. Louis: Mosby, 2014. 270 p.
4. Бояхчян Г.А. Диктиокаулез овец в Армении и меры борьбы с ним // Российский паразитологический журнал. 2009. N 1. С. 75–85.

REFERENCES

1. Abuladze K.I. *Parazitologia i invazionnye bolezni selskokhozaystvennykh zhivotnykh* [Parasitology and Invasive Diseases of Farm Animals]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1975, 471 p. (In Russian)
2. Boyakhchyan G.A. Methodology for the In Vivo Diagnosis of Pulmonary Helminthiasis in Sheep and Goats in Expeditionary Conditions. Rossiiskii parazitologicheskii zhurnal [Russian Journal of Parasitology]. 2007, no. 2, pp. 122–124. (In Russian)
3. Geoffrey N.R., Steiner D.L. Steiner. Biostatistics: The Bare Essentials. 4th edition. St. Louis, Mosby, 2014, 270 p.
4. Boyakhchyan G.A. Diktyocaulosis in Sheep in Armenia and Control Measures. Rossiiskii parazitologicheskii zhurnal [Russian Journal of Parasitology]. 2009, no. 1, pp. 75–85. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марине В. Варданян проводила лабораторные исследования и определение собранного паразитологического материала. Карине В. Акопян проводила лабораторные исследования, участвовала в написании рукописи. Роза Э. Барсегян проводила лабораторные исследования. Лаура Дж. Арутюнова, Заруи М. Дудукчян, Мартин Я. Рухкян, Рузанна Л. Оганесян, Илона Р. Варданян, Микаел Дж. Микаелян, Ирена Р. Мовсисян принимали участие в лабораторных исследованиях. Мадина З. Магомедова, Асият Ш. Магомедова и Патимат Д. Магомедова принимали участие в лабораторных работах. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marine V. Vardanyan carried out laboratory examinations and determination of the parasitological material collected. Karine V. Akopyan carried out laboratory examinations and participated in writing the manuscript. Roza E. Barseghyan carried out laboratory examinations. Laura J. Harutyunova, Zaruhi M. Dudukchyan, Martin Ya. Rukhkyan, Ruzanna L. Hovhannisyan, Ilona R. Vardanyan, Mikael J. Mikaelyan and Irena R. Movsisyan collected parasitological material and carried out laboratory examinations, Madina Z. Magomedova, Asiyat Sh. Magomedova and Patimat D. Magomedova participated in laboratory research. All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Марине В. Варданян / Marine V. Vardanyan <http://orcid.org/0009.0000.5610.0375>
Лаура Дж. Арутюнова / Laura J. Harutyunova <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>
Роза Э. Барсегян / Roza E. Barseghyan <https://orcid.org/0009.0000.4762.0475>
Заруи М. Дудукчян / Zaruhi M. Dudukchyan <https://orcid.org/0009.0008.0283.8970>
Рузанна Л. Оганесян / Ruzanna L. Hovhannisyan <https://orcid.org/0000-0003-4277-7785>
Мартин Я. Рухкян / Martin Ya. Rukhkyan <https://orcid.org/0000-0002-9559-9719>
Илона Р. Варданян / Ilona R. Vardanyan <https://orcid.org/0009-0006-4756-8551>
Микаел Дж. Микаелян / Mikael J. Mikaelyan <https://orcid.org/0009-0001-4906-2275>
Ирена Р. Мовсисян / Irena R. Movsisyan <https://orcid.org/0009-0000-0739-9067>
Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <https://orcid.org/0000.0001.8425.1664>
Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <https://orcid.org/0000.0001.6072.1094>
Асият Ш. Магомедова / Asiyat Sh. Magomedova <https://orcid.org/0009-0003-5594-0059>
Карине В. Акопян / Karine V. Akopyan <http://orcid.org/0009.0000.5326.7954>

Original article / Оригинальная статья

УДК 582.287.236 (470.67) : 57.012.3 : 577.15 : 574.9

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-7



Ecology and cultural characteristics of the tooth fungi genus *Hericium* (Russulales, Basidiomycota) in the Republic of Dagestan, Russia

Sergey V. Volobuev¹, Yuliya Yu. Ivanushenko² and Nataliya V. Shakhova¹¹Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Sergey V. Volobuev, Candidate of Sciences (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Systematics and Geography of Fungi, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences; 2 Professora Popova St, Saint Petersburg, Russia 197022.

Tel. +78123725469

Email sergvolobuev@binran.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

How to cite this article

Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Shakhova N.V. Ecology and cultural characteristics of the tooth fungi genus *Hericium* (Russulales, Basidiomycota) in the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):63-80. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-7

Received 20 November 2025

Revised 13 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The current work is aimed to provide data on the first finding of *Hericium cirrhatum* in the Republic of Dagestan, new localities of *Hericium coralloides* in the region, their ecological features, as well as to analyze the cultural characteristics of new *Hericium* strains *in vitro*.

The authors collected the original material during own field mycological inventories of forest ecosystems in the Republic of Dagestan in 2023–2025. Fungal specimens and strains were studied by techniques of light microscopy, solid-phase cultivation, molecular analysis of nrDNA, as well as qualitative evaluation of enzymatic activity. All samples are deposited at the LE Mycological herbarium and the LE-BIN culture collection (St. Petersburg).

The first data on the record of *Hericium cirrhatum* in the Samursky National Park and new locations of the red-listed species *H. coralloides* in the Kazbekovsky and Magaramkentsky districts of the Republic of Dagestan are presented. The cultural and morphological features of three new dikaryotic strains of *H. cirrhatum* and *H. coralloides* are described. Pure culture analyses have been performed to assess the lignocellulolytic and degradation potential of these white-rot xylotrophic species.

The data obtained can contribute to nature conservation practice, including the preservation of the gene pool of rare and little-known fungal species.

Key Words

Biodiversity, cellulases, fungal conservation, hydroid fungi, ligninases, North-Eastern Caucasus, pure culture, Red Data Book.

Экология и культуральные особенности грибов рода *Hericium* (Russulales, Basidiomycota) в Республике Дагестан, Россия

Сергей В. Волобуев¹, Юлия Ю. Иванушенко², Наталия В. Шахова¹

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Сергей В. Волобуев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН; 197022 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2. Тел. +78123725469

Email sergvolobuev@binran.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

Формат цитирования

Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Shakhova N.V. Ecology and cultural characteristics of the tooth fungi genus *Hericium* (Russulales, Basidiomycota) in the Republic of Dagestan, Russia // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 63-80. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-7

Получена 20 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 13 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Цель работы – представить сведения о первой находке *Hericium cirrhatum* в Республике Дагестан, новых местонахождениях *Hericium coralloides* в регионе, их экологических особенностях, а также провести анализ культуральных характеристик новых штаммов *Hericium* в условиях *in vitro*.

Авторами собран оригинальный материал в ходе собственных полевых микологических обследований лесных экосистем в Республике Дагестан в 2023–2025 годах. Гербарные образцы и штаммы грибов были изучены с помощью методов световой микроскопии, твердофазного культивирования, молекулярного анализа ярдНК, а также качественной оценки ферментативных активностей. Все изученные образцы хранятся в Микологическом гербарии Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE) и Коллекции культур базидиомицетов LE-BIN (Санкт-Петербург).

Впервые для Республики Дагестан отмечен *Hericium cirrhatum*, выявленный в национальном парке «Самурский», установлены новые местонахождения охраняемого в регионе вида *H. coralloides* на территории Казбековского и Магарамкентского районов. Описаны культурально-морфологические признаки трех новых дикариотических штаммов *H. cirrhatum* и *H. coralloides*. Проведена качественная оценка их лигноцеллюлолитического и деградиационного потенциала. Полученные данные могут быть использованы в природоохранной практике, в том числе мероприятиях по сохранению генофонда редких и малоизвестных видов грибов.

Ключевые слова

Биологическое разнообразие, целлюлазы, охрана грибов, ежевиковые грибы, лигниназы, Северо-Восточный Кавказ, чистые культуры, Красная книга.

INTRODUCTION

Fungi of the genus *Hericium* Pers. are among the most impressive xylotrophic macromycetes, as they develop large, whitish and easily visible basidiomata with a toothed hymenophore. These species cause a white rot, growing on wood of both deciduous trees and conifers. Despite of large quantities of basidiospores producing by *Hericium* species, in the experimental study their poor germination has been shown and considered as a factor contributing to the rarity of recorded fruiting bodies in the field [1].

Representatives of the genus *Hericium* are valuable edible mushrooms known for their medicinal properties and possessing a unique set of biologically active compounds [2]. Currently, among *Hericium* species, *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers., named in Europe and North America as Lion's mane or bearded hedgehog, is the most extensively studied. This species, known as the monkey head mushroom in China, the deer butt mushroom in Korea and as Yamabushitake in Japan [3], is actively used in East Asian countries as a potential alternative or complementary treatment due to the bioactive compounds synthesised by this fungus.

Extracts from the basidiomata and mycelium of *H. erinaceus* contain secondary metabolites such as polysaccharides (in particular, β -glucans), terpenoids (hericenones and erinacines), polyphenols, and peptides, which have notable physiological functions, including immunomodulatory, antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial effects [4]. In the clinical study carried out by Bizjak et al. [5], a dietary supplement containing *H. erinaceus* was found to be beneficial for improving cognitive function and modulating the gut microbiota in elderly people. Extracts and purified bioactive metabolites from the basidiomata or mycelium of *H. erinaceus* have antimicrobial activity against a number of bacterial and fungal pathogens, opening up further opportunities for combating antibiotic-resistant infections [4; 6]. In addition, experimental analyses of the *H. erinaceus* mycelium chemical composition have revealed no side effects and confirmed the safety of using this fungus for drug development [7].

Despite the long-standing research interest in the therapeutic and nutritional potential of *Hericium* fungi, there is significantly less information available on the secondary metabolites produced by other species of the genus. The presence of biologically active substances have been demonstrated in the mycelium of *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. with antitumour [8], immunomodulatory [9], antioxidant [10], anticoagulant, and cholesterol-lowering activities [11]. In addition, the preparation containing the polysaccharide galactan isolated from the basidiomata of *H. coralloides* was able to alleviate Alzheimer's disease and cognitive impairment by activating the Nrf2 signalling pathway [12; 13]. Song with colleagues [14] have developed optimized protocols for the extensive cultivation and fruiting of *H. coralloides* strains for commercial use in the food industry.

In the study by Narmuratova et al. [6], it was shown that extracts from pure cultures of *Hericium cirrhatum* (Pers.) Nikol., along with *H. coralloides* and *H. erinaceus*, demonstrated strong antibacterial activity against Gram-positive bacterial test cultures, such as *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*, which suggests the potential for application of these fungal strains as antibacterial agents.

The registered *Hericium* species diversity varies greatly between different regions and countries. In Russia, a total of six species of the genus are known as *Hericium alpestre* Pers., *H. cirrhatum*, *H. coralloides*, *H. erinaceus*, *H. fimbriatum* (Iwade) R. Sugaw., N. Maek. et N. Endo, *H. ptychogasteroides* Nikol. [15–18]. Two latter species are recorded only in the Russian Far East from Sakhalin Oblast [15] and Primorsky Krai [17]. One species, *H. alpestre* (as *H. flagellum* (Scop.) Pers.) is included in the Red Data Book of the Russian Federation with category 3 – “Rare species” and “Vulnerable” (VU D1) according to IUCN criteria in Russia [19].

In the Caucasus, four *Hericium* species have been recorded to date. Among them, *H. alpestre* and *H. erinaceus* are found in the Western Caucasus, where they are rare and also listed in the regional Red Data Books [20–22]. Ecologically, the species differ in their substrate preferences: *H. alpestre* grows on coniferous wood (*Abies*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*), while *H. erinaceus* develops on deciduous trees (*Aesculus*, *Alnus*, *Carpinus*, *Fagus*, *Populus*, *Quercus*, *Tilia*, etc.). Recently, *H. erinaceus* has also been noted in Stavropol Krai [23]. The species *H. cirrhatum* is registered only from the Republic of North Ossetia – Alania based on the almost century-old finding [24]. The most distributed species of the genus *Hericium* is *H. coralloides* revealed in all Caucasian regions of Russia. This species is also well-known in the European part of Russia alongside other wood-inhabiting fungi such as *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst., *Fomes fomentarius* (L.) Fr., and *Oxyporus populinus* (Schumach.) Donk [18]. *Hericium coralloides* is red-listed species in Krasnodar Krai [21], the Republic of Adygea [22], Stavropol Krai [25], the Kabardino-Balkarian Republic [26], the Republic of North Ossetia – Alania [27], the Chechen Republic [28], and the Republic of Dagestan [29].

In the Republic of Dagestan, the genus *Hericium* was previously known based on the only location of *H. coralloides* in vicinity of the Yersi settlement of Tabasaransky District [29].

The current work is aimed to provide data on the first finding of *H. cirrhatum* in the Republic of Dagestan, new localities of *H. coralloides* in the region, their ecological features, as well as to analyze the cultural characteristics of newly obtained *Hericium* strains *in vitro*.

MATERIAL AND METHODS

Field studies

Fresh basidiomata were collected and observed by the authors during field mycological inventories of forest ecosystems in the Republic of Dagestan. Field surveys were carried out both in the previously studied territory of the Samursky National Park within the “Delta Samura” site in Magaramkentsky District [30–36] and in the mycologically unexplored “Ozero Gorenzho” planned protected nature area in vicinity of the Dylm settlement of Kazbekovsky District. Geographic coordinates (WGS-84) were measured using the Garmin 64st GPS-navigator. Photographs of basidiomata were made *in situ* using a digital camera.

Morphological identification of herbarium specimens

Microscopic identification of four dried specimens was performed by light microscopy technique using a LOMO Mikmed-6 microscope (Russia) and an Axio Imager.A1 ZEISS microscope (Germany) equipped with Axiocam 506 color digital camera (Carl Zeiss) based on the monograph of Bernicchia & Gorjón [37]. A standard set of chemicals (5 %

aqueous solution of KOH, Melzer's reagent, 0.1 % Cotton Blue) was used for fungal slide preparation. The examined specimens have been deposited at the Mycological herbarium of the Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg (LE).

Isolation and verification of fungal pure cultures

Three dikaryotic strains were isolated *ex situ* using the solid-phase cultivation method, as described in Shakhova and Volobuev [38]. The macro- and micromorphological characteristics of the isolates were described using cultural and morphological parameters based on the method and terminology of Stalpers [39]. Verification of the strains was carried out using molecular genetic methods. Genomic DNA was amplified from a 14-day-old culture grown on standard malt extract agar (MEA), containing 1.5 % Conda malt extract (Madrid, Spain) and 2 % Difco agar (Kansas City, USA) in the dark in a thermostat at 25°C, using the Phire Plant Direct PCR Master Mix Kit (Thermo Fisher Scientific, USA), in accordance with the manufacturer's instructions. Amplification of the ITS nrDNA region was performed using the ITS1F/ITS4B primer set, as described in Volobuev and Shakhova [40]. The strains were deposited in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection (LE-BIN, St. Petersburg) and are stored using subculture, disc culture and cryopreservation methods [41].

Growth measurement and detection of enzymatic activity

Measurements of growth rate dynamics, as well as the characterisation of the strain macro- and micromorphological features, were carried out on three agarised nutrient media: BWA (4 % beer wort (Svoya kruzhdka Ltd., Tolyatti, Russia), pH 5.8, and 2 % Difco agar), MEA and PDA (potato dextrose agar, Panreac, Germany). The activity of ligninases and cellulases in the strains investigated was assessed by the application method, as described in Volobuev and Shakhova [40; 42]. The degradation potential of the strains was analysed using a modified method involving the polyphenolic dye Azure B [43].

Herbarium specimens studied:

Hericium cirrhatum — Russia, Republic of Dagestan, Magaramkentsky District, Samursky National Park, "Delta Samura" site, in 1.5 km south-eastward from the course of the Karasu River, 41.87907° N, 48.5191° E, on fallen trunk of *Populus alba* in poplar forest with hornbeam, lianas and wood spurge, 08.05.2023, coll. E.A. Dunaev, det. S.V. Volobuev, LE F-352273. — *ibid.*, vicinity of the ecological route close to Visit-center, 41.81469° N, 48.52933° E, on fallen trunk of *Carpinus betulus* in hornbeam forest with wood spurge (*Euphorbia amygdaloides*), 05.06.2025, coll. Yu.Yu. Ivanushenko, det. S.V. Volobuev, LE F-352269.

Hericium coralloides — Russia, Republic of Dagestan, Magaramkentsky District, Samursky National Park, "Delta Samura" site, in 3 km northward from the Samur settlement, on fallen trunk of *Carpinus betulus* in hornbeam forest with oak and wood spurge, 26.10.2023, coll. N.V. Shakhova and S.V. Volobuev, det. S.V. Volobuev, LE F-352270. — *ibid.*, in 1 km south-eastward from the course of the Karasu River, on fallen trunk of *Ulmus* sp. in poplar forest with elm and lianas, 28.10.2023, coll. N.V. Shakhova and S.V. Volobuev, det. S.V. Volobuev, LE F-352271. — *ibid.*, Kazbekovsky District, vicinity of the

Dylym settlement, "Ozero Gorenzho" planned protected nature area, on fallen trunk of *Fagus orientalis* in herb-rich beech forest with hornbeam, 06.11.2025, coll. and det. S.V. Volobuev, LE F-352272.

Fungal strains studied:

Hericium cirrhatum — LE-BIN 5192: *ex basidioma*, voucher specimen LE F-352273, introduced by N.V. Shakhova.

Hericium coralloides — LE-BIN 5238: *ex basidioma*, voucher specimen LE F-352270, introduced by N.V. Shakhova. — LE-BIN 5254: *ex basidioma*, voucher specimen LE F-352271, introduced by N.V. Shakhova.

RESULTS

Based on macro- and micromorphological features, the tiered tooth fungus *H. cirrhatum* has been identified. This species is recorded by the authors for the first time for the Republic of Dagestan from the territory of the Samursky National Park within the "Delta Samura" site in Magaramkentsky District in 2023 and 2025. The description of this basidiomycete fungus based on our original collections is presented below.

Hericium cirrhatum (Pers.) Nikol., Acta Inst. Bot. Acad. Sci. USSR, Plantae Cryptogamae, Ser. II, Fasc. 5: 343 (1950).

Basionym: *Hydnum cirrhatum* Pers. [as '*cirratum*'], Neues Mag. Bot. 1: 109 (1794).

BASIDIOMATA annual, pileate, dimidiate to semicircular, consisting of overlapping pilei that are fused at the base, up to 40 mm wide, initially white, then turning yellowish cream with a pinkish tint, and later becomes dirty-ochre to brownish when dry. CONTEXT thick, soft and fleshy, white or slightly pinkish, with sweetish-fruity odour when fresh, then gently corky, yellowish with a pinkish tint, non-fibrous. UPPER STERILE SURFACE rough, granulose to echinulate, covered with compressed conical or sometimes flattened sterile spines, more densely arranged near the edge of pileus. MARGIN obtuse or thin and sharp, and then bend over when drying. HYMENOPHORE hydroid with tapering conical aculei up to 10–12 mm long, whitish yellow and creamy apricot to dirty rusty and brownish beige on drying.

HYPHAL SYSTEM monomitic. HYPHAE hyaline, thin-walled or with thickened walls, interwoven, frequently inflated, variable in diameter, 3–15 µm wide, with clamps. GLOEOCYSTIDIA abundant, swollen fusiform or club-shaped, multiple constricted towards the apex, embedded in the hymenial layer, 5–6.5 µm wide, with granular contents. BASIDIA hyaline, clavate, clamped at the base, 18–28 × 4–5 µm, with four sterigmata. BASIDIOSPORES hyaline in KOH, broadly ellipsoid to subglobose, (3.2–) 3.4–3.9 (–4.1) × (2.4–) 2.5–3.1 (–3.2) µm, L = 3.62 µm, W = 2.79 µm, Q = 1.3, guttulate, amyloid.

As a result of continuing monitoring studies [32] of fungal protected species included in the Red Data Book of the Republic of Dagestan [29], three new locations of *H. coralloides* have been revealed. In 2023, two populations of this species have been registered in the territory of the Samursky National Park within the "Delta Samura" site in Magaramkentsky District. In 2025, one more population of *H. coralloides* have been found in the "Ozero Gorenzho" planned protected nature area in vicinity of the Dylym settlement of Kazbekovsky District. Morphological features of basidiomata observed are fully corresponded to the description of the species presented in the Red Data Book of the Republic of Dagestan [29].

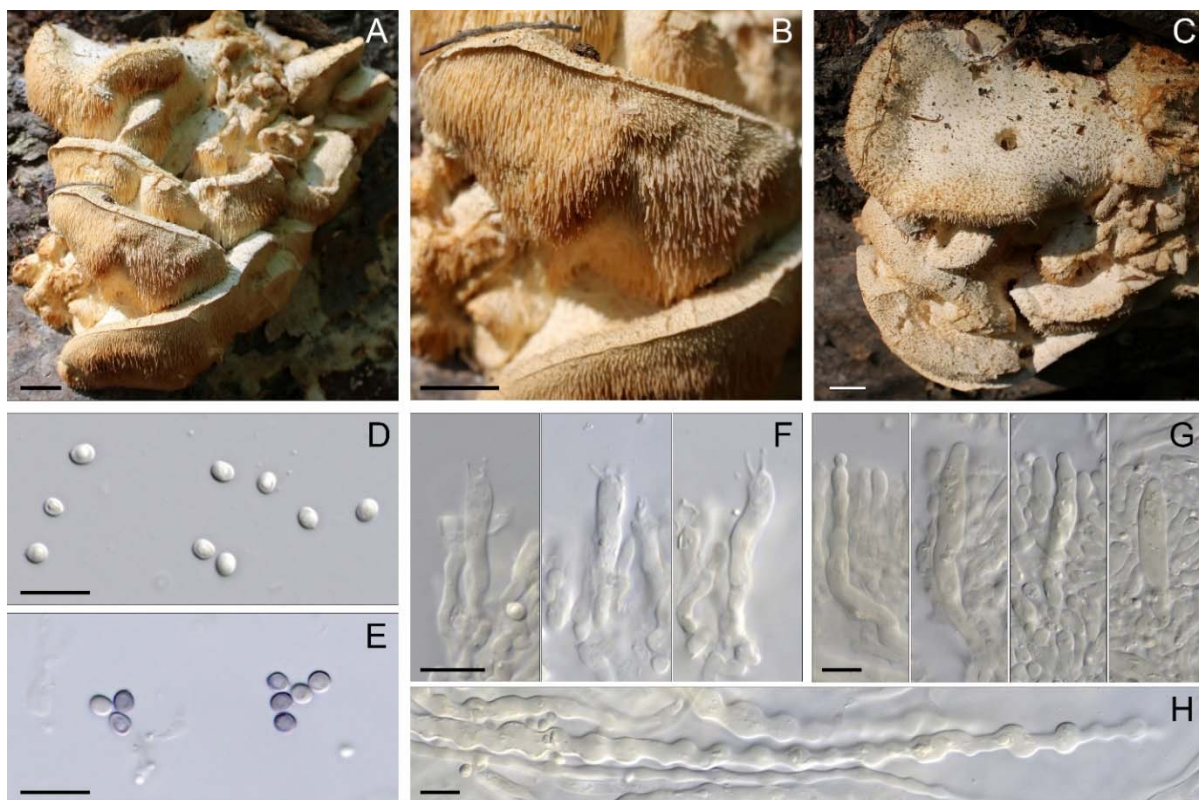


Figure 1. *Hericium cirrhatum*: A — habitus of basidiomata *in situ*, B — hydroid hymenophore; C — upper sterile surface of basidioma; D — basidiospores in KOH; E — basidiospores in Melzer reagent (amyloid reaction); F — basidia; G, H — gloeocystidia. Scale bars: A–C — 1 cm, D–H — 10 μm

Рисунок 1. *Hericium cirrhatum*. A — внешний вид плодовых тел в природе; B — гидноидный гименофор; C — верхняя стерильная поверхность базидиомы; D — базидиоспоры в KOH; E — базидиоспоры в реактиве Мельцера (амилоидная реакция); F — базидии; G, H — глеоцистиды. Масштабные линейки: A–C — 1 см, D–H — 10 мкм



Figure 2. Habitats of *Hericium coralloides* basidiomata *in situ*: A — LE F-352270; B — LE F-352271; C — LE F-352272. Scale bars — 1 cm

Рисунок 2. Внешний вид плодовых тел *Hericium coralloides* в природе: A — LE F-352270; B — LE F-352271; C — LE F-352272. Масштабные линейки — 1 см

Among the main conservation activities provided by maintaining regional Red Data Books there are obtaining and preserving of wild species strains in the pure culture collections. For these purposes, we introduced one strain

of *Hericium cirrhatum* and two strains of *H. coralloides* in pure culture. These strains were verified by molecular analysis of ITS nrDNA sequences generated in this study and deposited in GenBank (Table 1).

Table 1. Information on the studied strains and voucher specimens

Таблица 1. Сведения об изученных штаммах и ваучерных образцах

Species	Strain	GenBank accession no.	Voucher specimen	Collection date
<i>Hericium cirrhatum</i>	LE-BIN 5192	PZ179913	LE F-352273	08.05.2023
<i>Hericium coralloides</i>	LE-BIN 5238	PZ179914	LE F-352270	26.10.2023
<i>Hericium coralloides</i>	LE-BIN 5254	PZ179912	LE F-352271	28.10.2023

Newly obtained *Hericum* strains have been estimated in terms of mycelial growth rate, macro- and micromorphology of colonies on three different nutrient media, as well as lignocellulolytic enzymes activities.

The study of the growth rates of *Hericum* spp. colonies on various nutrient media revealed that the strains investigated belong to the group of slow-growing pure cultures. The *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain exhibited the slowest growth rate among the strains studied. Cultivation of this strain for 29 days did not result in complete coverage of Petri dishes (90 mm in diameter) by mycelium on any of the nutrient media explored. When the *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain was cultured on BWA, the colony diameter exceeding 50 mm was observed only on the 25th day, after which there was a noticeable decrease in growth rate, and the colony had reached 67.2 mm in diameter by the 29th day. MEA proved to be the most favourable for the growth of *H. cirrhatum* LE-BIN 5192; the colony diameter was 54.5 mm by the 25th day, and it was 75.5 mm by the 29th day. When *H. cirrhatum* was cultured on PDA, the colony diameter was 57.8 mm; the mycelium diameter was 69.3 mm by the 29th day (Fig. 3, A).

The *H. coralloides* strains exhibited a faster growth rate than *H. cirrhatum*. The *H. coralloides* LE-BIN 5238 strain demonstrated the highest growth rate when cultured on PDA: the colony diameter exceeded 50 mm by the 11th day of growth, and complete coverage of Petri dishes with mycelium was observed after 17 days. When this strain was grown on BWA, the colony diameter was 62 mm by the 11th day of growth; however, mycelial growth had completely ceased by the 15th day, and Petri dishes were not completely overgrown. The slowest growth rate was observed when *H. coralloides* LE-BIN 5238 was cultured on MEA: the fungal mycelium had reached 53.5 mm in diameter by the 15th day, but the colony growth rate had slowed significantly by the 21st day and the mycelium diameter was 80 mm by the 29th day (Fig. 3, B).

When the *H. coralloides* LE-BIN 5254 strain was cultured on PDA, the colony diameter exceeded 50 mm by the 11th day of growth, and Petri dishes were completely covered with mycelium by the 19th day. The slowest growth rate was observed when this strain was grown on BWA: the colony diameter was 51.3 mm on the 15th day, and the strain growth had completely ceased (diameter 69.5 mm) by the 25th day. When *H. coralloides* LE-BIN 5254 was grown on MEA, the colony diameter exceeded 50 mm on the 15th day; however, a decrease in growth rate was noted from the 17th day, and the mycelium diameter was 86.2 mm by the 29th day (Fig. 3, C).

Characteristics of *Hericum cirrhatum* LE-BIN 5192:

Colonies on BWA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 22.8 mm in 14 days. The colour is white. The mycelium becomes cream-coloured with age. The colony reverse is darkened. The outline is fringed, strongly fractured. Growing edge is submerged, sparse. The mycelial mat is plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, often in fan-like arrangement. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 1.8–3.6 µm wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are weakly curved to steeply curved, simple, 4.3–9.4 µm. Chlamydo spores, arthro- and

blastoconidia were not found. — CODE: 1.2.3.9.14(2).15(2).23.30(1).31.36(0).38(2).39(2).44.52–53.

Colonies on MEA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 17.4 mm in 14 days. The colour is creamy. The colony reverse is unchanged. The outline is wavy. Growing edge is submerged, sparse diffuse. The mycelial mat is powdery-plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, in fan-like arrangement. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 1.5–3.9 µm wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple, 5.2–10.0 µm. Hyphal swellings are frequently observed, 9.4(12.7) × 14.2(16.6) µm. Cystidia are observed at the ends of hyphae, spindle-shaped or swollen club-like, with frequent constrictions towards apex, 6.1(8.8) × 17.5 (24.6) µm. Chlamydo spores, arthro- and blastoconidia were not found. — CODE: 1.2.3.9.14(2).15(1).18(1).23(1).31.36(0).37(0).38(0).39(2).44.52–53.65.72.

Colonies on PDA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 16.1 mm in 14 days. The colour is creamy-white. The colony reverse is unchanged. The outline is wavy. Growing edge is pressed down. The mycelial mat is floccose-plumose: small hyphal tufts, standing out radiating from the central axis. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 1.5–3.5 µm wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple, 4.5–9.3 µm. Hyphal swellings are frequently observed, 9.9(13.5) × 16.0(18.4) µm. Cystidia are rare observed at the ends of hyphae, spindle-shaped or swollen club-like, with frequent constrictions towards apex, 6.0(9.0) × 18.2 (25.5) µm. Chlamydo spores, arthro- and blastoconidia were not found. — CODE: 1.2.3.9.14(2).15(1).19(1).23(1).30.36(0).37(0).38(0).39(2).44.52–53.65.72(1).

Characteristics of *Hericum coralloides* LE-BIN 5238

Colonies on BWA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 68.5 mm in 14 days, but stagnation of growth in 15–29 days. The colour is white. The mycelium becomes cream-coloured with age. The colony reverse is darkened. The outline is wavy. Growing edge is submerged, sparse. The mycelial mat is flaky-plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, in fan-like arrangement. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 1.5–4.9 µm wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are weakly curved to steeply curved, simple, 5.5–10.7 µm. Multiple clamps are rarely observed on hyphae. Chlamydo spores, arthro- and blastoconidia were not found. — CODE: 1.3.7.14(2).15(1).23.30.(31).36(0).38.39.44.52–53.

Colonies on MEA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 53.5 mm in 14 days, but stagnation of growth in 21–29 days. The colour is cream-coloured. The colony reverse is darkened. The outline is severely fractured. Growing edge is submerged, sparse diffuse. The mycelial mat is powdery-plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, in fan-like arrangement. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 2.2–6.8 µm wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple and

medallion-shaped, 5.8–11.0 μm . Hyphal swellings are frequently observed, 10.5(13.7) \times 15.1 (18.0) μm . Cystidia are often observed at the ends of hyphae, somewhat irregular, acute, with yellowish contents, 5.9(9.4) \times

19.2 (29.9) μm . Chlamydospores, arthro- and blastoconidia were not found. — CODE: 1.3.7.14(2).15(2).18.23.31.36(0).38.39.44.52–54.72(2).80(2).

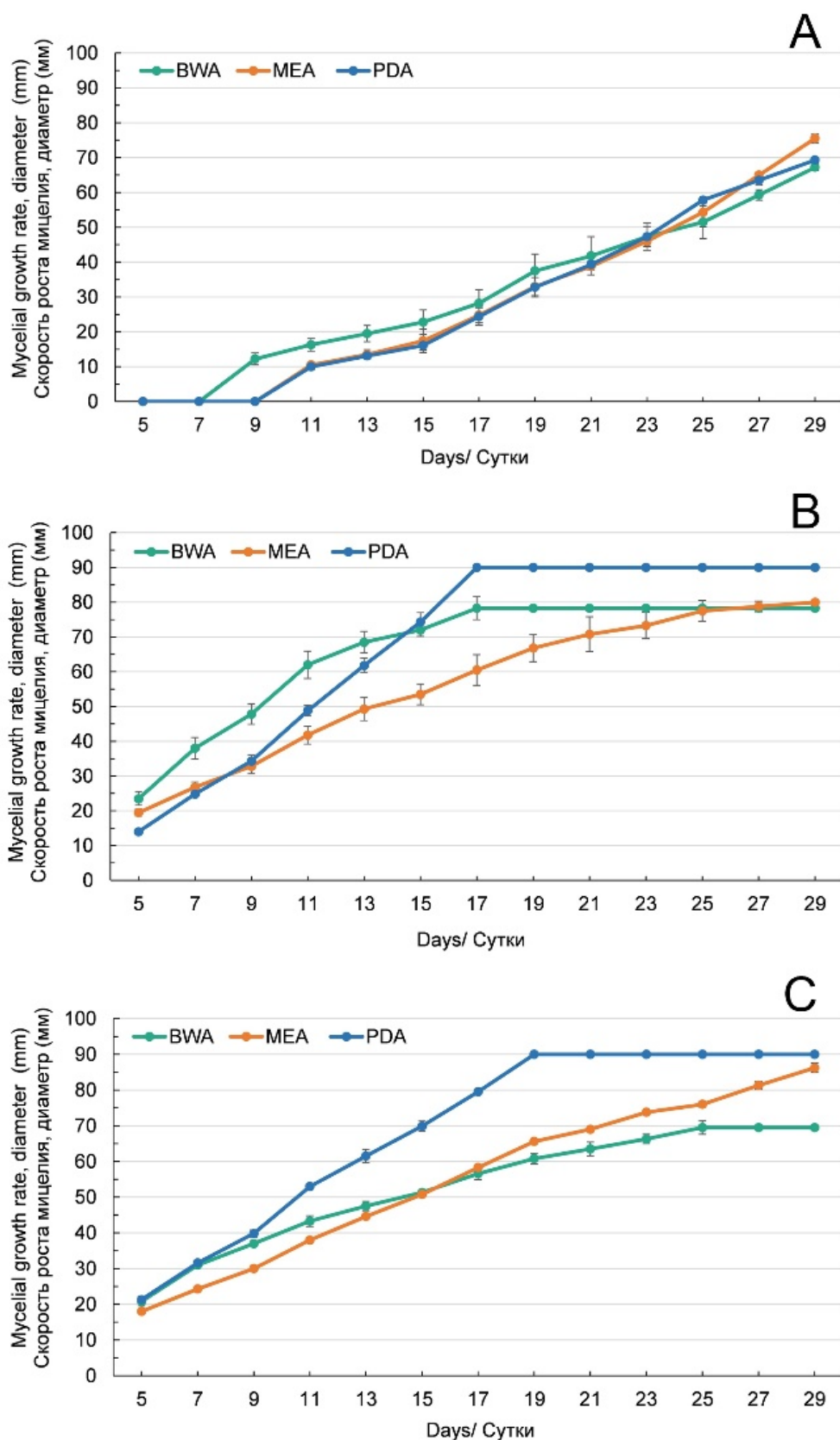


Figure 3. Mycelial growth rate of the *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (B), and *H. coralloides* LE-BIN 5254 (C) strains on BWA, MEA and PDA nutrient media

Рисунок 3. Скорость роста мицелия штаммов *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (B) и *H. coralloides* LE-BIN 5254 (C) на питательных средах BWA, MEA и PDA

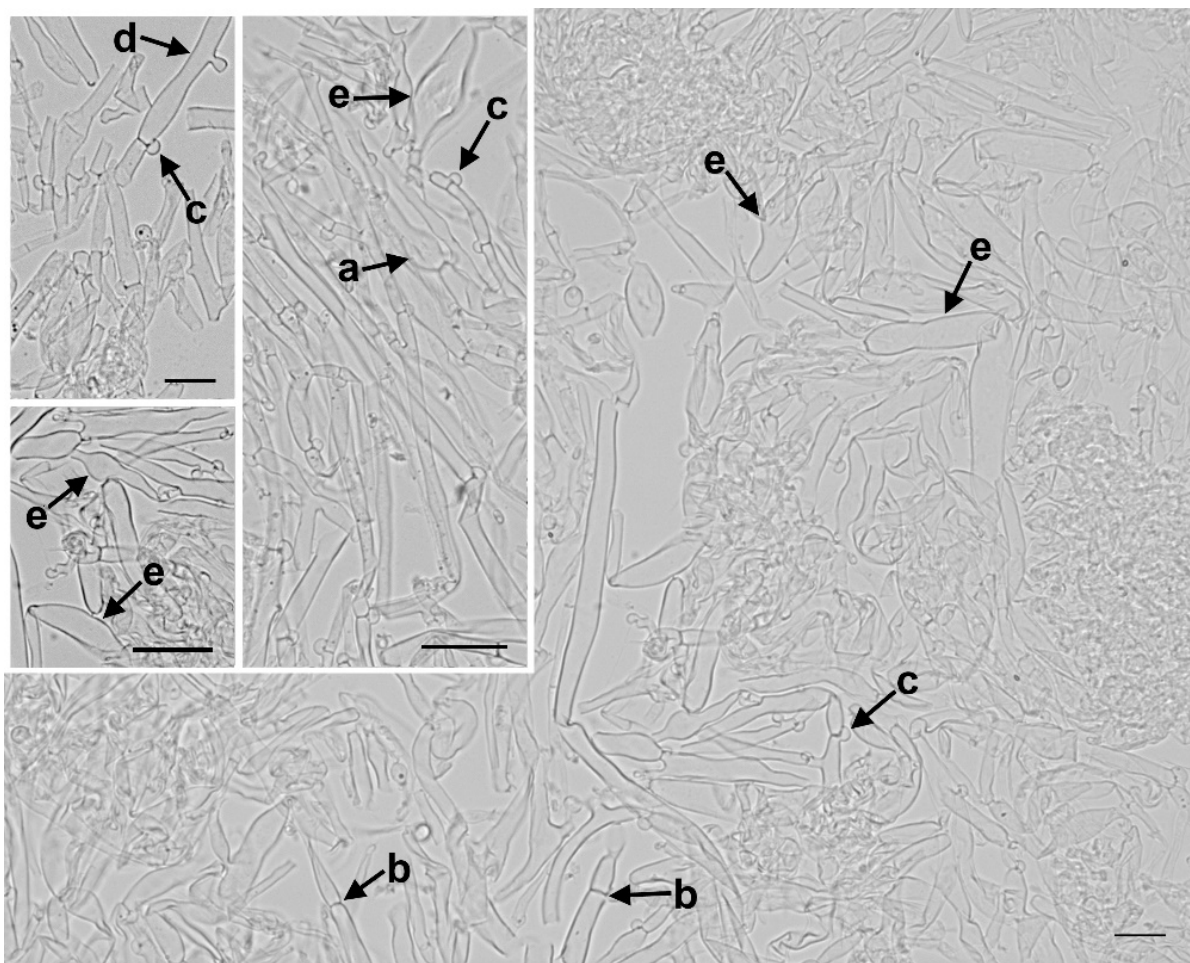


Figure 4. Microscopic features of *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192: a — swellings on generative hyphae; b, c — clamped hyphae; d — wart-like structure on generative hypha; e — cystidia. Scale bars — 10 μ m

Рисунок 4. Микроскопические особенности *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192: а — вздутия на генеративных гифах; б, с — гифы с пряжками; d — бородавковидная структура на генеративной гифе; e — цистиды. Масштабные линейки — 10 мкм

Colonies on PDA medium — **MACROMORPHOLOGY.** Growth rate — moderate, 74.3 mm in 14 days. The colour is pale. The colony reversum is unchanged. The outline is wavy. Growing edge is submerged, sparse. The mycelial mat is powdery-floccose: small hyphal tufts, standing out from the agar or from the aerial mycelium. It is odourless. — **MICROMORPHOLOGY.** Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 2.3–7.2 μ m wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple and medallion-shaped, 6.1–11.8 μ m. Hyphal swellings are frequently observed, 12.7(15.1) \times 16.5 (22.5) μ m. Cystidia are often observed at the ends of hyphae, somewhat irregular, acute, with yellowish contents, 7.5(10.5) \times 26.3 (34.0) μ m. Chlamydo-spores, arthro- and blastoconidia were not found. — **CODE:** 1.3.6.14(2).15(1).18.23.31.36(0).37(0).39.44.52–54.72(2).80(2).

Characteristics of *Hericium coralloides* LE-BIN 5254

Colonies on BWA medium — **MACROMORPHOLOGY.** Growth rate — slow, 51.3 mm in 14 days, but stagnation of growth in 25–29 days. The colour is cream-coloured. The colony reversum is unchanged. The outline is flat. Growing edge is submerged, sparse. The mycelial mat is flaky-plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, in fan-like

arrangement. It is odourless. — **MICROMORPHOLOGY.** Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 1.5–6.0 μ m wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are weakly curved to steeply curved, simple, 7.5–10.0 μ m. Multiple clamps are rarely observed on hyphae. Chlamydo-spores, arthro- and blastoconidia were not found. — **CODE:** 1.3.7.14(2).15(1).23.30.(31).36(0).37(0).38.39.44.52–53.

Colonies on MEA medium — **MACROMORPHOLOGY.** Growth rate — slow, 50.8 mm in 14 days, but stagnation of growth in 17–29 days. The colour is cream-coloured. The colony reversum is unchanged. The outline is wavy. Growing edge is submerged, sparse, diffuse. The mycelial mat is powdery-plumose: mycelial tufts with short or long hyphae or groups of hyphae radiating from the central axis, in fan-like arrangement. It is odourless. — **MICROMORPHOLOGY.** Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 2.0–6.5 μ m wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple and medallion-shaped, 4.2–12.2 μ m. Hyphal swellings are frequently observed, 7.5(9.9) \times 16.5 (18.5) μ m. Cystidia are often observed at the ends of hyphae, somewhat irregular, acute, with yellowish contents, 5.5(6.4) \times 15.5 (19.6) μ m. Chlamydo-spores, arthro- and blastoconidia were not found. — **CODE:** 1.3.6.14(2).15(1).18.23.31.36(0).37(0).39.44.52–54.72(2).80(2).

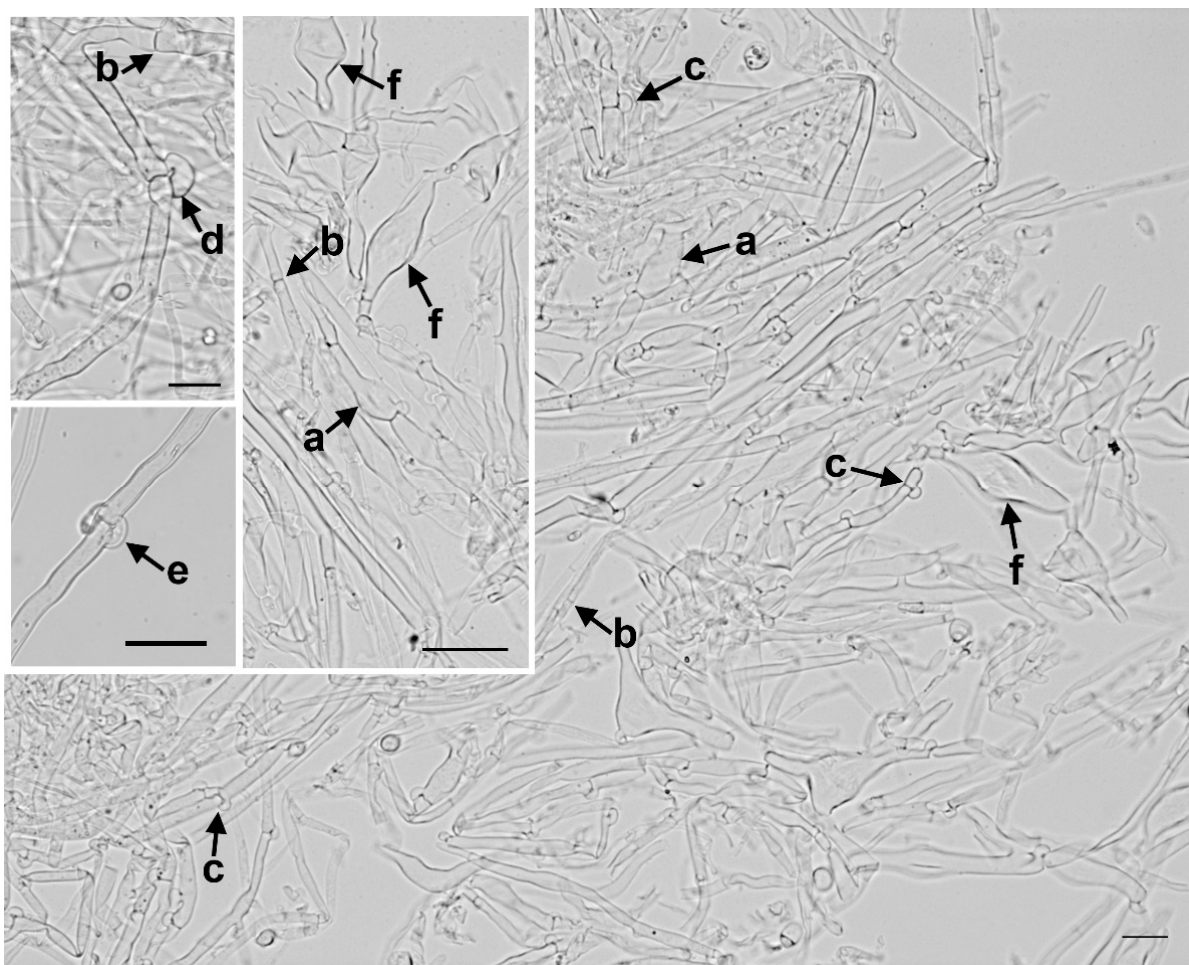


Figure 5. Microscopic features of *Hericium coralloides* in pure culture: a — swellings on generative hyphae; b — hyphae with septa; c — clamped hyphae; d — medallion-shaped clamp; e — multiple clamps; f — cystidia. Scale bars — 10 μ m

Рисунок 5. Микроскопические особенности *Hericium coralloides* в чистой культуре:

a — вздутия на генеративных гифах; b — гифы с перегородками; c — гифы с пряжками; d — медальонная пряжка; e — множественные пряжки; f — цистиды. Масштабные линейки — 10 мкм

Colonies on PDA medium — MACROMORPHOLOGY. Growth rate — slow, 69.9 mm in 14 days. The colour is pale. The colony reversum is unchanged. The outline is wavy. Growing edge is submerged, sparse, diffuse. The mycelial mat is powdery-floccose: small hyphal tufts, standing out from the agar or from the aerial mycelium. It is odourless. — MICROMORPHOLOGY. Hyphal system is monomitic. Mycelium consists of thin-walled hyaline hyphae, 2.5–7.5 μ m wide, straight, septate, rarely branching. Clamps are slightly curved to steeply curved, simple and medallion-shaped, 6.4–14.8 μ m. Hyphal swellings are frequently observed, 6.5(10.0) \times 15.0 (20.8) μ m. Cystidia are often observed at the ends of hyphae, somewhat irregular, acute, with yellowish contents, 6.6(8.0) \times 17.9 (20.5) μ m. Chlamydoconidia, arthro- and blastoconidia were not found. — CODE: 1.3.6.14(2).15(1).18.23.31.36(0).37(0).39.44.52–54.72(2).80(2).

Due to the genus *Hericium* belongs to xylotrophic basidiomycetes causing a white rot, they possess extracellular enzymes of the ligninolytic and cellulolytic complexes. We investigated the lignocellulolytic potential of *Hericium cirrhatum* and *H. coralloides* using pure cultures. The assessment of oxidative enzymes was carried out using a method based on the ability of producer strains to oxidise the ABTS substrate (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-

sulfonic acid)) to ABTS⁺. However, in the analysis of oxidoreductases in the *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain, oxidised ABTS changed colour around the inocula from transparent to purple-red, but not to emerald green (Fig. 7, A). The most likely explanation for the formation of the purple-red colour is the attachment of the free radical 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate) (ABTS •) to tyrosine residues in proteins [44]. It was found that the *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain was characterised by a high level of ligninase activity, with the diameter of the stained zone reaching 26.8 \pm 1.6 mm. At the same time, this strain exhibited low production of cellulolytic enzymes, with the diameter of the clearing zone being 7.0 \pm 0.1 mm.

When assessing the enzymatic activities of *H. coralloides* LE-BIN 5238 and *H. coralloides* LE-BIN 5254 (Fig. 7, B, C), it was found that the strains exhibited moderate oxidative enzyme activity; with the diameter of the coloured zone being 18.7 \pm 0.8 mm for the *H. coralloides* LE-BIN 5238 strain, and 18.0 \pm 0.6 mm for the *H. coralloides* LE-BIN 5254 strain. The activity of the cellulolytic complex enzymes in these strains was similar and low; the zone of clearing observed in *H. coralloides* LE-BIN 5238 was 13.0 \pm 0.9 mm, and 12.0 \pm 0 mm in *H. coralloides* LE-BIN 5254 (Fig. 8).

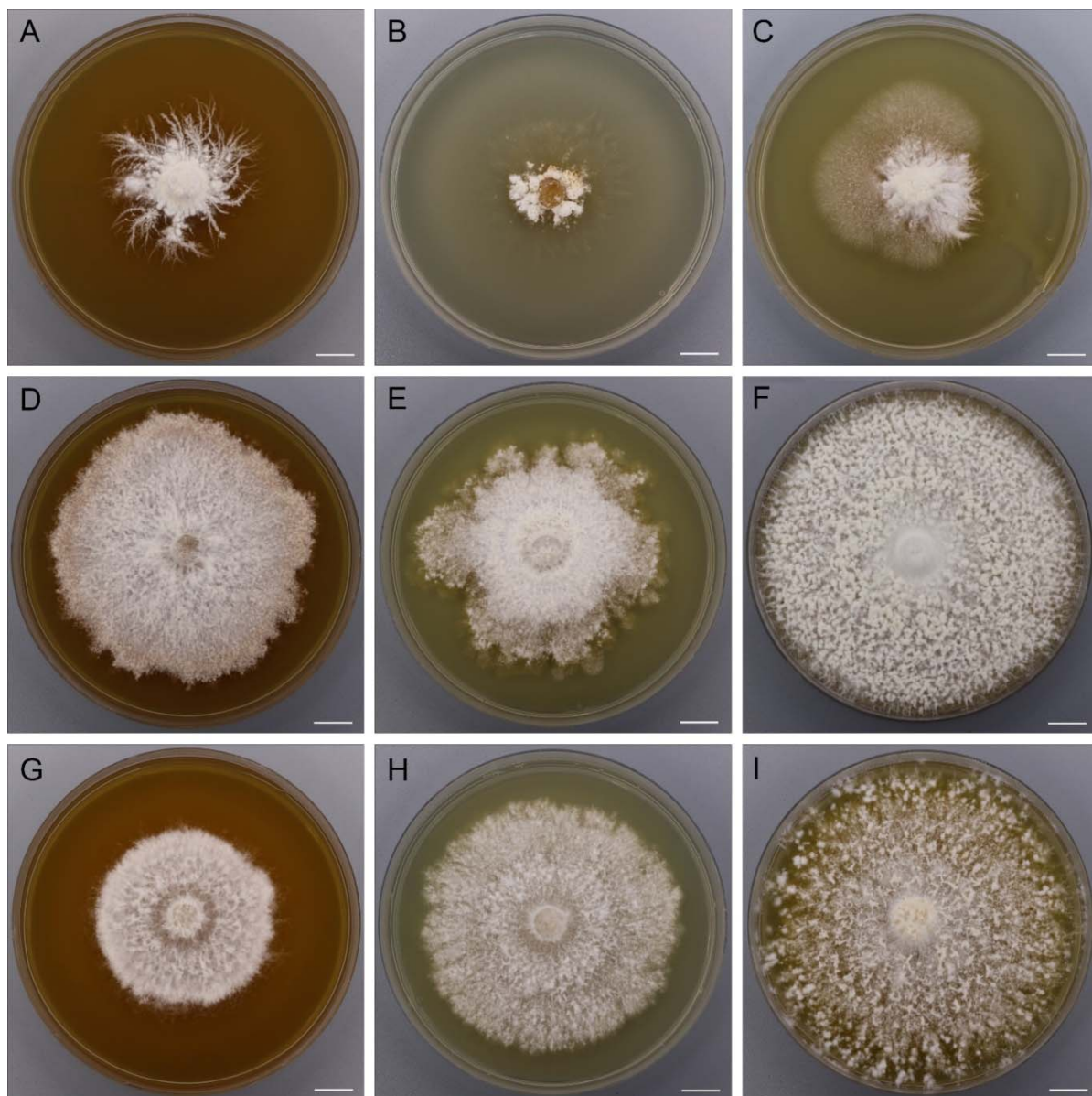


Figure 6. The colony appearance of the *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A, B, C), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (D, E, F), and *H. coralloides* LE-BIN 5254 (G, H, I) strains at 23 days of cultivation on BWA (A, D, G), MEA (B, E, H), and PDA (C, F, I). Scale bars – 1 cm

Рисунок 6. Внешний вид колоний штаммов *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A, B, C), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (D, E, F) и *H. coralloides* LE-BIN 5254 (G, H, I) на 23 сутки культивирования на питательных средах BWA (A, D, G), MEA (B, E, H) и PDA (C, F, I). Масштабная линейка – 1 см

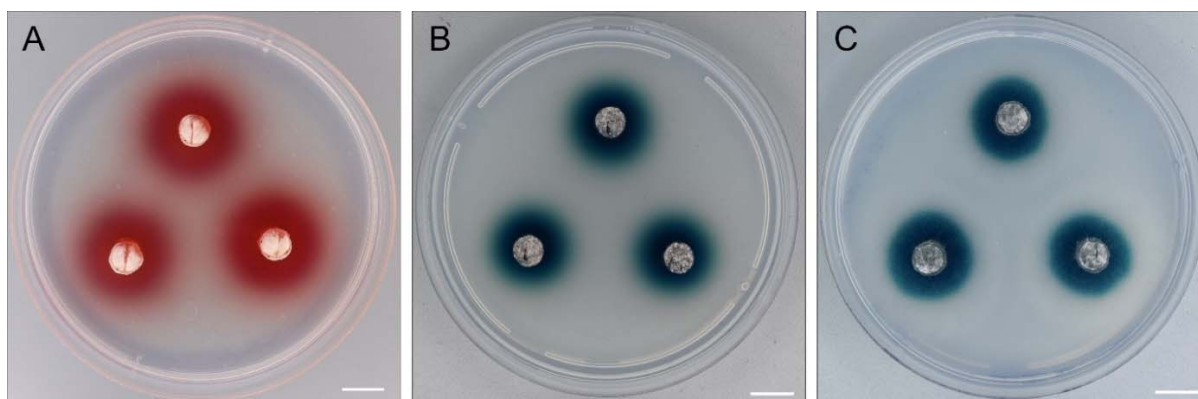


Figure 7. Extracellular ABTS-oxidizing activity on agar plates of the *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (B), and *H. coralloides* LE-BIN 5254 (C) strains. Scale bars – 1 cm

Рисунок 7. Активность внеклеточных окислительных ферментов на агаризованной среде с ABTS у штаммов *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 (A), *H. coralloides* LE-BIN 5238 (B) и *H. coralloides* LE-BIN 5254 (C). Масштабная линейка – 1 см

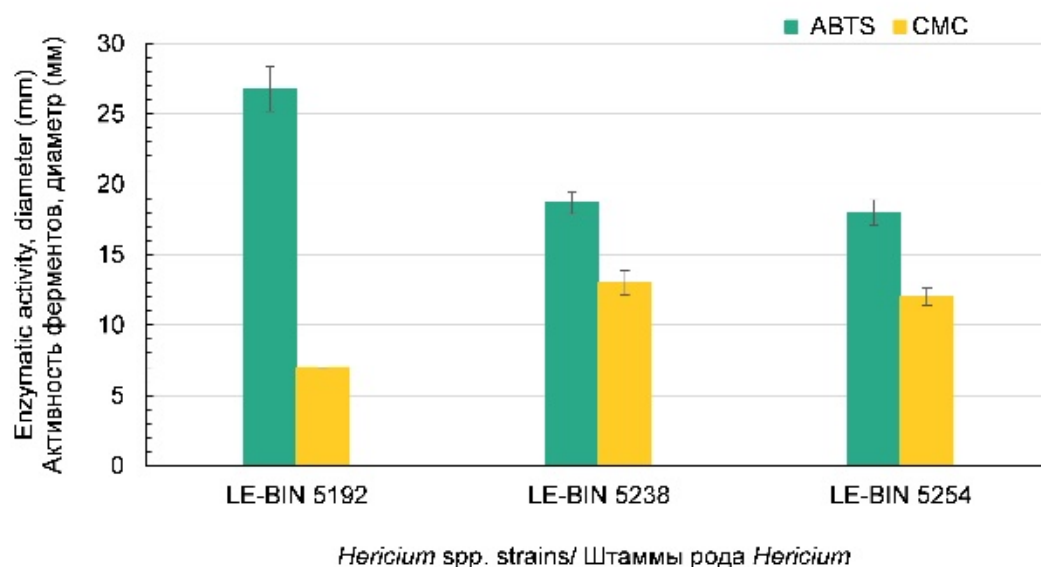


Figure 8. Extracellular enzymatic activities of the *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192, *H. coralloides* LE-BIN 5238, and *H. coralloides* LE-BIN 5254 strains: ABTS — ABTS-oxidizing activity on agar plates, CMC — cellulase activity on carboxymethyl cellulose agar plates

Рисунок 8. Активность внеклеточных ферментов у штаммов *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192, *H. coralloides* LE-BIN 5238 и *H. coralloides* LE-BIN 5254: ABTS — окислительная активность на агаризованной среде с ABTS, CMC — целлюлолитическая активность на агаризованной среде с карбоксиметилцеллюлозой

As an additional physiological and biochemical characteristic, the degradation potential of the *Hericium* strains was assessed using a test based on the decolourisation of the nutrient medium with added azo dye Azure B. No one studied strains showed any positive result in the Azure B decolourisation test. Meanwhile, the *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain was found to be capable of primordia formation (Fig. 9) when the mycelium was cultured for three months on the medium containing Azure B. The primordia of *H. cirrhatum* were odourless, 2–5 cm in diameter, characterised by a felt-like, white- and yellow-coloured surface of pilei, which were fused at the elongated base, and a hymenophore with whitish-cream spines.

DISCUSSION

The species *Hericium cirrhatum* has been revealed from two different localities in the “Delta Samura” site of the Samursky National Park. The fungus was growing on fallen trunks of *Carpinus betulus* and *Populus alba*. These trees were previously known as hosts of *H. cirrhatum* according to data from the European part of Russia, where this fungal species also grows on wood of *Alnus*, *Betula*, *Fagus*, *Quercus*, *Salix*, *Sorbus* [16; 18]. *H. cirrhatum* is proposed for consideration and assessment as globally rare species within the IUCN Global Fungal Red List initiative. The species is threatened by the loss of habitat due to logging of old forests with long continuity of native ecosystem and trees of various ages and their replacement by the same-aged monocultures. According to experts’ estimations, the decline in habitat quality is ongoing and expected to continue over the next 50 years. This allowed to categorised *H. cirrhatum* as “Near Threatened” (NT) under A2c+3c+4c criteria [45]. In Russia, this species is included in regional Red Data Books of Lipetsk Oblast [46], Udmurt Republic [47], Republic of Komi [48], Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra [49], Krasnoyarsk Krai [50], and Amur Oblast [51]. The main population-limiting factors in

each region are following: undisturbed habitat preferences of the species, irregular and rare fructification, logging of old-growth and successional forests, removal of coarse woody debris, as well as wildfires. In the Republic of Dagestan, the revealed habitats of *H. cirrhatum* may also be affected by anthropogenic impact, including the removal of large-sized dead wood and forest fires. We recommend monitoring the state of the discovered populations at least one time per year.

Hericium coralloides included in the Red Data Book of the Republic of Dagestan [29] with the category 3 (VU) – rare, vulnerable species – was previously known for the region from Tabasaransky District only. This saprobe species was growing on large fallen and dry standing trunks of *Fagus orientalis*. Our record of *H. coralloides* from Kazbekovsky District has also been collected on fallen trunk of beech. At the same time, this fungus is able to develop on dead wood of other deciduous trees. In particular, new findings from “Delta Samura” site of the Samursky National Park in Magaramkentsky District have been made on fallen trunks of *Carpinus betulus* and *Ulmus* sp. The species *Hericium coralloides* prefers old-growth broad-leaved forests with constant moisture level and the presence of large woody debris. The ecological features of earlier recorded populations of this xylotrophic fungus in the Republic of Dagestan correlates with newly observed habitats. Basidiomata of *H. coralloides* were found together with several widespread species of wood-inhabiting fungi on the same woody substrate unit. In Kazbekovsky District, *Auricularia mesenterica* (Dicks.) Pers. and *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst. were noted as neighboring species with *Hericium coralloides* jointly involved in wood decomposition of *Fagus orientalis* dead trunk. In Magaramkentsky District, *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers. accompanied with *Hericium coralloides* on the common fallen trunk of *Carpinus betulus*. Remarkably, all registered fungal species growing together with *Hericium coralloides* belong to white-rot fungi.



Figure 9. The teleomorph formation by the *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 strain on agarized medium, containing the polyphenol dye Azure B. Scale bar – 1 cm

Рисунок 9. Образование телеоморфы штаммом *Hericium cirrhatum* LE-BIN 5192 на агаризованной питательной среде, содержащей полифенольный краситель Азур Б. Масштабная линейка – 1 см

The strains studied *in vitro* were characterised by a slow growth rate, typical of *Hericium* representatives [52; 53; 54]. The *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain showed the slowest growth rate among the pure cultures tested. The MEA proved to be the most suitable for the cultivation of this strain. Strains of *H. coralloides* LE-BIN 5238 and *H. coralloides* LE-BIN 5254 exhibited some variability in growth parameters when cultured on different nutrient media. The growth rate dynamics of both *H. coralloides* strains when grown on BWA and MEA were similar; the stable mycelial growth was observed during the initial stages of cultivation, but from 15–25 days (depending on the strain), a complete cessation of mycelial growth was observed. Both strains demonstrated the fastest growth and the ability to completely colonise a Petri dish (90 mm in diameter) when grown on PDA, which does not correspond to some literature data. Thus, Gonkhom et al. indicated that MEA supplemented with yeast extract was the best suited for the cultivation of *H. coralloides*

mycelium [55]. According to Nguyen et al., PDA supplemented with yeast extract was optimal for the growth of *H. erinaceus* mycelium [56]. The results obtained in our study can likely be explained by the fact that the optimal culture media and nutrient requirements for mycelial growth vary depending on the specific strains of *Hericium* spp.

The macromorphological colony characteristics of all three strains exhibited considerable variability during growth on the test media. The texture of *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 colonies varied from feathery on BWA to mealy-feathery on MEA and flaky-feathery on PDA. The mycelial mat of *H. coralloides* LE-BIN 5238 and *H. coralloides* LE-BIN 5254 was characterised by a flaky-feathery texture on BWA to mealy-feathery on MEA and mealy-flaky on PDA. Colony colour ranged from white (on BWA for *H. coralloides* LE-BIN 5238) to cream and pale beige (on PDA for *H. coralloides* LE-BIN 5254). The colony outline varied from smooth (on BWA for *H. coralloides*

LE-BIN 5254) to wavy and highly irregular (on MEA for *H. coralloides* LE-BIN 5238). It should be noted that the cultivation of *H. coralloides* LE-BIN 5238 on all the media studied led to darkening of the reverse side in the later stages of cultivation. Whereas prolonged cultivation of *H. coralloides* LE-BIN 5254 did not result in darkening of the culture media.

The micromorphological characteristics of the strains studied, both *H. cirrhatum* and *H. coralloides*, remained largely stable. However, in *H. coralloides* strains, when cultured on MEA and PDA, some changes in hyphal structure were observed, manifested by the appearance of cystidia and more frequent occurrence of hyphal swellings than when grown on BWA. It is also worth noting the loss of medallion-shaped clamps and, in general, a lower frequency of clamps in the mycelium of strains grown on BWA compared to MEA and PDA.

It is known that the efficiency of the wood biodegradation process by white-rot basidiomycetes depends on the activity of the ligninolytic complex enzymes. The enzymes responsible for the modification and subsequent degradation of lignin are primarily lignin peroxidases (LiP; EC 1.11.1.14), which catalyse the oxidation of both phenolic and non-phenolic compounds, as well as manganese peroxidases (MnP; EC 1.11.1.13) and laccases (Lac; EC 1.10.3.2), which oxidise phenolic compounds [57]. The *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain exhibited high levels of oxidoreductase production and low levels of cellulases, which is consistent with the literature data for *Hericium erinaceus*. Furthermore, based on the analysis of transcripts of putative polyphenol oxidases, Van La *et al.* identified at least six different laccase genes expressed at different growth stages of *H. erinaceus*, which may be involved in the enzymatic oxidation of phenolic compounds [58].

The assessment of the ligninase activity of the *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 strain revealed the appearance of a red-purple ABTS adduct. It was known that the formation of stable tyrosine-ABTS adducts as a result of tyrosyl radical reactions. Kut *et al.* established that the presence of pre-formed ABTS • led to a transformation of blue laccase obtained from ascomycete fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary to a dark violet colour [59]. Wood-decaying basidiomycetes, in addition to *n*-diphenol oxidase (laccase; EC 1.10.3.2), can also produce *o*-diphenol oxidase (tyrosinase; EC 1.14.18.1). Tyrosinase is a copper-containing oxidase with mixed functions, capable of various oxidative modifications, including one-electron oxidation [60]. Moreover, tyrosinase is associated with the formation of brown pigments (melanins) in fungi. Thus, the origin of a purplish-red colour in the inoculum of *H. cirrhatum* LE-BIN 5192 may indicate the production of highly active tyrosinase by this strain.

Both strains of *H. coralloides* demonstrated moderate oxidative enzyme activity, which is consistent with data we previously obtained for the *H. coralloides* LE-BIN 3594 strain, isolated from the “Bryanskiy les” State Biosphere Nature Reserve (Bryansk Oblast, European part of Russia) [54]. Simultaneously, Popa *et al.* showed that a liquid potato-dextrose medium was optimal for the production of highly active laccase in *H. coralloides* [61]. The medium level of ligninase activity in *H. coralloides* LE-BIN 5238 and *H. coralloides* LE-BIN 5254 strains investigated in our study is probably related to the choice of MEA as the culture medium for the inoculum.

Extracellular enzymes produced by basidiomycetes play an important role not only in the depolymerisation of natural lignocellulosic substrates, but also possess the ability to decolourise resistant dyes and degrade non-polymeric compounds, such as polyhydroxyaromatic hydrocarbons, nitrotoluene and pentachlorophenol under *in vitro* conditions [62]. Despite the fact that our studied strains proved no capable of decolourising Azure B in the medium, there known the ability of *H. coralloides* to bleach azo dyes. Earlier, Nicolcioiu *et al.* found that a 70 % ethanol extract containing oxidative enzymes (lignin peroxidase, manganese peroxidase and laccase) from *H. coralloides* was capable of depigmenting the azo dye Bemacid Rot N-TF [63]. The process of dye decolourisation by fungi is highly complex and is associated with the presence of extracellular peroxidases in basidiomycetes, particularly manganese peroxidases [64]. Furthermore, the decolourisation process involves not only individual enzymes and multi-enzyme complexes, but also a multitude of other factors (various mediators, radicals, hydrogen peroxide, etc.) [57]. Thus, the inability of the studied strains to decolourise Azure B may be due to MnP genes being in an inactive state or the incompleteness of bleaching enzyme set. Furthermore, the toxic azo dye Azure B in the culture medium could be present in too high concentration that have inhibited mycelial growth and the production of enzymes responsible for the degradation of the dye in *Hericium* strains.

CONCLUSION

The study has yielded new data on the species richness, ecological features and cultural characteristics of the genus *Hericium* within the Republic of Dagestan. *Hericium cirrhatum* has been recorded for the first time in the North-Eastern Caucasus, whilst new localities have been identified for *H. coralloides*, a protected species in the region. Both species are preserved as herbarium specimens in the Mycological herbarium of the Komarov Botanical Institute RAS (LE) and at the mycelial stage in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection (LE-BIN). The isolated pure cultures enable the preservation of the gene pool of rare and little-known species *in vitro*. The data obtained can be used to characterise the physiological traits of strains having various geographical and ecological origins, and may be utilised in conservation practice for the reintroduction of xylotrophic species of basidiomycetes.

ACKNOWLEDGMENT

1. The authors are grateful to Dr. A.B. Ismailov (Mountain Botanical Garden, DFRC RAS, Makhachkala) and to the administration of the “Dagestansky” State Nature Reserve for help in the organisation of field studies.
2. This research was carried out within the framework of the institutional research project of the Komarov Botanical Institute RAS (project no. 124013100829-3, “Taxonomic, ecological and structural-functional diversity of fungi and fungus-like protists”) using the equipment of the Core Facility Centre “Cell and Molecular Technologies in Plant Science” at the Komarov Botanical Institute, RAS (St. Petersburg, Russia).

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Авторы благодарят к.б.н. А.Б. Исмаилова (Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала)

и администрацию Государственного природного заповедника «Дагестанский» за помощь в организации полевых исследований.

2. Работа выполнена в рамках государственного задания БИН РАН по теме №124013100829-3 «Таксономическое, экологическое и структурно-функциональное разнообразие грибов и грибообразных протистов» с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Клеточные и молекулярные технологии изучения растений и грибов» Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург).

REFERENCES

- Boddy L., Crockatt M.E., Ainsworth A.M. Ecology of *Hericium cirrhatum*, *H. coralloides* and *H. erinaceus* in the UK. *Fungal ecology*, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 163–173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2010.10.001>
- Kostanda E., Musa S., Pereman I. Unveiling the chemical composition and biofunctionality of *Hericium* spp. fungi: a comprehensive overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, vol. 25, no. 11, art. 5949. <https://doi.org/10.3390/ijms25115949>
- Koga J., Thorn R.G., Langer E. A multilocus phylogeny of *Hericium* (Hericaceae, Russulales). *Persoonia*, 2025, vol. 55, pp. 141–157. <https://doi.org/10.3114/persoonia.2025.55.04>
- Contato A.G., Conte-Junior C.A. Lion's Mane Mushroom (*Hericium erinaceus*): a neuroprotective fungus with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial potential — a narrative review. *Nutrients*, 2025, vol. 17, no. 8, art. 1307. <https://doi.org/10.3390/nu17081307>
- Bizjak M.Č., Pražnikar Z.J., Kenig S., Hladnik M., Bandelj D., Gregori A., Kranjc K. Effect of erinacine A-enriched *Hericium erinaceus* supplementation on cognition: a randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study. *Journal of Functional Foods*, 2024, vol. 115, art. 106120. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106120>
- Narmuratova Z., Bisko N., Mustafin K., Al-Maali G., Kerner A., Bondaruk S., Suleimenova Zh., Kalieva A., Akhmetsadykov N., Zhakipbekova A., Lomberg M. Screening of medicinal mushroom strains with antimicrobial activity and polysaccharides production. *Turkish Journal of Biochemistry*, 2023, vol. 48, no. 3, pp. 290–297. <https://doi.org/10.1515/tjb-2022-0235>
- Menon A., Jalal A., Arshad Z., Nawaz F.A., Kashyap R. Benefits, side effects, and uses of *Hericium erinaceus* as a supplement: a systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 2025, vol. 12, art. 1641246. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1641246>
- Tabibzadeh F., Alvandi H., Hatamian-Zarmi A., Kalitukha L., Hamed A., Ebrahimi-Hosseinzadeh B. Antioxidant activity and cytotoxicity of exopolysaccharide from mushroom *Hericium coralloides* in submerged fermentation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2024, vol. 14, pp. 26953–26963. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03386-0>
- Williams L.M., Berthon B.S., Stoodley I.L., Williams E.J., Wood L.G. Medicinal mushroom extracts from *Hericium coralloides* and *Trametes versicolor* exert differential immunomodulatory effects on immune cells from older adults *in vitro*. *Nutrients*, 2023, vol. 15, no. 9, art. 2227. <https://doi.org/10.3390/nu15092227>
- Zhang J., Zhang J., Zhao L., Shui X., Wang L.A., Wu Y. Antioxidant and anti-aging activities of ethyl acetate extract of the coral tooth mushroom, *Hericium coralloides* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2019, vol. 21, no. 6, pp. 561–570. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2019030840>
- Li Y., Cai J., Li X., Hu X., Zhang J., Wu X., Fu J. Domestication cultivation and nutritional analysis of *Hericium coralloides*. *Journal of Fungi*, 2025, vol. 11, no. 11, art. 785. <https://doi.org/10.3390/jof11110785>
- Guan Y., Shi D.Y., Wang S.M., Sun Y.Y., Song W.Y., Liu S.Y., Wang C.Y. *Hericium coralloides* ameliorates Alzheimer's disease pathologies and cognitive disorders by activating Nrf2 signaling and regulating gut microbiota. *Nutrients*, 2023, vol. 15, no. 17, art. 3799. <https://doi.org/10.3390/nu15173799>
- Guan Y., Wang C.Y., Li L.Z., Dai X.J., Liu Y., Hsiang T., Liu S.Y., Wang D. Structural characterization of *Hericium coralloides* polysaccharide and its neuroprotective function in Alzheimer's disease. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, vol. 277, part 1, art. 133865. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133865>
- Song J.L., Xin Y., Zhou Z.F., Kang X.P., Zhang Y., Yuan W.D., Yu B. Biological characteristics and domestication of a wild *Hericium coralloides*. *Horticulturae*, 2025, vol. 11, no. 8, art. 917. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11080917>
- Iwade I. Studies on Japanese fungi. (I) Several new and rare species of fungi. *Bulletin of the Tokyo Imperial University Forests*, 1944, vol. 33, pp. 49–64.
- Nikolaeva T.L. *Flora sporovykh rastenii SSSR. T. VI. Griby (2): Ezhovikovyye griby* [Flora of spore plants of the USSR. Vol. VI. Fungi (2): Hedgehog mushrooms]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1961, 435 p. (In Russian)
- Bukharova N.V., Zmitrovich I.V., Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Volobuev S.V. Aphylloroid fungi (Basidiomycota) of the Ussuriysky nature reserve (Primorye Territory, Russian Far East). *Biota and environment of natural areas*, 2021, no. 3, pp. 35–55. (In Russian) https://doi.org/10.37102/2782-1978_2021_3_3
- Bol'shakov S.Yu., Volobuev S.V., Ezhov O.N., Palomozhnykh E.A., Potapov K.O. *Afilloroidnye griby evropeiskoi chasti Rossii: annotirovannyi spisok vidov* [Aphylloroid fungi of the European part of Russia: a checklist]. Saint Petersburg, ETU Publ., 2022, 578 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii. Rasteniya i griby* [Red Data Book of the Russian Federation. Plants and Fungi]. Moscow, All-Russian Research Institute "Ecology", 2nd official ed., 2024, 944 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Karachaevo-Cherkesskoi Respubliki* [Red Book of the Karachay-Cherkess Republic]. Cherkessk, Nartizdat Publ., 2024, 400 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraya. Rasteniya i griby* [Red Data Book of Krasnodar Krai. Plants and Fungi]. Krasnodar, 2017, 3rd ed., 850 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Respubliki Adygeya: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoventiya vidy zhivotnykh, rastenii i gribov. V 2 chastyakh. Chast' 1. Rasteniya i griby* [The Red Data Book of the Republic of Adygea: Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi. In 2 parts. Part 1. Plants and Fungi]. Voronezh, OOO «Slavyanskaya» Publ., 3rd ed., 2023, 392 p. (In Russian)
- Rebriev Yu.A., Svetasheva T.Yu., Shiryaev A.G., Zmitrovich I.V. *Bazidial'nye makromitsety aridnykh territorii yugo-zapada Rossii* [Basidial Macromycetes of Arid Territories of Southwestern Russia]. Rostov-On-Don, YUNTS RAS Publ., 2024, 232 p. (In Russian)
- Chernetskaya Z.S. Materialy k izucheniyu flory gribov Severnoi Osetii [Materials for the Study of the Fungal Flora of North Ossetia]. In: *Trudy Severo-Kavkazskoi assotsiatsii nauchno-issledovatel'skikh institutov* [Transactions of the North Caucasian Association of Research Institutes]. 1929, vol. 52, no. 3, pp. 1–116. (In Russian)
- Krasnaya kniga Stavropol'skogo kraya. Tom 1. Rasteniya* [The Red Data Book of Stavropol Krai. Vol. 1. Plants]. Stavropol', 2013, 383 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Kabardino-Balkarskoi Respublik* [Red Data Book of the Kabardino-Balkarian Republic]. Nal'chik, Pechatnyi dvor Publ., 2nd ed., 2018, 494 p. (In Russian)
- Krasnaya kniga Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya* [Red Data Book of the Republic of North Ossetia-Alania]. Vladikavkaz, Pero i Kist' Publ., 2022, 356 p. (In Russian)

28. *Krasnaya kniga Chechenskoi Respubliki* [Red Data Book of the Chechen Republic]. Rostov-On-Don, 2nd ed., 2020, 480 p. (In Russian)
29. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Data Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Dzhamaludinov Publ., 2020, 800 p. (In Russian)
30. Volobuev S.V. Aphylloroid fungi of the “Samurskiy” National Park (Dagestan). *Mycology and Phytopathology*, 2020, vol. 54, no. 4, pp. 235–243. <https://doi.org/10.31857/S002636482004011X>
31. Volobuev S.V. *Antrodia hyalina* (Polyporales, Basidiomycota), new species to the Caucasus. *Botanical Journal of the North Caucasus*, 2021, no. 1, pp. 28–34. https://doi.org/10.33580/24092444_2021_1_28
32. Volobuev S.V., Shakhova N.V. Monitoring of protected fungal species in Samurskiy national park. *Botanical Journal of the North Caucasus*, 2022, no. 2, pp. 7–13. https://doi.org/10.33580/24092444_2022_2_7
33. Ismailov A.B., Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Alpha diversity of lichenized and aphylloroid fungi in two 1ha forest plots in the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia). *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 51–63. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-51-63>
34. Volobuev S.V. *Sidera tibetica* (Hymenochaetales, Basidiomycota), a new species to Russia. *Mycology and Phytopathology*, 2023, vol. 57, no. 6, pp. 394–400. <https://doi.org/10.31857/S0026364823060156>
35. Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu. Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia). *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 219–229. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-21>
36. Volobuev S.V., Ismailov A.B. DNA barcoding of xylobiont species of fungi and lichens from the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia): first results. *Mycology and Phytopathology*, 2024, vol. 58, no. 6, pp. 496–500. <https://doi.org/10.31857/S0026364824060089>
37. Bernicchia A., Gorjón S.P. *Corticaceae s. l. Fungi Europaei*. Vol. 12. Alasio, Edizioni Sandusso, 2010, 1008 p.
38. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Culture characteristics and enzymatic activity of *Sarcodontia crocea* (Basidiomycota) strains collected from the Central Russian Upland. *Mycology and Phytopathology*, 2020, vol. 54, no. 6, pp. 446–451. <https://doi.org/10.31857/S0026364820060100>
39. Stalpers J.A. Identification of wood-inhabiting fungi in pure culture. *Studies in mycology*, 1978, vol. 16, pp. 1–248.
40. Volobuev S.V., Shakhova N.V. *In vitro* assessment of ligninolytic and cellulolytic activities for 14 Agaricomycetes species, new to Bryansk Oblast (European Russia). *Tomsk State University Journal of Biology*, 2023, no. 63, pp. 59–76. <https://doi.org/10.17223/19988591/63/4>
41. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Senik S.V., Shakhova N.V., Belova N.V. The conservation and study of macromycetes in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection — their taxonomical diversity and biotechnological prospects. *Journal of Fungi*, 2023, vol. 9, no. 12, art. 1196. <https://doi.org/10.3390/jof9121196>
42. Volobuev S., Shakhova N. Towards the discovery of active lignocellulolytic enzyme producers: a screening study of xylotrophic macrofungi from the Central Russian Upland. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 2022, vol. 46, no. 1, pp. 91–100. <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01245-7>
43. Shakhova N., Volobuev S. Cultural and enzymatic activity studies of a pathogenic wood-decaying fungus *Fomitiporia hippophaeicola* (Hymenochaetales, Basidiomycota), recollected in the Eastern Caucasus. *Archives of Microbiology*, 2023, vol. 205, no. 6, art. 249. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03587-9>
44. Kut K., Stefaniuk I., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. Formation of a purple product upon the reaction of ABTS radicals with proteins. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no. 10, art. 8912. <https://doi.org/10.3390/ijms24108912>
45. *Hericium cirrhatum* (Pers.) Nikol. // The IUCN Global Fungal Red List initiative. Available at: https://redlist.info/iucn/species_view/298405 (accessed 16.11.2025).
46. *Krasnaya kniga Lipetskoi oblasti. Tom 1: Rasteniya, griby, lishainiki* [The Red Data Book of Lipetsk Oblast. Vol. 1: Plants, Fungi, and Lichens]. Voronezh, Voronezh Regional Publ., 2024, 400 p. (In Russian)
47. *Krasnaya kniga Udmurtskoi Respubliki. Zhivotnye, rasteniya, lishainiki, griby* [The Red Data Book of the Udmurt Republic. Animals, Plants, Lichens and Fungi]. Belgorod, Konstanta Publ., 3rd ed., rev. and enl., 2023, 500 p. (In Russian)
48. *Krasnaya kniga Respubliki Komi* [The Red Data Book of the Komi Republic]. Syktyvkar, 3rd ed., 2019, 768 p. (In Russian)
49. *Krasnaya kniga Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry: zhivotnye, rasteniya, griby* [The Red Data Book of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra: Animals, Plants, and Fungi]. Kemerovo, Vektor-print Publ., 3rd ed., rev. and enl., 2024, 520 p. (In Russian)
50. *Krasnaya kniga Krasnoyarskogo kraja. V. 2 Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy rastenii i gibrov* [The Red Data Book of Krasnoyarsk Krai. Vol. 2. Rare and Endangered Species of Plants and Fungi]. Krasnoyarsk, 3rd ed., rev. and exp., 2022, 762 p. (In Russian)
51. *Krasnaya kniga Amurskoi oblasti: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rastenii i gibrov* [The Red Data Book of Amur Oblast: Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi]. Blagoveshchensk, Far Eastern State Agrarian University Publ., 2nd ed., rev., exp., 2020, 499 p. (In Russian)
52. Crockatt M.E., Pierce G.I., Camden R.A., Newell P.M., Boddy L. Homokaryons are more combative than heterokaryons of *Hericium coralloides*. *Fungal Ecology*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2008.01.001>
53. Julian A.V., Wright C.A., Reyes R.G. Prelude to successful cultivation of *Hericium* in the Philippines: understanding its mycelial growth response on different culture media and its antibacterial activity. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 2018, vol. 7, no. 2, pp. 1–7.
54. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Revealing new active and biotechnologically perspective producers of oxidative and cellulolytic enzymes among pure cultures of xylotrophic Agaricomycetes from the Southern Non-Chernozem zone of the European part of Russia. *Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology)*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 113–119. <https://doi.org/10.5943/cream/10/1/12>
55. Gonkhom D., Luangharn T., Hyde K.D., Stadler M., Thongklang N. Optimal conditions for mycelial growth of medicinal mushrooms belonging to the genus *Hericium*. *Mycological Progress*, 2022, vol. 21, art. 82. <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01829-6>
56. Nguyen B.T., Ngo N., Le V., Nguyen L., Tran A., Nguyen L.H. Identification of optimal culture conditions for mycelial growth and cultivation of monkey head mushrooms (*Hericium erinaceus* (Bull.: fr.) Pers.). *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 117–126. <https://doi.org/10.31817/vjas.2018.1.2.01>
57. Eichlerová I., Baldrian P. Ligninolytic enzyme production and decolorization capacity of synthetic dyes by saprotrophic white rot, brown rot, and litter decomposing basidiomycetes. *Journal of Fungi*, 2020, vol. 6, no. 4, art. 301. <https://doi.org/10.3390/jof6040301>
58. Van La T., Sung B.H., Kim S. Biocatalytic characterization of *Hericium erinaceus* laccase isoenzymes for the oxidation of lignin derivative substrates. *International Journal of Biological*

- Macromolecules*, 2023, vol. 241, art.124658.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124658>
59. Kut K., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. Denaturation and digestion increase the antioxidant capacity of proteins. *Processes*, 2023, vol. 11, no. 5, art. 1362.
<https://doi.org/10.3390/pr11051362>
60. Houée-Lévin C., Bobrowski K., Horakova L., Karademir B., Schöneich C., Davies M.J., Spickett C.M. Exploring oxidative modifications of tyrosine: an update on mechanisms of formation, advances in analysis and biological consequences. *Free Radical Research*, 2015, vol. 49, no. 4, pp. 347–373.
<https://doi.org/10.3109/10715762.2015.1007968>
61. Popa G., Bubuianu C., Fidler G., Cornea C.P. Effects of culture media on laccase producing white-rot fungi. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 2015, vol. XIX, pp. 252–256.
62. Rao R.G., Ravichandran A., Kandalam G., Kumar S.A., Swaraj S., Sridhar M. Screening of wild basidiomycetes and evaluation of the biodegradation potential of dyes and lignin by manganese peroxidases. *Bio Resources*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 6558–6576.
63. Nicolciuiu M.B., Popa G., Matei F. Biochemical investigations of different mushroom species for their biotechnological potential. *Proceedings of Conference “Agriculture for Life Life for Agriculture”*. Vol. 1. 2018, pp. 562–567.
64. Gulzar A.B.M., Vandana U.K., Paul P., Mazumder P.B. The role of mushrooms in biodegradation and decolorization of dyes. *An Introduction to Mushroom. Chapter 6*, 2020, pp. 93–115.
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86908>
- БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**
- Boddy L., Crockatt M.E., Ainsworth A.M. Ecology of *Hericium cirrhatum*, *H. coralloides* and *H. erinaceus* in the UK // *Fungal ecology*. 2011. V. 4. N 2. P. 163–173.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2010.10.001>
 - Kostanda E., Musa S., Pereman I. Unveiling the chemical composition and biofunctionality of *Hericium* spp. fungi: a comprehensive overview // *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. V. 25. N 11. Art. 5949.
<https://doi.org/10.3390/ijms25115949>
 - Koga J., Thorn R.G., Langer E. A multilocus phylogeny of *Hericium* (Hericaceae, Russulales) // *Persoonia*. 2025. V. 55. P. 141–157. <https://doi.org/10.3114/persoonia.2025.55.04>
 - Contato A.G., Conte-Junior C.A. Lion’s Mane Mushroom (*Hericium erinaceus*): a neuroprotective fungus with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial potential — a narrative review // *Nutrients*. 2025. V. 17. N 8. Art. 1307.
<https://doi.org/10.3390/nu17081307>
 - Bizjak M.Č., Pražnikar Z.J., Kenig S., Hladnik M., Bandelj D., Gregori A., Kranjc K. Effect of erinacine A-enriched *Hericium erinaceus* supplementation on cognition: a randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study // *Journal of Functional Foods*. 2024. V. 115. Art. 106120.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106120>
 - Narmuratova Z., Bisko N., Mustafin K., Al-Maali G., Kerner A., Bondaruk S., Suleimenova Zh., Kalieva A., Akhmetsadykov N., Zhakipbekova A., Lomberg M. Screening of medicinal mushroom strains with antimicrobial activity and polysaccharides production // *Turkish Journal of Biochemistry*. 2023. V. 48. N 3. P. 290–297. <https://doi.org/10.1515/tjb-2022-0235>
 - Menon A., Jalal A., Arshad Z., Nawaz F.A., Kashyap R. Benefits, side effects, and uses of *Hericium erinaceus* as a supplement: a systematic review // *Frontiers in Nutrition*. 2025. V. 12. Art. 1641246. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1641246>
 - Tabibzadeh F., Alvandi H., Hatamian-Zarmi A., Kalitukha L., Hamed A., Ebrahimi-Hosseinzadeh B. Antioxidant activity and cytotoxicity of exopolysaccharide from mushroom *Hericium coralloides* in submerged fermentation // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024. V. 14. P. 26953–26963.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03386-0>
 - Williams L.M., Berthon B.S., Stoodley I.L., Williams E.J., Wood L.G. Medicinal mushroom extracts from *Hericium coralloides* and *Trametes versicolor* exert differential immunomodulatory effects on immune cells from older adults *in vitro* // *Nutrients*. 2023. V. 15. N 9. Art. 2227. <https://doi.org/10.3390/nu15092227>
 - Zhang J., Zhang J., Zhao L., Shui X., Wang L.A., Wu Y. Antioxidant and anti-aging activities of ethyl acetate extract of the coral tooth mushroom, *Hericium coralloides* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2019. V. 21. N 6. pp. 561–570.
<https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2019030840>
 - Li Y., Cai J., Li X., Hu X., Zhang J., Wu X., Fu J. Domestication cultivation and nutritional analysis of *Hericium coralloides* // *Journal of Fungi*. 2025. V. 11. N 11. Art. 785.
<https://doi.org/10.3390/jof11110785>
 - Guan Y., Shi D.Y., Wang S.M., Sun Y.Y., Song W.Y., Liu S.Y., Wang C.Y. *Hericium coralloides* ameliorates Alzheimer’s disease pathologies and cognitive disorders by activating Nrf2 signaling and regulating gut microbiota // *Nutrients*. 2023. V. 15. N 17. Art. 3799. <https://doi.org/10.3390/nu15173799>
 - Guan Y., Wang C.Y., Li L.Z., Dai X.J., Liu Y., Hsiang T., Liu S.Y., Wang D. Structural characterization of *Hericium coralloides* polysaccharide and its neuroprotective function in Alzheimer’s disease // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. V. 277. Part 1. Art. 133865.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133865>
 - Song J.L., Xin Y., Zhou Z.F., Kang X.P., Zhang Y., Yuan W.D., Yu B. Biological characteristics and domestication of a wild *Hericium coralloides* // *Horticulturae*. 2025. V. 11. N 8. Art. 917.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae11080917>
 - Iwade I. Studies on Japanese fungi. (I) Several new and rare species of fungi // *Bulletin of the Tokyo Imperial University Forests*. 1944. V. 33. P. 49–64.
 - Николаева Т.Л. Флора споровых растений СССР. Т. VI. Грибы (2): Ежовиковые грибы. Москва – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1961. 435 с.
 - Бухарова Н.В., Змитрович И.В., Псурцева Н.В., Кияшко А.А., Волобуев С.В. Афиллофоровые грибы (Basidiomycota) заповедника «Уссурийский» (Приморский край, Дальний Восток России) // *Биота и среда природных территорий*. 2021. N 3. С. 35–55. https://doi.org/10.37102/2782-1978_2021_3_3
 - Большаков С.Ю., Волобуев С.В., Ежов О.Н., Паломоных Е.А., Потапов К.О. Афиллофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. 578 с.
 - Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. 2-е офиц. изд. Москва: ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.
 - Красная книга Карачаево-Черкесской Республики. Черкесск: Нартиздат, 2024. 400 с.
 - Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы. 3-е изд. Краснодар, 2017. 850 с.
 - Красная книга Республики Адыгея: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. В 2 частях. Часть 1. Растения и грибы. Издание третье. Воронеж: ООО «Славянская», 2023. 392 с.
 - Ребриев Ю.А., Светашева Т.Ю., Ширяев А.Г., Змитрович И.В. Базидиальные макромицеты аридных территорий юго-запада России. Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2024. 232 с.
 - Чернецкая З.С. Материалы к изучению флоры грибов Северной Осетии // *Труды Северо-Кавказской ассоциации научно-исследовательских институтов*. 1929. Т. 52. N 3. С. 1–116.
 - Красная книга Ставропольского края. Том 1. Растения. Ставрополь, 2013. 383 с.
 - Красная книга Кабардино-Балкарской Республики. Изд. 2-е. Нальчик: Печатный двор, 2018. 494 с.
 - Красная книга Республики Северная Осетия-Алания. Владикавказ: Перо и Кисть, 2022. 356 с.
 - Красная книга Чеченской Республики. 2-е изд. Ростов-на-Дону: Южный издательский дом, 2020. 480 с.

29. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
30. Volobuev S.V. Aphyllorhoid fungi of the "Samurskiy" National Park (Dagestan) // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 4. С. 235–243. <https://doi.org/10.31857/S002636482004011X>
31. Volobuev S.V. *Antrrodia hyalina* (Polyporales, Basidiomycota), new species to the Caucasus // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2021. N 1. С. 28–34. https://doi.org/10.33580/24092444_2021_1_28
32. Volobuev S.V., Shakhova N.V. Monitoring of protected fungal species in Samurskiy national park // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2022. N 2. С. 7–13. https://doi.org/10.33580/24092444_2022_2_7
33. Ismailov A.B., Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Alpha diversity of lichenized and aphyllorhoid fungi in two 1ha forest plots in the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 4. С. 51–63. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-51-63>
34. Volobuev S.V. *Sidera tibetica* (Hymenochaetales, Basidiomycota), a new species to Russia // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. N 6. С. 394–400. <https://doi.org/10.31857/S0026364823060156>
35. Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu. Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. N 3. С. 219–229. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-21>
36. Volobuev S.V., Ismailov A.B. DNA barcoding of xylobiont species of fungi and lichens from the Samurskiy National Park (Republic of Dagestan, Russia): first results // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. N 6. С. 496–500. <https://doi.org/10.31857/S0026364824060089>
37. Bernicchia A., Gorjón S.P. Corticiaceae s. l. Fungi Europaei. V. 12. Alassio, Edizioni Candusso, 2010, 1008 p.
38. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Culture characteristics and enzymatic activity of *Sarcodontia crocea* (Basidiomycota) strains collected from the Central Russian Upland // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 6. С. 446–451. <https://doi.org/10.31857/S0026364820060100>
39. Stalpers J.A. Identification of wood-inhabiting fungi in pure culture // Studies in mycology. 1978. V. 16. P. 1–248.
40. Volobuev S.V., Shakhova N.V. *In vitro* assessment of ligninolytic and cellulolytic activities for 14 Agaricomycetes species, new to Bryansk Oblast (European Russia) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2023. N 63. С. 59–76. <https://doi.org/10.17223/19988591/63/4>
41. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Senik S.V., Shakhova N.V., Belova N.V. The conservation and study of macromycetes in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection — their taxonomical diversity and biotechnological prospects // Journal of Fungi. 2023. V. 9. N 12. Art. 1196. <https://doi.org/10.3390/jof9121196>
42. Volobuev S., Shakhova N. Towards the discovery of active lignocellulolytic enzyme producers: a screening study of xylotrophic macrofungi from the Central Russian Upland // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science. 2022. V. 46. N 1. P. 91–100. <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01245-7>
43. Shakhova N., Volobuev S. Cultural and enzymatic activity studies of a pathogenic wood-decaying fungus *Fomitiporia hippophaeicola* (Hymenochaetales, Basidiomycota), recollected in the Eastern Caucasus // Archives of Microbiology. 2023. V. 205. N 6. Art. 249. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03587-9>
44. Kut K., Stefaniuk I., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. Formation of a purple product upon the reaction of ABTS radicals with proteins // International Journal of Molecular Sciences. 2023. V. 24. N 10. Art. 8912. <https://doi.org/10.3390/ijms24108912>
45. *Hericium cirrhatum* (Pers.) Nikol. // The IUCN Global Fungal Red List initiative. URL: https://redlist.info/iucn/species_view/298405 (дата обращения: 16.11.2025)
46. Красная книга Липецкой области. Том 1: Растения, грибы, лишайники. Воронеж: АО «Воронежская областная типография», 2024. 400 с.
47. Красная книга Удмуртской Республики. Животные, растения, лишайники, грибы. Изд. 3-е, доп., перераб. Белгород: Константа, 2023. 500 с.
48. Красная книга Республики Коми. 3-е изд. Сыктывкар, 2019. 768 с.
49. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы. Изд. 3-е, перераб. и доп. / отв. ред. В. П. Стариков. Кемерово: ООО «Вектор-принт», 2024. 520 с.
50. Красная книга Красноярского края. В 2 т. Т. 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. 3-изд., перераб. и доп. Красноярск, 2022. 762 с.
51. Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2-е издание, испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. 499 с.
52. Crockatt M.E., Pierce G.I., Camden R.A., Newell P.M., Boddy L. Homokaryons are more combative than heterokaryons of *Hericium coralloides* // Fungal Ecology. 2008. V. 1. N 1. P. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2008.01.001>
53. Julian A.V., Wright C.A., Reyes R.G. Prelude to successful cultivation of *Hericium* in the Philippines: understanding its mycelial growth response on different culture media and its antibacterial activity // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. 2018. V. 7. N 2. P. 1–7.
54. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Revealing new active and biotechnologically perspective producers of oxidative and cellulolytic enzymes among pure cultures of xylotrophic Agaricomycetes from the Southern Non-Chernozem zone of the European part of Russia // Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology). 2020. V. 10. N 1. P. 113–119. <https://doi.org/10.5943/cream/10/1/12>
55. Gonkhom D., Luangharn T., Hyde K.D., Stadler M., Thongklang N. Optimal conditions for mycelial growth of medicinal mushrooms belonging to the genus *Hericium* // Mycological Progress. 2022. V. 21. Art. 82. <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01829-6>
56. Nguyen B.T., Ngo N., Le V., Nguyen L., Tran A., Nguyen L.H. Identification of optimal culture conditions for mycelial growth and cultivation of monkey head mushrooms (*Hericium erinaceus* (Bull. fr.) Pers) // Vietnam Journal of Agricultural Sciences. 2018. V. 1. N 2. P. 117–126. <https://doi.org/10.31817/vjas.2018.1.2.01>
57. Eichlerová I., Baldrian P. Ligninolytic enzyme production and decolorization capacity of synthetic dyes by saprotrophic white rot, brown rot, and litter decomposing basidiomycetes // Journal of Fungi. 2020. V. 6. N 4. Art. 301. <https://doi.org/10.3390/jof6040301>
58. Van La T., Sung B.H., Kim S. Biocatalytic characterization of *Hericium erinaceus* laccase isoenzymes for the oxidation of lignin derivative substrates // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. V. 241. Art.124658. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124658>
59. Kut K., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. Denaturation and digestion increase the antioxidant capacity of proteins // Processes. 2023. V. 11. N 5. Art. 1362. <https://doi.org/10.3390/pr11051362>
60. Houée-Lévin C., Bobrowski K., Horakova L., Karademir B., Schöneich C., Davies M.J., Spickett C.M. Exploring oxidative modifications of tyrosine: an update on mechanisms of formation, advances in analysis and biological consequences // Free Radical Research. 2015. V. 49. N 4. P. 347–373. <https://doi.org/10.3109/10715762.2015.1007968>

61. Popa G., Bubuianu C., Fidler G., Cornea C.P. Effects of culture media on laccase producing white-rot fungi // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2015. V. XIX. P. 252–256.

62. Rao R.G., Ravichandran A., Kandalam G., Kumar S.A., Swaraj S., Sridhar M. Screening of wild basidiomycetes and evaluation of the biodegradation potential of dyes and lignin by manganese peroxidases // Bio Resources. 2019. V. 14. N 3. P. 6558–6576.

63. Nicolciou M.B., Popa G., Matei F. Biochemical investigations of different mushroom species for their biotechnological potential // Proceedings of Conference “Agriculture for Life Life for Agriculture”. V. 1. 2018. P. 562–567.

64. Gulzar A.B.M., Vandana U.K., Paul P., Mazumder P.B. The role of mushrooms in biodegradation and decolorization of dyes // An Introduction to Mushroom. Chapter 6. 2020. P. 93–115. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86908>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey V. Volobuev undertook study conceptualization, carried out microscopic and molecular studies, data analysis and visualization, collected voucher specimens, wrote the original draft and participated in the manuscript editing. Yuliya Yu. Ivanushenko collected voucher specimens and participated in the manuscript editing. Nataliya V. Shakhova carried out cultural, molecular and biochemical studies, data analysis, introduced fungal pure cultures, wrote the original draft and participated in the manuscript editing. All authors are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Волобуев разработал концепцию исследования, провел микроскопические и молекулярные исследования, анализ и визуализацию данных, собрал ваучерные образцы, написал первоначальный вариант и участвовал в редактировании рукописи. Юлия Ю. Иванушенко собрала ваучерные образцы и участвовала в редактировании рукописи. Наталия В. Шахова провела культуральные, молекулярные и биохимические исследования, анализ данных, получила чистые культуры грибов, написала первоначальный вариант рукописи и участвовала в редактировании. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Sergey V. Volobuev / Сергей В. Волобуев <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>
Yuliya Yu. Ivanushenko / Юлия Ю. Иванушенко <https://orcid.org/0000-0003-0197-4176>
Nataliya V. Shakhova / Наталия В. Шахова <https://orcid.org/0000-0002-8733-2168>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 796.5.004

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-8



Цифровизация туристических агентств как инструмент развития экологического туризма в Республике Дагестан

Раисат М. Рабаданова, Эльмира А. Шамхалова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Раисат М. Рабаданова, кандидат экономических наук, доцент, кафедра информационных систем и технологий программирования, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дзержинского 12/1.

Тел. +79286809682

Email raisat2004@mail.ruORCID <https://orcid.org/0009-0003-0333-0304>**Формат цитирования**

Рабаданова Р.М., Шамхалова Э.А. Цифровизация туристических агентств как инструмент развития экологического туризма в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 81-90. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-8

Получена 22 сентября 2025 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

В статье рассматривается взаимосвязь процессов цифровизации туристических агентств и развития экологического туризма в Республике Дагестан. Проанализированы современные тенденции внедрения информационных систем управления клиентскими заявками на платформе 1С:Предприятие 8.3 в деятельность региональных туристических компаний.

Методологическую основу исследования составляет системный анализ, институциональный анализ, метод экспертных оценок.

Исследование демонстрирует, каким образом автоматизация бизнес-процессов туристических агентств способствует оптимизации управления туристическими потоками, снижению антропогенной нагрузки на природные территории и реализации принципов устойчивого развития туризма. Особое внимание уделено экологическому потенциалу Республики Дагестан, включающему уникальные природные объекты, требующие бережного отношения и научно обоснованного подхода к организации туристической деятельности.

Представлены результаты анализа влияния цифровых технологий на эффективность работы одного из туристических агентств города Махачкалы.

Выявлены основные преимущества внедрения модульных информационных систем, позволяющих туристическим компаниям координировать экологические маршруты, учитывать рекреационную нагрузку и обеспечивать соблюдение природоохранных стандартов. Результаты исследования подтверждают гипотезу о том, что цифровая трансформация туристической отрасли является необходимым условием для развития экологически ответственного туризма в регионах с высоким природным потенциалом. Сформулированы практические рекомендации по интеграции информационных технологий в деятельность туристических агентств Республики Дагестан для обеспечения баланса между экономическим развитием отрасли и сохранением уникальных природных ресурсов региона.

Ключевые слова

Цифровизация туризма, экологический туризм, информационные системы управления, автоматизация бизнес-процессов, устойчивое развитие, туристическая инфраструктура, Республика Дагестан, природоохранная деятельность, управление туристическими потоками, 1С:Предприятие.

Digitalisation of travel agencies as a tool for developing eco-tourism in the Republic of Dagestan, Russia

Raisat M. Rabadanova and Elmira A. Shamkhalova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Raisat M. Rabadanova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems and Programming Technologies, Dagestan State University; 12/1 Dzerzhinskogo St, Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79286809682

Email raisat2004@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-0333-0304>

How to cite this article

Rabadanova R.M., Shamkhalova E.A. Digitalisation of travel agencies as a tool for developing eco-tourism in the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):81-90. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-8

Received 22 September 2025

Revised 14 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The article examines the relationship between the digitalisation of travel agencies and the development of ecotourism in the Republic of Dagestan. It analyses current trends in the implementation of customer request management information systems based on the 1C:Enterprise 8.3 platform in the activities of regional travel companies.

The study is based on systems analysis, institutional analysis and the method of expert assessments.

The study demonstrates how the automation of travel agency business processes contributes to the optimization of tourist flow management, the reduction of anthropogenic pressure on natural areas and the implementation of sustainable tourism principles. Particular attention is paid to the ecological potential of the Republic of Dagestan, which includes unique natural sites that require careful treatment and a scientifically sound approach to the organization of tourism activities.

The main advantages of implementing modular information systems that allow travel companies to coordinate ecological routes, take into account recreational load and ensure compliance with environmental standards have been identified. The results of the study confirm the hypothesis that the digital transformation of the tourism industry's information and coordination infrastructure is a necessary condition for the development of environmentally responsible tourism in regions with high natural potential. Practical recommendations have been formulated on integrating information technologies into the activities of travel agencies in the Republic of Dagestan to ensure a balance between the economic development of the industry and the preservation of the region's unique natural resources.

Key Words

digitalization of tourism, ecological tourism, management information systems, automation of business processes, sustainable development, tourism infrastructure, Republic of Dagestan, environmental activities, management of tourist flows, 1C: Enterprise.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития туристической отрасли Российской Федерации характеризуется интенсификацией внутреннего туризма и возрастающим интересом к экологически ориентированным формам рекреационной деятельности [1; 2]. Согласно статистическим данным Российского союза туриндустрии, в 2024 году количество внутренних туристических поездок достигло 96 миллионов, что превышает показатели предыдущего года на 25 %, а совокупный оборот туристической отрасли составил приблизительно 2,8 триллиона рублей. Данная динамика свидетельствует о трансформации туристического рынка и формировании новых требований к качеству туристических услуг, что обуславливает необходимость внедрения инновационных технологических решений в деятельность туристических организаций [3; 4].

Республика Дагестан обладает значительным экологическим потенциалом, включающим разнообразные природные комплексы и особо охраняемые природные территории. Уникальные ландшафтные характеристики региона, представленные горными экосистемами, каспийским побережьем, Сулакским каньоном, барханом Сарыкум и реликтовыми лесными массивами Самура, создают благоприятные условия для развития различных форм экологического туризма [5; 6]. Вместе с тем интенсификация туристических потоков в регионе актуализирует проблему рационального природопользования и минимизации негативного воздействия рекреационной деятельности на природные экосистемы.

В контексте указанных тенденций цифровизация туристической отрасли приобретает стратегическое значение как инструмент обеспечения устойчивого развития туризма [1; 2]. Внедрение информационных систем управления клиентскими заявками, автоматизация процессов бронирования и координации туристических маршрутов позволяют туристическим агентствам оптимизировать распределение туристических потоков, учитывать экологическую емкость территорий и способствовать реализации природоохранных мероприятий.

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации туристической отрасли, в научной литературе недостаточно освещена специфика интеграции информационных технологий в деятельность региональных туристических агентств с учетом экологических императивов развития территорий [1; 7].

Существующие исследования преимущественно фокусируются либо на общих аспектах цифровой трансформации туризма, либо на теоретических основах экологического туризма, не раскрывая механизмов взаимосвязи этих процессов на уровне конкретных туристических предприятий [2; 4].

Туристическое агентство ООО «IRISTRAVEL», функционирующее в столице Республики Дагестан городе Махачкале, специализируется на предоставлении комплексных туристических услуг, включающих бронирование авиационных билетов, организацию размещения в гостиничных комплексах, разработку экскурсионных программ и оформление страховой защиты туристов.

Анализ деятельности данной организации позволяет выявить практические аспекты внедрения модуля управления клиентскими заявками на базе платформы 1С:Предприятие 8.3 и оценить влияние автоматизации бизнес-процессов на возможности развития экологически ориентированных туристических продуктов.

Проблемное поле исследования определяется противоречием между растущим спросом на экологический туризм в Республике Дагестан, требующим профессиональной координации туристических маршрутов и соблюдения природоохранных стандартов, и недостаточным уровнем технологической оснащенности региональных туристических агентств, ограничивающим их возможности по эффективному управлению туристическими потоками и минимизации экологических рисков [1; 3].

Целью настоящего исследования является научное обоснование роли цифровизации туристических агентств в развитии экологического туризма на примере Республики Дагестан и разработка практических рекомендаций по внедрению информационных систем управления для обеспечения устойчивого развития региональной туристической отрасли.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать современное состояние и экологический потенциал туристической отрасли Республики Дагестан с учетом природоохранных приоритетов регионального развития.

2. Исследовать теоретические основы и практические аспекты внедрения информационных систем управления в деятельность туристических агентств.

3. Оценить влияние автоматизации бизнес-процессов на эффективность управления туристическими потоками и возможности развития экологически ответственного туризма.

4. Разработать методические рекомендации по интеграции цифровых технологий в деятельность туристических агентств Республики Дагестан для обеспечения баланса между экономическими интересами отрасли и требованиями охраны окружающей среды.

Теоретические и методологические основы исследования базируются на междисциплинарном подходе, интегрирующем концепции устойчивого развития туризма, теорию цифровой трансформации экономических систем и методологию экологического менеджмента [1; 2].

Фундаментальные аспекты взаимосвязи цифровых технологий и экологического туризма рассмотрены в работах, посвященных оптимизации инфраструктуры туризма посредством внедрения информационных систем управления туристическими потоками, мобильных приложений для туристов и систем мониторинга экологических показателей. Исследователи подчеркивают, что интеграция цифровых технологий в туристическую инфраструктуру способствует повышению эффективности управления ресурсами, улучшению качества обслуживания туристов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Концептуальные основы цифровой трансформации туризма в условиях глобальных вызовов разработаны в трудах,

анализирующих роль цифровых технологий в процессе перехода от традиционных форм туризма к устойчивым моделям развития отрасли. Отмечается, что цифровые технологии соответствуют целям устойчивого туризма, не влияя негативно на качество туристических услуг, и способствуют смягчению ущерба окружающей среде.

Практические аспекты автоматизации деятельности туристических агентств исследованы в контексте повышения операционной эффективности и качества обслуживания клиентов [3; 4]. Внедрение CRM-систем для управления клиентскими отношениями и ERP-систем для управления ресурсами предприятия рассматривается как ключевой фактор оптимизации процессов бронирования, учета клиентов и финансовых операций.

Специфика применения географических информационных систем в экологическом туризме анализируется в работах, посвященных разработке туристических маршрутов с использованием ГИС-технологий. Предлагается создание атрибутивных баз данных для обеспечения рационального использования рекреационных ресурсов и минимизации антропогенной нагрузки на природные территории.

Вместе с тем анализ научной литературы свидетельствует о недостаточной изученности региональных аспектов цифровизации туристической отрасли в контексте развития экологического туризма, что обуславливает необходимость проведения эмпирических исследований на материалах конкретных туристических дестинаций и предприятий [1; 5; 8].

Научная новизна исследования заключается в комплексном анализе взаимосвязи процессов цифровизации туристических агентств и развития экологического туризма на региональном уровне, выявлении специфических механизмов влияния информационных систем управления на возможности реализации природоохранных функций туристической деятельности и обосновании методических подходов к интеграции цифровых технологий в практику работы региональных туристических организаций с учетом экологических императивов устойчивого развития территорий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологическую основу исследования составляет системный подход, позволяющий рассматривать туристическое агентство как сложную социально-экономическую систему, функционирующую в условиях динамичной внешней среды и взаимодействующую с природными экосистемами туристической дестинации. Системная методология обеспечивает возможность комплексного анализа взаимосвязей между технологическими, организационными, экономическими и экологическими аспектами деятельности туристических предприятий.

В качестве теоретической базы исследования использованы концепции устойчивого развития туризма, разработанные Всемирной туристской организацией ООН (ЮНВТО), согласно которым устойчивое развитие туризма определяется как развитие, удовлетворяющее потребности нынешних и будущих туристов при одновременной защите устойчивости туристических направлений и увеличении

потенциала для будущего туризма. Данный концептуальный подход позволяет оценивать эффективность внедрения информационных технологий не только с позиций экономической целесообразности, но и с учетом экологических и социальных последствий цифровизации туристической отрасли [1; 2].

Методологический инструментарий исследования включает институциональный подход, позволяющий анализировать роль нормативно-правовых и организационных механизмов регулирования туристической деятельности в контексте реализации национального проекта «Экология» в Республике Дагестан. Институциональный анализ обеспечивает понимание условий и ограничений внедрения цифровых технологий в региональную туристическую отрасль, обусловленных спецификой государственной политики в сфере охраны окружающей среды и развития туризма.

Эмпирическую базу исследования составили материалы дипломной работы по разработке модуля управления клиентскими заявками для информационной системы туристического агентства «IRISTRAVEL» на платформе 1С:Предприятие 8.3. Анализ технической документации, бизнес-процессов и функциональных требований к информационной системе позволил выявить ключевые аспекты автоматизации деятельности туристического агентства.

Для сбора данных о состоянии экологического туризма и природоохранной деятельности в Республике Дагестан использовался метод анализа официальных документов и статистических материалов, опубликованных Министерством природных ресурсов и экологии Республики Дагестан, а также информационных ресурсов, посвященных реализации национального проекта «Экология» в регионе. Данный метод обеспечил получение достоверной информации о природном потенциале региона, состоянии особо охраняемых природных территорий и результатах природоохранных мероприятий.

Дополнительным источником эмпирических данных послужили научные публикации и аналитические материалы, посвященные развитию экологического туризма в Республике Дагестан, опубликованные в период с 2020 по 2025 год [5; 6; 9]. Контент-анализ данных материалов позволил выявить основные тенденции развития экотуризма в регионе, специфику туристических маршрутов и природные объекты, представляющие наибольший интерес для экологически ориентированных туристов.

Для обработки и интерпретации эмпирических данных применялся комплекс качественных и количественных методов анализа. Метод сравнительного анализа использовался для сопоставления различных подходов к цифровизации туристических агентств и выявления наиболее эффективных технологических решений, применимых в условиях региональной туристической отрасли [1; 3; 4].

Структурно-функциональный анализ применялся для исследования компонентов информационной системы управления клиентскими заявками, выявления функциональных взаимосвязей между модулями системы и оценки их влияния на эффективность бизнес-процессов туристического агентства. Данный метод позволил идентифицировать

ключевые возможности автоматизированной системы для координации экологических туристических маршрутов и контроля соблюдения природоохранных требований.

Метод экспертных оценок использовался для интерпретации данных о влиянии цифровизации туристических агентств на развитие экологического туризма в регионе. Экспертная оценка базировалась на анализе мнений специалистов туристической отрасли и экологов, представленных в научных публикациях и аналитических материалах.

Синтез полученных результатов осуществлялся на основе метода обобщения, позволившего сформулировать выводы о роли информационных технологий в обеспечении устойчивого развития экологического туризма и разработать практические рекомендации по совершенствованию деятельности туристических агентств Республики Дагестан [1; 2].

Объектом исследования является процесс цифровизации туристических агентств в контексте развития экологического туризма в Республике Дагестан. Предметом исследования выступают организационно-технологические механизмы внедрения информационных систем управления клиентскими заявками в деятельность туристических агентств и их влияние на возможности реализации природоохранных функций туристической деятельности.

Эмпирической базой исследования послужил опыт разработки и внедрения модуля управления клиентскими заявками для туристического агентства ООО «IRISTRAVEL», расположенного в городе Махачкале, Республика Дагестан. Выбор данного объекта обусловлен его репрезентативностью для региональной туристической отрасли и возможностью детального анализа процессов автоматизации бизнес-деятельности типичного туристического агентства среднего масштаба.

Исследование осуществлялось в несколько последовательных этапов. На первом этапе проводился анализ теоретических основ и практического опыта цифровизации туристической отрасли, изучались концептуальные подходы к развитию экологического туризма и роль информационных технологий в обеспечении устойчивого развития туризма [1; 2; 4]. Результатом данного этапа стало формирование теоретико-методологической базы исследования и определение ключевых направлений эмпирического анализа.

На втором этапе осуществлялся сбор эмпирических данных о состоянии туристической отрасли и экологической ситуации в Республике Дагестан, анализировались материалы по разработке информационной системы для туристического агентства «IRISTRAVEL», изучалась нормативно-правовая база регулирования туристической деятельности и природопользования в регионе [10; 11].

Третий этап включал обработку и систематизацию собранных данных, проведение сравнительного и структурно-функционального анализа, формулирование предварительных выводов о влиянии цифровизации туристических агентств на развитие экологического туризма [1; 2].

На заключительном этапе осуществлялся синтез полученных результатов, формулировались окончательные выводы исследования и

разрабатывались практические рекомендации по совершенствованию деятельности туристических агентств Республики Дагестан в контексте экологических императивов устойчивого развития региональной туристической отрасли.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Республика Дагестан характеризуется исключительным биогеографическим разнообразием и высоким рекреационным потенциалом, обусловленным уникальным сочетанием горных, предгорных и прибрежных ландшафтов. Природно-территориальные комплексы региона отличаются контрастностью переходов между природными зонами, что создает благоприятные предпосылки для развития различных форм экологического туризма [5; 6].

К числу наиболее значимых природных объектов Республики Дагестан, представляющих интерес для экологического туризма, относится Дагестанский государственный природный заповедник, расположенный в восемнадцати километрах от столицы региона города Махачкалы. Заповедник включает уникальные экосистемы Прикаспийской низменности и дельты реки Самур, являясь местом обитания редких и исчезающих видов флоры и фауны.

Гора Шалбуздаг, возвышающаяся на 4142 метра над уровнем моря, представляет собой не только природный, но и культурно-исторический объект, привлекающий туристов древним святилищем на вершине. Сулакский каньон, образованный рекой Сулак, является одним из глубочайших каньонов мира, превышающим по глубине знаменитый Гранд-Каньон в США, и привлекает любителей экологического туризма уникальными ландшафтами и возможностями для пешего туризма [5; 6].

Государственный природный заказник «Самурский лес» представляет собой единственный на территории Европы лиановый лес, расположенный в дельте реки Самур на границе с Азербайджаном. Данный природный комплекс характеризуется высоким уровнем биоразнообразия и требует особого режима охраны, что актуализирует необходимость контролируемого туристического использования территории.

Бархан Сарыкум, расположенный в Буйнакском районе республики, является крупнейшим барханным комплексом Евразии, достигающим высоты 252 метра. Уникальность данного природного объекта заключается в его изолированном положении среди степных и полупустынных ландшафтов, что создает особый интерес для научно-познавательного туризма.

В 2024 году в Республике Дагестан были полностью выполнены плановые показатели национального проекта «Экология», что свидетельствует о высоком уровне внимания региональных властей к вопросам охраны окружающей среды. В рамках реализации проекта на территории региона на месте вырубленных или погибших лесов высажены молодые деревья на площади 252 гектара, на пустырях площадью 50 гектаров созданы новые лесные насаждения, а на территории 317 гектаров проведена дополнительная высадка лесных культур.

Министерство природных ресурсов и экологии Республики Дагестан активно реализует комплекс мероприятий по реформированию системы обращения

с твердыми коммунальными отходами, включая строительство мусоросортировочных комплексов и полигонов для захоронения отходов. Данные меры направлены на снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и создание условий для устойчивого развития региона. Вместе с тем интенсификация туристических потоков в регионе, обусловленная возрастающей популярностью Дагестана как туристической дестинации, создает риски избыточной антропогенной нагрузки на природные экосистемы. Это обуславливает необходимость внедрения научно обоснованных механизмов управления туристическими потоками и контроля рекреационной нагрузки на особо охраняемые природные территории.

Туристическая отрасль Республики Дагестан демонстрирует устойчивую тенденцию роста в последние годы, что обусловлено повышением интереса российских туристов к внутреннему туризму и уникальными природными и культурными ресурсами региона [5; 6]. Развитие туристической инфраструктуры и улучшение транспортной доступности способствуют увеличению туристического потока и диверсификации туристических продуктов.

Экологический туризм занимает особое место в структуре туристического предложения региона, предполагая минимальное воздействие на окружающую среду и активное участие местных сообществ в туристической деятельности [5; 9]. Многие туристические маршруты разработаны с учетом принципов устойчивого развития, что позволяет сохранить природные ландшафты и биоразнообразие региона при одновременном обеспечении экономических выгод для местного населения.

Туристическое агентство ООО «IRISTRAVEL», функционирующее в городе Махачкале, является типичным представителем региональной туристической отрасли и специализируется на предоставлении комплексных туристических услуг. Деятельность агентства включает персональный подбор и бронирование авиационных билетов, организацию размещения клиентов в гостиничных комплексах различных категорий, подготовку экскурсионных программ с учетом индивидуальных предпочтений туристов и оформление страховой защиты для внутренних и международных поездок.

Анализ бизнес-процессов туристического агентства выявил ряд проблемных аспектов, связанных с ручной обработкой клиентских заявок, недостаточной системностью учета информации о клиентах и туристических продуктах, а также ограниченными возможностями оперативного контроля исполнения обязательств перед клиентами. Данные проблемы особенно актуальны в контексте организации экологических туров, требующих тщательной координации маршрутов, учета экологических ограничений и соблюдения природоохранных стандартов.

Растущая конкуренция в туристической отрасли региона обуславливает необходимость повышения качества обслуживания клиентов и оптимизации внутренних бизнес-процессов туристических агентств. Согласно оценкам специалистов, внедрение современных информационных систем управления способствует снижению операционных затрат туристических компаний на 15–20 % при

одновременном повышении скорости обработки клиентских заявок на 30–40 %.

Информационные системы управления играют ключевую роль в оптимизации деятельности туристических агентств и создании условий для развития экологически ответственного туризма [1; 2]. Цифровые технологии позволяют туристическим компаниям эффективно координировать туристические потоки, учитывать рекреационную нагрузку на природные территории и обеспечивать соблюдение экологических стандартов при организации туристических маршрутов.

Автоматизация процессов управления клиентскими заявками на основе платформы 1С:Предприятие 8.3 обеспечивает централизованное хранение информации о клиентах, туристических продуктах и маршрутах, что позволяет туристическим агентствам оперативно отслеживать динамику спроса на различные туристические направления и своевременно корректировать предложение с учетом экологических ограничений. Модуль управления заявками включает функционал регистрации обращений клиентов, автоматизированного подбора туристических продуктов, формирования документации и контроля исполнения обязательств.

Особое значение информационные системы управления приобретают в контексте координации экологических туристических маршрутов, предполагающих посещение особо охраняемых природных территорий. Цифровые платформы позволяют туристическим агентствам учитывать ограничения по количеству туристов, допускаемых на территорию природного объекта в определенный период времени, что способствует предотвращению избыточной антропогенной нагрузки и сохранению природных экосистем.

Мобильные приложения для туристов, интегрированные с информационной системой туристического агентства, предоставляют актуальную информацию о маршрутах, погодных условиях, состоянии природных объектов и правилах поведения на особо охраняемых природных территориях. Данный функционал способствует формированию экологически ответственного поведения туристов и повышению уровня их осведомленности о природоохранных требованиях.

Системы мониторинга экологических показателей, основанные на технологиях Интернета, обеспечивают постоянный контроль за состоянием природных ресурсов туристических территорий. Интеграция данных систем с информационными платформами туристических агентств позволяет оперативно корректировать маршруты при выявлении негативных изменений экологической ситуации и минимизировать риски причинения ущерба природным объектам.

Исследования подтверждают, что цифровые технологии играют важную роль в процессе перехода от традиционного туризма к устойчивым моделям развития отрасли, поскольку они соответствуют целям устойчивого туризма без негативного влияния на качество туристических услуг. Опыт развитых стран свидетельствует о значительном потенциале цифровых технологий для сокращения выбросов углекислого газа и смягчения ущерба окружающей среде от туристической деятельности.

Разработка модуля управления клиентскими заявками для туристического агентства ООО «IRISTRAVEL» на платформе 1С:Предприятие 8.3 представляет собой практический пример внедрения информационных технологий в деятельность регионального туристического предприятия. Выбор платформы 1С:Предприятие обусловлен ее широким распространением в российской бизнес-среде, наличием развитой инфраструктуры технической поддержки и возможностями гибкой настройки функционала под специфические требования туристического бизнеса.

Проектирование информационной системы осуществлялось на основе детального анализа бизнес-процессов туристического агентства, выявления узких мест в организации работы и определения приоритетных направлений автоматизации. Ключевыми требованиями к разрабатываемой системе являлись обеспечение централизованного хранения информации о клиентах и заявках, автоматизация процессов подбора туристических продуктов, формирование отчетной документации и создание инструментов контроля исполнения обязательств. Функциональная структура модуля управления заявками включает подсистемы регистрации клиентов, формирования и обработки заявок, управления туристическими продуктами, документооборота и аналитической отчетности. Подсистема регистрации клиентов обеспечивает ведение базы данных о постоянных и потенциальных клиентах агентства, сохранение истории их обращений и предпочтений, что позволяет персонализировать обслуживание и повышать уровень удовлетворенности клиентов.

Подсистема формирования и обработки заявок автоматизирует процесс приема заявок от клиентов, их классификации по типам туристических услуг, назначения ответственных исполнителей и контроля сроков исполнения. Данный функционал особенно важен для организации экологических туров, требующих координации с природоохранными организациями и соблюдения специальных процедур получения разрешений на посещение особо охраняемых природных территорий.

Подсистема управления туристическими продуктами обеспечивает ведение справочников туристических направлений, маршрутов, гостиничных комплексов и транспортных услуг. В контексте развития экологического туризма данная подсистема может быть дополнена функционалом учета экологических характеристик туристических маршрутов, включая информацию о статусе природных территорий, допустимых рекреационных нагрузках и сезонных ограничениях посещения.

Подсистема документооборота автоматизирует формирование договоров с клиентами, ваучеров, туристических путевок и иной документации, необходимой для организации туристических поездок. Автоматизация документооборота снижает вероятность ошибок при подготовке документов и сокращает временные затраты сотрудников агентства на выполнение рутинных операций.

Подсистема аналитической отчетности предоставляет менеджменту туристического агентства инструменты для анализа динамики спроса на туристические услуги, оценки эффективности работы сотрудников, выявления наиболее популярных направлений и прогнозирования развития

туристического бизнеса. Аналитические возможности системы позволяют туристическому агентству выявлять тенденции роста интереса к экологическому туризму и своевременно адаптировать ассортимент предлагаемых услуг к изменяющемуся спросу.

Внедрение модуля управления заявками обеспечивает повышение оперативности обработки клиентских обращений, улучшение качества контроля исполнения обязательств перед клиентами и создание информационной базы для дальнейшего развития комплексной информационной системы предприятия. Модульный принцип построения системы позволяет туристическому агентству поэтапно расширять функционал автоматизации в соответствии с имеющимися ресурсами и приоритетами развития бизнеса.

Цифровизация туристической отрасли создает новые возможности для реализации природоохранных функций туристической деятельности и минимизации негативного воздействия туризма на окружающую среду [1; 2]. Информационные системы управления позволяют туристическим агентствам контролировать распределение туристических потоков по территории, предотвращая концентрацию туристов на ограниченных участках и способствуя равномерному использованию рекреационного потенциала региона.

Автоматизация процессов планирования туристических маршрутов обеспечивает возможность учета экологической емкости природных территорий и соблюдения установленных лимитов на посещение особо охраняемых природных объектов. Цифровые платформы позволяют интегрировать информацию о природоохранном статусе территорий, сезонных ограничениях посещения и специальных требованиях к поведению туристов, что способствует формированию экологически ответственной туристической практики.

Мобильные приложения для туристов выполняют важную образовательную функцию, предоставляя информацию о биоразнообразии посещаемых территорий, редких видах флоры и фауны, природоохранных мероприятиях и правилах поведения в природной среде. Интерактивный формат представления информации повышает уровень экологической осведомленности туристов и способствует формированию бережного отношения к природным ресурсам. Системы онлайн-бронирования, интегрированные с информационными платформами туристических агентств, позволяют оптимизировать загрузку объектов туристической инфраструктуры и минимизировать холостые пробеги транспорта, что способствует сокращению выбросов парниковых газов от туристической деятельности. Цифровая координация логистических процессов обеспечивает рациональное использование транспортных ресурсов и снижение экологического следа туризма.

Внедрение безбумажных технологий документооборота в деятельность туристических агентств способствует сокращению потребления бумаги и снижению объемов образования отходов. Электронный формат договоров, ваучеров и туристических путевок обеспечивает не только экологические, но и экономические преимущества, связанные со снижением затрат на печать и хранение документов.

Цифровые технологии создают возможности для развития виртуального туризма, позволяющего

знакомиться с природными и культурными объектами без необходимости физического присутствия, что особенно актуально для экологически чувствительных территорий, посещение которых связано с рисками причинения ущерба природным экосистемам. Виртуальные экскурсии на основе технологий дополненной реальности расширяют доступность туристических объектов для широкой аудитории при минимизации антропогенной нагрузки.

Исследования подтверждают, что страны, активно инвестирующие в цифровые технологии и их интеграцию в туристическую отрасль, демонстрируют значительные успехи в реализации целей устойчивого развития и сокращении негативного воздействия туризма на окружающую среду. Опыт Финляндии и Швеции свидетельствует о том, что цифровизация туризма способствует существенному сокращению выбросов углекислого газа и повышению экологической устойчивости туристической отрасли.

Развитие устойчивого туризма в Республике Дагестан требует комплексного подхода, интегрирующего цифровые технологии, природоохранные мероприятия и механизмы регулирования туристической деятельности. Информационные системы управления туристическими потоками должны стать инструментом координации действий туристических агентств, органов управления особо охраняемыми природными территориями и природоохранных служб. Создание единой цифровой платформы экологического туризма региона позволит обеспечить централизованный учет туристических потоков, мониторинг состояния природных объектов и координацию туристической деятельности с учетом экологических ограничений. Интеграция данных от различных участников туристического рынка обеспечит возможность оперативного реагирования на изменения экологической ситуации и принятия обоснованных управленческих решений. Развитие цифровой инфраструктуры экологического туризма предполагает создание мобильных приложений для туристов, предоставляющих актуальную информацию о состоянии туристических маршрутов, погодных условиях, правилах поведения на природных территориях и возможностях участия в природоохранных мероприятиях. Интерактивные карты экологических маршрутов с информацией о природных достопримечательностях, редких видах и экологических рисках будут способствовать формированию ответственного туристического поведения.

Внедрение систем мониторинга экологических показателей на базе технологий Интернета вещей обеспечит постоянный контроль за состоянием природных ресурсов туристических территорий и своевременное выявление негативных изменений. Интеграция данных мониторинга с информационными системами туристических агентств позволит оперативно корректировать туристические маршруты при обнаружении экологических рисков.

Образовательные программы для сотрудников туристических агентств должны включать модули по экологическому менеджменту и использованию цифровых технологий для обеспечения устойчивого развития туризма [1; 8]. Повышение квалификации специалистов туристической отрасли в области экологии и информационных технологий создаст

кадровую основу для реализации стратегии устойчивого развития регионального туризма.

Сотрудничество между туристическими агентствами, научными учреждениями, природоохранными организациями и органами государственной власти является необходимым условием успешной интеграции цифровых технологий в систему управления экологическим туризмом. Междисциплинарный подход обеспечит учет экологических, экономических, социальных и технологических аспектов развития туристической отрасли.

Перспективы развития экологического туризма в Республике Дагестан связаны с расширением ассортимента экологически ориентированных туристических продуктов, совершенствованием инфраструктуры на особо охраняемых природных территориях и повышением уровня экологической культуры туристов [1; 11]. Цифровые технологии должны стать катализатором этих процессов, обеспечивая эффективные инструменты координации, контроля и мониторинга туристической деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтверждает гипотезу о том, что цифровизация туристических агентств является необходимым условием для развития экологического туризма в регионах с высоким природным потенциалом, таких как Республика Дагестан [1; 2]. Внедрение информационных систем управления клиентскими заявками создает технологическую основу для координации туристических потоков, учета экологических ограничений и обеспечения соблюдения природоохранных стандартов при организации туристических маршрутов [1].

Анализ экологического потенциала Республики Дагестан выявил наличие уникальных природных объектов, включающих Дагестанский государственный природный заповедник, Сулакский каньон, бархан Сарыкум, заказник «Самурский лес» и гору Шалбуздаг, которые представляют значительный интерес для развития экологического туризма. Вместе с тем интенсификация туристических потоков создает риски избыточной антропогенной нагрузки на природные экосистемы, что обуславливает необходимость внедрения научно обоснованных механизмов управления рекреационной деятельностью.

Исследование опыта разработки модуля управления клиентскими заявками для туристического агентства ООО «IRISTRAVEL» на платформе 1С:Предприятие 8.3 продемонстрировало практическую применимость цифровых технологий для оптимизации бизнес-процессов региональных туристических организаций. Автоматизация процессов регистрации клиентов, обработки заявок, управления туристическими продуктами и документооборота обеспечивает повышение оперативности обслуживания клиентов, улучшение качества контроля исполнения обязательств и создание информационной базы для стратегического планирования деятельности предприятия.

Теоретический анализ роли цифровых технологий в развитии экологического туризма выявил многогранное влияние информационных систем на возможности реализации природоохранных функций туристической деятельности [1; 2]. Цифровые

платформы позволяют туристическим агентствам контролировать распределение туристических потоков, учитывать экологическую емкость территорий, предоставлять туристам актуальную информацию о природоохранных требованиях и способствовать формированию экологически ответственного поведения.

Результаты исследования обосновывают вывод о необходимости создания единой цифровой платформы экологического туризма Республики Дагестан, интегрирующей информационные системы туристических агентств, органов управления особо охраняемыми природными территориями и природоохранных служб. Такая платформа должна обеспечивать централизованный учет туристических потоков, мониторинг состояния природных объектов и координацию туристической деятельности с учетом экологических ограничений. Практическая значимость исследования заключается в разработке методических рекомендаций по интеграции информационных технологий в деятельность туристических агентств Республики Дагестан, включающих выбор технологических платформ, определение приоритетных направлений автоматизации, организацию обучения персонала и механизмы координации с природоохранными организациями [1]. Реализация данных рекомендаций будет способствовать повышению конкурентоспособности региональных туристических компаний при одновременном обеспечении экологической устойчивости туристической деятельности [1; 2].

Направления дальнейших исследований включают детальный анализ экономической эффективности внедрения информационных систем управления в туристических агентствах различных масштабов, изучение социальных аспектов цифровизации туристической отрасли, разработку методик оценки экологического воздействия туристической деятельности на основе данных информационных систем и исследование международного опыта интеграции цифровых технологий в систему управления экологическим туризмом. Междисциплинарный характер данной проблематики обуславливает необходимость сотрудничества специалистов в области информационных технологий, экологии, туризма и регионального развития для формирования комплексной стратегии цифровизации туристической отрасли в контексте экологических императивов устойчивого развития [1; 4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ибрагимова Н.С., Курилова Е.В. Роль цифровых технологий в оптимизации инфраструктуры экологического туризма // Экономические исследования и разработки. 2024. URL: <http://edrv.ru/article/12-01-25> (дата обращения: 17.07.2025)
2. Самаана М.Ю. Цифровые технологии для устойчивого туризма // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2023. N 2. С. 110–128. DOI: 10.28995/2073-6304-2023-2-110-128
3. Макринова Е.И., Сотник А.П., Хайдаров И.С. Модели и технологии развития туризма в мейнстриме цифровой экономики // Фундаментальные

исследования. 2020. N 3. С. 72–77.

DOI: 10.17513/fr.42702

4. Морозов М.А., Морозова Н.С. Концепция цифровой экосистемы индустрии туризма и гостеприимства // Современные проблемы сервиса и туризма. 2020. Т. 14. N 4. С. 27–36. DOI: 10.24411/1995-0411-2020-10402
5. Оборин М.С. Современная концепция развития экологического туризма в России // Сервис в России и за рубежом. 2020. Т. 14. N 4(91). С. 22–32. DOI: 10.24411/1995-042X-2020-10402
6. Экотуризм в Дагестане: природные достопримечательности и туристические маршруты // Туристический портал Республики Дагестан. 2025. URL: <https://xn----7sbbjmpasxgcf7ao7d.xn--p1ai/ekoturizm-v-dagestane/> (дата обращения: 11.07.2025)
7. Крючков А.Н. Экологический туризм и географические информационные системы // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. N 3. 194–199. doi:10.24411/2073-1035-2018-00026
8. Афанасьева А.В. Зарубежный опыт управления в сфере экологического туризма: тренды и модели развития // Сервис в России и за рубежом. 2020. Т. 14. N 3(90). С. 27–56. DOI: 10.24411/1995-042X-2020-10303
9. Цепилова Е.С., Родионова Н.Д. Развитие экологического туризма в России: концептуальные характеристики и потенциал развития // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. N 2. С. 110–128. DOI: 10.28995/2073-6304-2022-2-110-128
10. Официальный сайт национальных проектов РФ. В Дагестане полностью выполнили плановые показатели нацпроекта «Экология» за 2024 год. URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/v-dagestane-polnostyu-vypolnili-planovye-pokazateli-natsproekta-ekologiya/> (дата обращения: 12.08.2025)
11. Богомазова И.В. Цифровые сервисы и туристская экосистема в развитии внутреннего туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2022. Т. 49. N 4. С. 718–730.

REFERENCES

1. Ibragimova N.S., Kurilova E.V. The Role of digital technologies in optimizing ecotourism infrastructure. [Ehkonomichekieskie issledovaniya i razrabotki]. 2024. Available at: <http://edrv.ru/article/12-01-25> (accessed: 17.07.2025)
2. Samaana M.Yu., Digital technologies for sustainable tourism. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Economics. Management. Law*, 2023, no. 2, pp. 110–128. (In Russian) DOI: 10.28995/2073-6304-2023-2-110-128
3. Makrinova E.I., Sotnik A.P., Khaidarov I.S. Models and technologies for tourism development in the mainstream of the digital economy. *Fundamental Research*, 2020, no. 3, pp. 72–77. (In Russian) DOI: 10.17513/fr.42702
4. Morozov M.A., Morozova N.S. The concept of a digital ecosystem for the tourism and hospitality industry. *Contemporary Problems of Service and Tourism*, 2020, vol. 14, no. 4, pp. 27–36. (In Russian) DOI: 10.24411/1995-0411-2020-10402
5. Oborin M.S. The modern concept of ecological tourism development in Russia. *Service in Russia and abroad*, 2020, vol. 14, no. 4(91), pp. 22–32. (In Russian) DOI: 10.24411/1995-042X-2020-10402
6. Ecotourism in Dagestan: natural attractions and tourist routes. Tourism portal of the Republic of Dagestan. 2025.

Available at: <https://xn----7sbbjmpasxgcf7ao7d.xn--p1ai/ekoturizm-v-dagestane/> (accessed: 11.07.2025)

7. Kryuchkov A.N. Ecological tourism and geographic information systems. *Samara Bend: problems of regional and global ecology*. 2018, vol. 27, no. 3, pp. 194–199. (In Russian) doi:10.24411/2073-1035-2018-00026

8. Afanasyeva A.V. Foreign experience in environmental tourism management: trends and development models. *Service in Russia and abroad*, 2020, vol. 14, no. 3(90), pp. 27–56. (In Russian) DOI: 10.24411/1995-042X-2020-10303

9. Tsepilova E.S., Rodionova N.D. Development of ecological tourism in Russia: conceptual characteristics and development potential. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Economics*.

Management. Law, 2022, no. 2, pp. 110–128. (In Russian) DOI: 10.28995/2073-6304-2022-2-110-128

10. Official website of national projects of the Russian Federation. Dagestan has fully met the targets of the national project “Ecology” for 2024. Available at: <https://xn-80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/v-dagestane-polnostyu-vypolnili-planovye-pokazatelnatsproekta-ekologiya/> (accessed: 12.08.2025)

11. Bogomazova I.V. Digital services and the tourism ecosystem in the development of domestic tourism. *Sovremennye problemy servisa i turizma [Contemporary problems of service and tourism]*. 2022, vol. 49, no. 4, pp. 718–730. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Раисат М. Рабаданова выявила основные преимущества внедрения модульных информационных систем, сформулировала практические рекомендации по интеграции информационных технологий в деятельность туристических агентств.

Эльмира А. Шамхалова предложила провести автоматизацию бизнес-процессов туристических агентств для оптимизации управления туристическими потоками, провела анализ влияния цифровых технологий на эффективность работы туристических агентств. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Raisat M. Rabadanova identified the main advantages of implementing modular information systems, formulated practical recommendations for integrating information technologies into the activities of travel agencies.

Elmira A. Shamkhalova proposed automating the business processes of travel agencies to optimise the management of tourist flows, analysed the impact of digital technologies on the efficiency of travel agencies. Both authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Раисат М. Рабаданова / Raisat M. Rabadanova <https://orcid.org/0009-0003-0333-0304>

Эльмира А. Шамхалова / Elmira A. Shamkhalova <https://orcid.org/0000-0002-5210-6240>

Обзорная статья / Review article

УДК 502.6 : 574

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-9



Восстановление экосистем степных районов в контексте Десятилетия ООН по восстановлению экосистем: лучшие глобальные и региональные практики

Наталья Е. Рязанова, Виктория А. Аржевикина

Московский государственный институт международных отношений (Университет)

Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, Россия

Контактное лицо

Наталья Е. Рязанова, к.г.н., доцент МГИМО
МИД России; 119454 Россия,
г. Москва, пр. Вернадского, 76.
Тел. +79031547792
Email n.riazanova@inno.mgimo.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9439-0537>

Формат цитирования

Рязанова Н.Е., Аржевикина В.А.
Восстановление экосистем степных районов
в контексте Десятилетия ООН по
восстановлению экосистем: лучшие
глобальные и региональные практики // Юг
России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1.
С. 91-115. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-9

Получена 12 сентября 2025 г.

Прошла рецензирование 24 ноября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью исследования является анализ стратегии восстановления степных экосистем в России через призму мировых практик, научных подходов и национальных программ устойчивого развития с целью предложения рекомендаций для интеграции природоохранных мер в государственную политику.

В работе рассматриваются ключевые факторы деградации – массовая распашка, перевыпас скота, изменение гидрологического режима и влияние глобального изменения климата. Приводится сравнение международных методов восстановления: от программы Conservation Reserve Program (США), проектов по реинтродукции бизонов (Канада), масштабных лесополос Китая до проектов ренатурации в Европе. Более подробно анализируются российские примеры – Оренбургский заповедник с программой реинтродукции лошади Пржевальского и уникальный Плейстоценовый парк. Подчеркивается важность межведомственной координации, научной поддержки, государственного контроля и участия общественных организаций. Акцент делается на необходимости разработки национальной стратегии и нормативно-правовой базы, включая создание специализированных особо охраняемых территорий и экономическое стимулирование устойчивого землепользования.

Реализация предложенных комплексных мер позволит повысить устойчивость степных экосистем к климатическим и антропогенным воздействиям, сохранить биологическое разнообразие и интегрировать природосберегающие технологии в систему природопользования России. Успешное восстановление зависит от взаимодействия государства, научного сообщества и местного населения, а также активного международного сотрудничества. Это станет важным шагом в обеспечении экологической стабильности и устойчивого развития степных регионов страны.

Ключевые слова

Деградация земель, биоразнообразие, восстановление степных экосистем, устойчивое землепользование, антропогенное воздействие, охрана природы, глобальные экологические вызовы, экологический мониторинг, экопросвещение и экотуризм, природоохранная политика и финансирование.

Restoration of steppe ecosystems in the context of the UN ecosystem restoration decade: the best global and regional practices

Natalya E. Ryazanova and Victoria A. Arzhevikina

Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Moscow, Russia

Principal contact

Natalya E. Ryazanova, Candidate of Geographical Sciences (PhD in Geography), Associate Professor, MGIMO University of the Ministry of Foreign Affairs of Russia; 76 Vernadsky Ave, Moscow, Russia 119454.

Tel. +79031547792

Email n.riazanova@inno.mgimo.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9439-0537>

How to cite this article

Ryazanova N.E., Arzhevikina V.A. Restoration of Steppe Ecosystems in the Context of the UN Ecosystem Restoration Decade: The Best Global and Regional Practices. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):91-115. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-9

Received 12 September 2025

Revised 24 November 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The aim of this study was to analyse strategic approaches for restoring steppe ecosystems in Russia through the lens of global practices, scientific approaches and national sustainable development programs with the aim of proposing recommendations for integrating conservation measures into state policy.

The paper addresses key degradation factors – including massive plowing, livestock overgrazing, alteration of hydrological regimes and the impact of global climate change. It provides a comparative analysis of international restoration methods: from the Conservation Reserve Program (USA), bison reintroduction projects (Canada), large-scale shelterbelt programs in China, to renaturation projects in Europe. Russian case studies were examined in greater detail – specifically the Orenburg Nature Reserve with its Przewalski's horse reintroduction program and the unique Pleistocene Park. The importance of interagency coordination, scientific support, government oversight and involvement of public organizations is emphasized. Focus is placed on the necessity of developing a national strategy and regulatory framework, including the creation of specialized protected areas and economic incentives for sustainable land use.

Implementation of the proposed comprehensive measures will enhance the resilience of steppe ecosystems to climatic and anthropogenic pressures, preserve biodiversity, and integrate nature conservation technologies into the Russian system of natural resource management. Successful restoration depends on collaboration between the state, scientific community, local populations and active international cooperation. This will represent a significant step toward ensuring ecological stability and sustainable development of the country's steppe regions.

Key Words

Land degradation, biodiversity, steppe ecosystem restoration, sustainable land use, anthropogenic impact, nature conservation, global environmental challenges, environmental monitoring, eco-education and ecotourism, environmental policy and financing.

ВВЕДЕНИЕ

В Конвенции по борьбе с опустыниванием [1] подчёркнуто, что современные антропогенные нагрузки на земельные ресурсы достигли критического уровня с прогнозируемой тенденцией к дальнейшей интенсификации, что обостряет противоречие между эксплуатацией земель для обеспечения базовых потребностей (продовольствие, водные и энергетические ресурсы) и необходимостью сохранения экосистемных функций, поддерживающих глобальные биогеохимические циклы.

Значительная часть антропогенных и природных экосистем демонстрирует признаки деградации: за последние два десятилетия на 20 % территорий с растительным покровом зафиксировано устойчивое снижение продуктивности, обусловленное нерациональными практиками земле- и водопользования, при этом утрата биоразнообразия и климатические изменения усугубляют риски снижения функционального потенциала земель [2]. Прогнозируется, что рост выбросов парниковых газов, повышение температур, изменение гидрологического режима, эрозия почв, сокращение видового разнообразия и дефицит водных ресурсов окажут существенное влияние на пригодность обширных регионов для сельскохозяйственного производства и жизнедеятельности человека.

Деградация земель снижает устойчивость экосистем к экстремальным воздействиям, что усиливает уязвимость социальных групп с низким уровнем доходов, особенно женщин и детей, провоцируя конкуренцию за ограниченные ресурсы, миграционные волны и социальную нестабильность. В конце двадцатого столетия более 1,3 млрд человек (по данным вышеупомянутой Конвенции) оказались в условиях зависимости от деградирующих сельхозугодий, при этом фермеры засушливых регионов сталкиваются с ограниченными возможностями для диверсификации деятельности и исключены из процессов масштабного экономического развития, что усугубляется беспрецедентной трансформацией сельских территорий, сопровождающейся утратой культурной идентичности и традиционных знаний.

Для решения глобального кризиса земельных ресурсов необходимо изменить подход к управлению: вместо ограничения роста следует сосредоточиться на уважении экологических границ посредством ответственного потребления, внедрения устойчивых методов и рационального территориального планирования. Казалось бы, Конвенция о борьбе с опустыниванием должна быть направлена за сильно засушливые регионы, как, например, Африка. Однако стоит отметить и другие почвенно-географические области. Степные районы представляют собой обширные равнинные территории с травянистой растительностью, расположенные в умеренном и субтропическом климатических поясах. Эти зоны формируются в условиях континентального климата с выраженными сезонными колебаниями температур и ограниченным количеством осадков. В России степи протянулись от юга Восточно-Европейской равнины до предгорий Кавказа, юга Западной Сибири и межгорных котловин Южной Сибири (Кузнецкая, Минусинская, Тувинская). За пределами России степные ландшафты встречаются в Казахстане, Монголии и отдельных регионах Северной Америки

[3] В Латинской Америке степи представлены в основном пампасами – обширными равнинными травянистыми ландшафтами, расположенными преимущественно на юго-востоке Южной Америки, в районах Аргентины, Уругвая и южной части Бразилии, однако их распространение относительно невелико, поэтому страны Латинской Америки в данной работе рассматриваться не будут. Аналогично со степями Австралии. Степей на этом материке почти нет, но очень большой процент пустынь и полупустынь. Поэтому логично рассмотреть данный регион в другой работе, посвящённой аридным и семиаридным регионам.

Несмотря на скудное видовое разнообразие, экосистемы степей обладают гомеостатичностью. Низкий травостой минимизирует испарение влаги, а мощные корневые системы (в 10–20 раз превышающие надземную массу) предотвращают эрозию. Степи аккумулируют углерод, смягчая последствия глобального потепления. Однако распашка, перевыпас скота и добыча полезных ископаемых, изменение климата нарушают баланс, приводя к усилению аридизации, способствующей трансформации степей в опустыненные ландшафты.

Биоразнообразие степей включает эндемичные виды, имеющие научную ценность. Кроме того, степные экосистемы глобально подвержены интенсивной антропогенной трансформации, ведущей к критической деградации. По данным ООН [4; 5], деградирует 15 млн га продуктивных земель. И эта цифра ежегодно увеличивается на дополнительный миллион. Причём засушливые регионы, включая степи, занимают 30 % суши. В России распашка уничтожила 70 % зональных степей между Волгой и Иртышом, сохранившись лишь фрагментарно в виде неудобий (непригодных для посева земель) и заповедных территорий [6]. В Центральной Азии деградация затронула 4–10 % пахотных земель и 27–68 % пастбищ, что связано с историческими неустойчивыми практиками орошения и перевыпаса. Климатические изменения усугубляют процессы: прогнозируемое повышение температуры на 2–4 °С к середине века усилит засухи и опустынивание, особенно в сухостепных подзонах.

Степные районы входят в число наиболее уязвимых биомов, подверженных интенсивной антропогенной трансформации. В России распашка уничтожила более 70 % естественных степей, что привело к критическому снижению биоразнообразия и деградации почвенного покрова. Таким образом, актуальность не вызывает сомнений.

Цель работы: Проведение аналитического обзора стратегии восстановления степных экосистем в Российской Федерации на основе анализа глобальных и региональных практик, направленной на сохранение биоразнообразия, повышение устойчивости к климатическим изменениям и интеграцию природосберегающих технологий в национальные программы устойчивого развития.

Задачи исследования:

- Изучить историю формирования международных подходов к восстановлению степей, включая инициативы ФАО, ЮНЕП и МСОП.
- Проанализировать влияние глобальных климатических изменений и антропогенного землепользования на динамику степных экосистем.

- Сравнить практики по восстановлению степей в США, Канаде, Германии и странах ЕС
- Провести литературный обзор состояния степных экосистем России с акцентом на деградацию почв и сокращение ареалов эндемиков
- Выявить ключевые антропогенные факторы деградации степных экосистем.
- Разработать рекомендации по включению программ восстановления степей в национальную стратегию России.

Исследования демонстрируют, что деградация степных экосистем обусловлена комплексом антропогенных и климатических факторов, ведущих к снижению биоразнообразия, опустыниванию и потере продуктивности почв. В докладе регионального экологического центра Центральной Азии (РЭЦЦА) [7] подчёркивается, что в регионе 4–10 % пахотных земель и 27–68 % пастбищ значительно дегради-

рованы из-за перевыпаса, нерационального орошения и вырубки лесов. Прогнозируемое повышение температуры на 2–4 °С к середине XXI века усилит аридизацию, особенно в сухостепных регионах, где таяние ледников уже нарушает гидрологический баланс. Анализ AgriScience [8] подтверждает, что в России сокращение посевных площадей кормовых культур (в 6–20 раз с 1990 г.) привело к росту нагрузки на пастбища и доминированию сорных видов (Молочай Сегиера (*Euphorbia seguieriana*), Свиной пальчатый (*Cynodon dactylon*)), снижающих кормовую ценность травостоев.

Международные исследования акцентируют роль климатогенных и техногенных факторов. В Южном Забайкалье [9] (см. Рисунок 1) деградация пастбищ вблизи населённых пунктов проявляется через снижение продуктивности растительных сообществ и замену злаков на малопоедаемые виды.

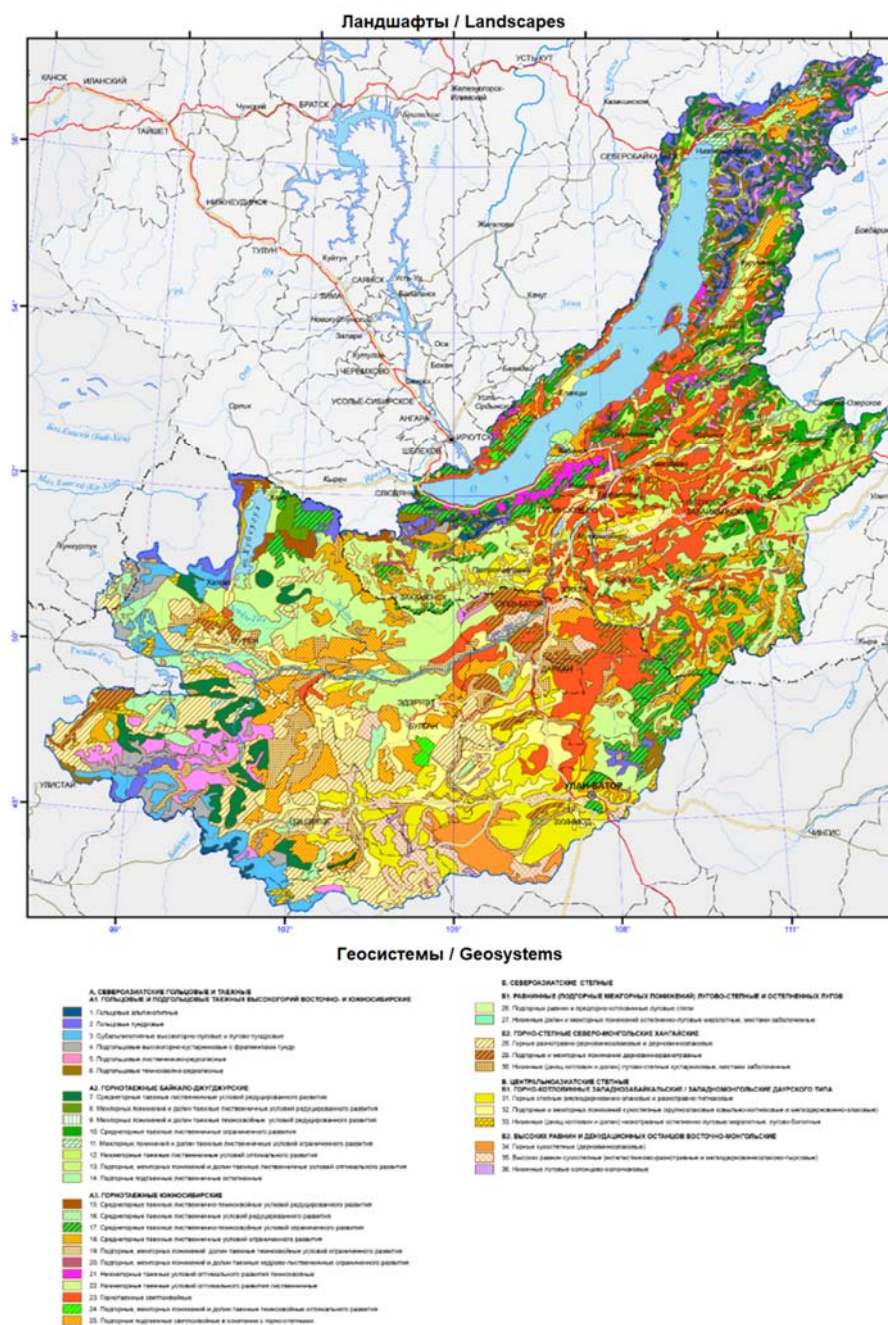


Рисунок 1. Ландшафтная карта Южного Забайкалья. Экологический атлас бассейна оз. Байкал [10]
 Figure 1. Landscape map of South Transbaikalia. Ecological Atlas of Lake Baikal Basin [10]

Работа WWF* [11] указывает, что глобальные экономические потери от деградации экосистем могут достичь \$10 трлн, причём существенную часть этой суммы составляют последствия деградации степных экосистем из-за эрозии чернозёмов и сокращения поголовья копытных. Ландшафтно-экологические

оценки [12] степных районов России выявили прямую корреляцию между распашкой целинных земель (Рисунок 2) и усилением ветровой эрозии, особенно в условиях снижения численности скота (в 2–5 раз с 1991 г.), что нарушает естественную динамику травостоя.

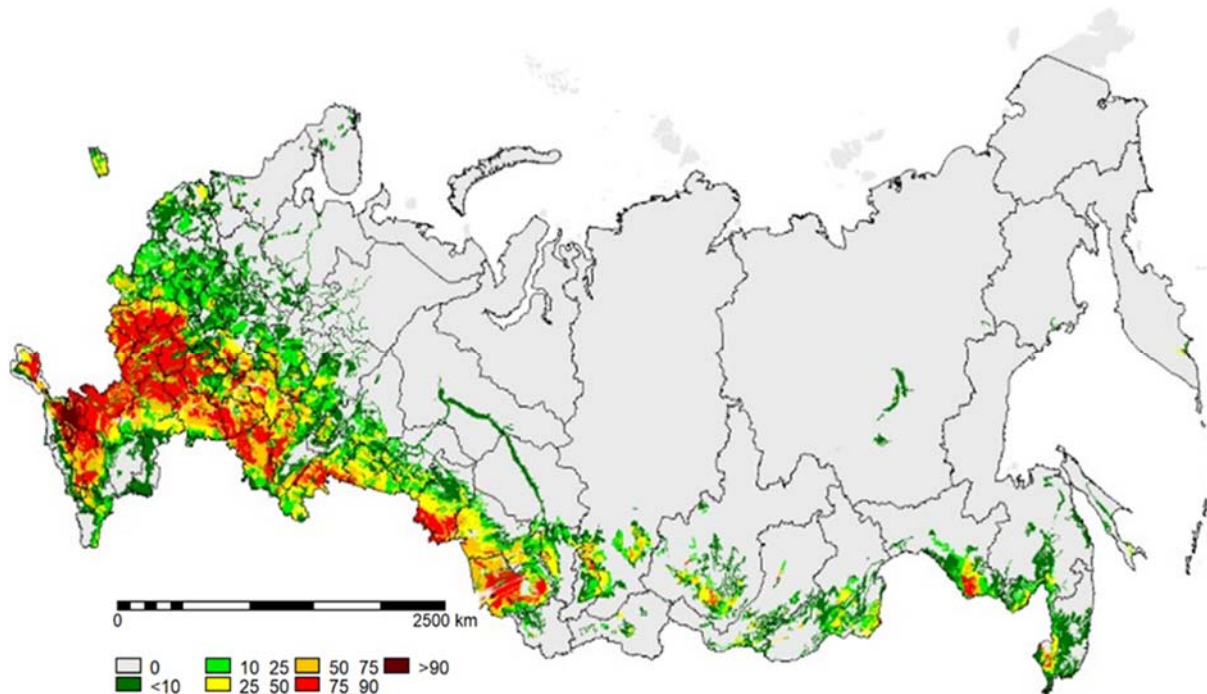


Рисунок 2. Распаханность почв в выделах геометрической части Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [13]

Figure 2. Soil plowing in the plots of the geometric part of the Unified State Register of Soil Resources of Russia [13]

Сравнительные исследования Монголии [14; 15] и России показывают, что степные экосистемы сохраняют устойчивость только при умеренном выпасе, тогда как его полное прекращение провоцирует накопление ветоши и пирогенные сукцессии [15]. Данные, полученные благодаря ГИС [16] демонстрируют, что продуктивность пастбищ степной зоны снижается на 15–30 % при превышении нагрузок выше 1,5 условных голов/га, что требует пересмотра норм выпаса и внедрения ротационных систем.

США и Канада стали одними из первых стран, системно подошедших к сохранению степных ландшафтов. После экологической катастрофы 1930-х годов («Великая Пыльная чаша»), вызванной нерациональной распашкой прерий, в США внедрили программы контурного земледелия и Conservation Reserve Program (CRP), возвращающие земли под

естественную растительность [17]. Канада присоединилась к программам восстановления степных экосистем позднее, начиная с 1990-х годов сосредоточившись на реинтродукции бизонов и восстановлении злаковых сообществ в провинциях Альберта и Саскачеван. В 2017 году в национальном парке Банф (Альберта) [18] впервые за более чем столетие была осуществлена реинтродукция стада бизонов, ранее исчезнувших в этом регионе. Подобные проекты также реализуются в Grasslands National Park (Саскачеван) [19; 20] с 2005 года, а основное маточное поголовье для реинтродукции формировалось в Elk Island National Park в Альберте (Рисунок 3). Эти меры заложили основу для современных подходов к управлению травянистыми биотомами через баланс сельского хозяйства и экологии.

*В 2023 году Генпрокуратура РФ приняла решение о признании нежелательным в России Всемирного фонда природы (WWF). В данной работе упоминание отчётов WWF необходимо для полноценного анализа исследуемой проблемы.

*In 2023, the Russian Prosecutor General's Office declared the World Wide Fund for Nature (WWF) undesirable in Russia. In this paper, reference to WWF reports is necessary for a comprehensive analysis of the issue under study.

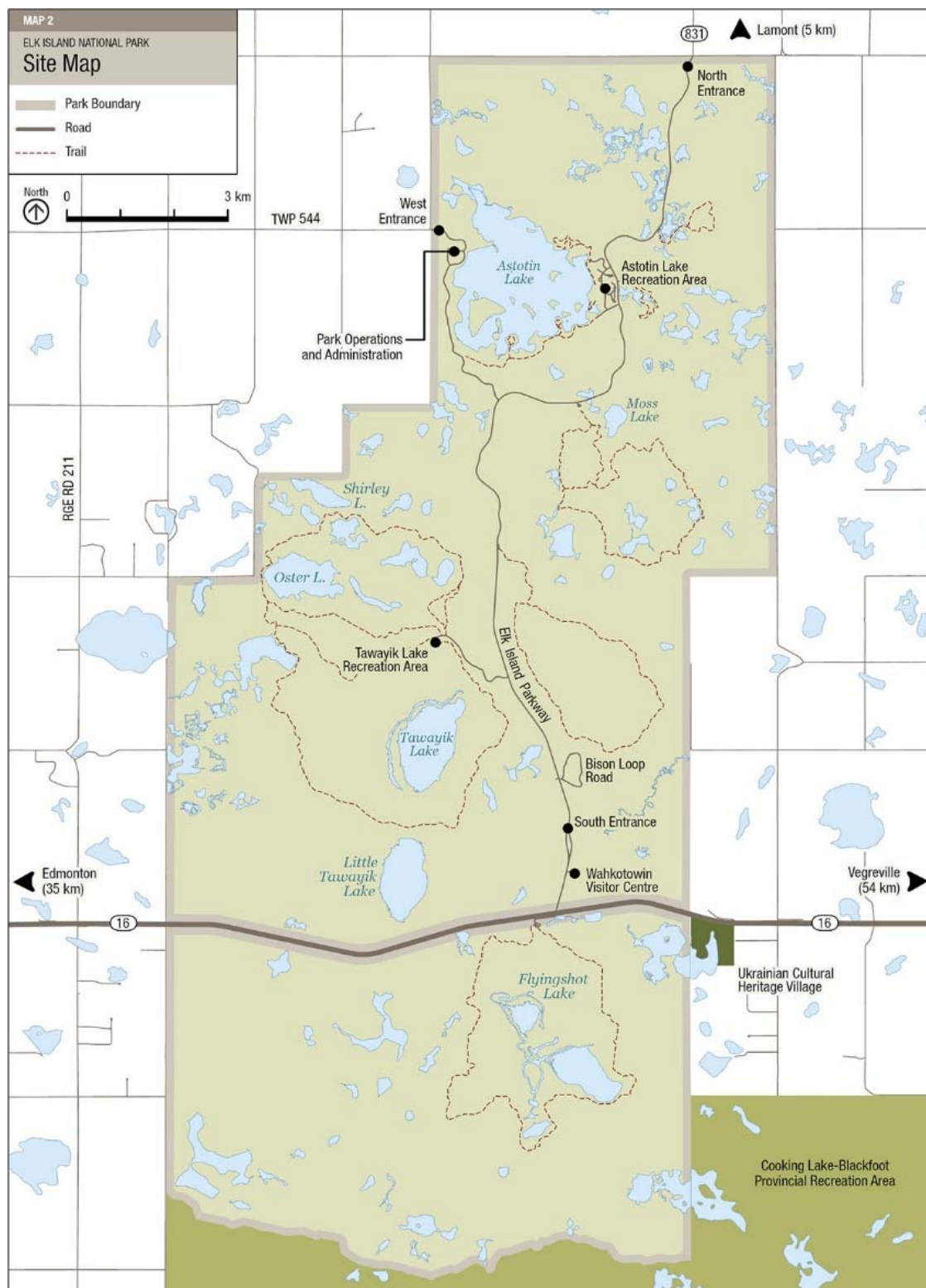


Рисунок 3. Национальный парк Элк Айленд [21]
Figure 3. Elk Island National Park [21]

Европейский союз включился в процесс сохранения степных ландшафтов позднее [22], сделав ставку на межгосударственные проекты. Германия и Венгрия с конца XX века реализуют программы ренатurationи сельскохозяйственных территорий, интегрируя степные фрагменты в общеевропейскую сеть Natura 2000 [23]. Знаковым событием стала инициатива «Золотая степная цепь» (Golden Steppe Chain Initiative) [24], запущенная при поддержке МСОП в 2010 году для обмена

технологиями рационального выпаса и создания банков семян.

Страны Центральной Азии разработали уникальные модели, сочетающие традиционные практики и цифровые технологии. Казахстан, начиная с 2010 года, создаёт кластерные охраняемые территории (например, «Алтын-Дала») (Рисунок 4), которые защищают миграционные пути сайгаков и сохраняют ковыльные степи, параллельно внедряя системы мониторинга пастбищной нагрузки [25] (Рисунок 5).

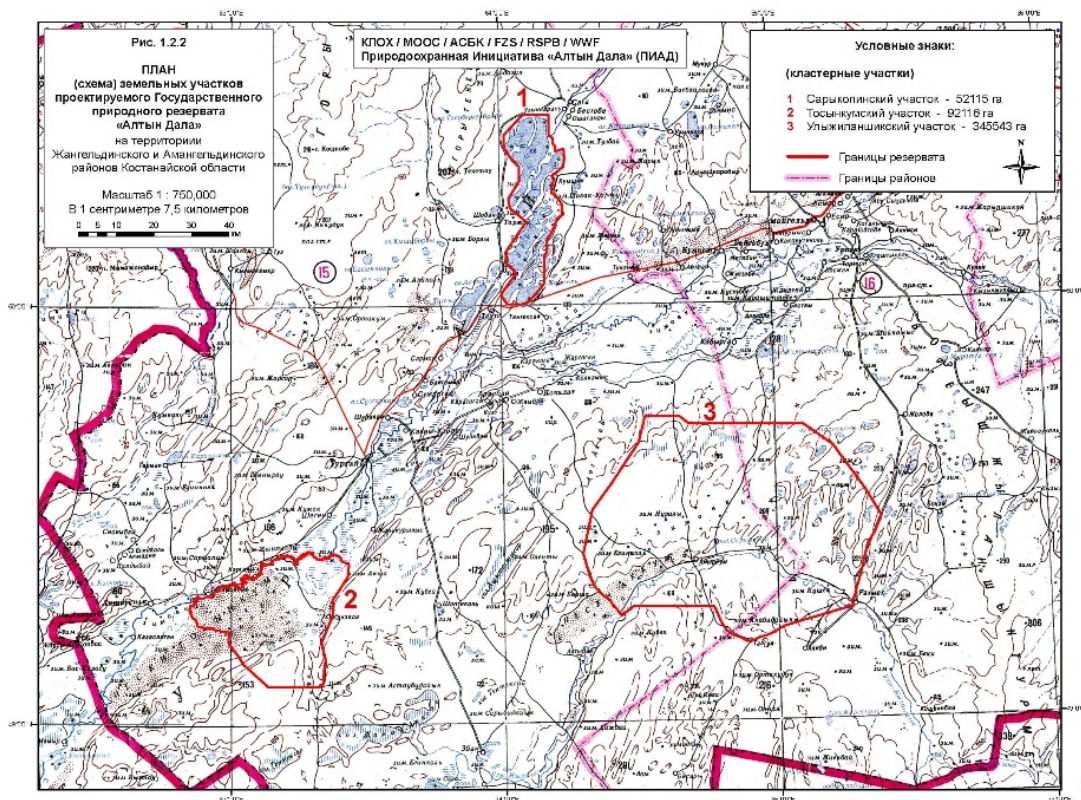


Рисунок 4. Естественно-научное обоснование создания государственного природного резервата «Алтын Дала» [25]
Figure 4. Scientific justification for the creation of the Altyn Dala State Natural Reserve [25]



Рисунок 5. Ареалы обитания и миграции сайгаков в Казахстане [26]
Figure 5. Habitats and migrations of saiga antelopes in Kazakhstan [26]

Страны, объединённые одной проблемой, стараются найти выход совместными силами. Для этого создаются международные инициативы и программы, которые позволяют объединить ресурсы и опыт разных государств. Предполагается, что такие объединённые

усилия должны быть более эффективны и охватывать большую часть стран с похожими проблемами. Так, например, ФАО активно внедряет программы, направленные на борьбу с деградацией земель и восстановление степных ландшафтов. В Монголии

совместно с Глобальным экологическим фондом (ГЭФ) реализуется проект «Регенеративное сельское хозяйство, способствующее укреплению здоровья почв, поддержанию биоразнообразия и борьбе с изменением климата в Монголии», охватывающий 27,3 млн га степей [27]. К 2025 году планировалось восстановить 248 827 га деградированных земель через обучение скотоводов методам ротационного выпаса, создание кооперативов для экологически чистого производства и внедрение климатически оптимизированного растениеводства [28]. Согласно публикуемой информации, программа уже повысила уровень жизни 25 000 человек и сократила выбросы парниковых газов

на 8,8 млн тонн за счёт восстановления растительного покрова. Восстановлено более 292 200 га естественных лугов.

Важным инструментом организации стала геопрозрачная платформа Open Foris, которая используется для мониторинга состояния лесов и степей в Центральной Азии и России [29]. В рамках инициативы «Рука об руку» [30; 31] создана база данных для степей (Рисунок 6), включающая рекомендации по севообороту и борьбе с эрозией. Обучение специалистов ГИС-технологиям позволило регионам принимать решения на основе точных данных.



Рисунок 6. Проект Earth Map, инициатива ФАО "Рука об руку" [32]
Figure 6. Project Earth Map, FAO "Hand-in-Hand" initiative [32]

В Африке ФАО поддерживает проекты, актуальные для засушливых экосистем, сходных по условиям со степями. В Кении, например, местные общины применяют методы сбора дождевой воды, в частности

полукруглые запруды (semi-circular hoops), для предотвращения эрозии почв и повышения продуктивности пастбищ (Рисунок 7).

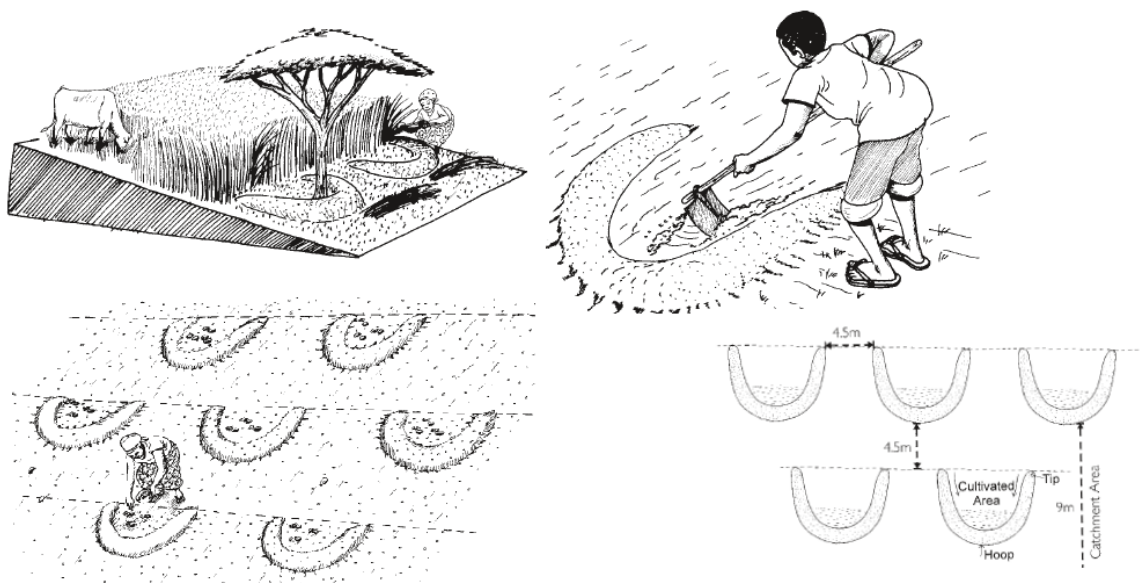


Рисунок 7. Полукруглые запруды [33]
Figure 7. Semi-circular dams [33]

Эти технологии позволяют собирать и концентрировать поверхностный сток до его потери, что существенно увеличивает доступность воды для сельскохозяйственных нужд и способствует восстановлению деградированных территорий. В качестве примера приводится опыт округа Макуени, где такие методы успешно применяются для повышения устойчивости агроландшафтов к климатическим экстремумам [34].

ЮНЕП же, в свою очередь, помогает координировать глобальные инициативы, такие как Десятилетие восстановления экосистем ООН (2021–2030), продвигаемого ФАО, в рамках которого степные районы стали одним из приоритетов [35]. В рамках инициативы «Флагманы движения за восстановление» [36] ООПТ «Алтын Дала» интегрирована в экосеть, соединяющую миграционные пути копытных. В программу входят территории Наурзумского и Камыстинского районов, а также Государственный природный резерв «Алтын Дала», охватывающий места миграций, окота и летовки сайгаков. Эта экосеть направлена на преодоление фрагментации местообитаний и сохранение жизнеспособности популяций копытных видов в степных экосистемах Казахстана. В Монголии разработаны индикаторы деградации для 50 % пастбищ, что позволило оптимизировать нагрузку на угодья и восстановить водные источники [37; 38].

Ключевые факторы деградации включают агротехническую распашку, приводящую к ветровой эрозии чернозёмов, и переэксплуатацию пастбищ, вызывающую обеднение травостоя. В Оренбургско-Казахстанском регионе массовое вовлечение залежей в сельхозоборот провоцирует исчезновение ключевых видов (сурки, сайгаки) и снижение биоразнообразия [39]. Парадоксально, что режим строгой охраны без учёта роли копытных в поддержании биоценозов также дестабилизирует экосистемы, способствуя накоплению горючего материала и пирогенным сукцессиям.

Восстановление степей необходимо для сохранения глобального углеродного баланса, поскольку эти биомы депонируют континентальный углерод. Регенерация травостоя с доминированием злаков (роды *Stipa*, *Festuca*) способна предотвратить эмиссию 0.5–1.5 кг С/м²/год, аккумулируя углерод в мощных корневых системах [40]. Для России это особенно значимо в контексте климатических обязательств, учитывая, что степные районы обеспечивают до 40 % сельхозпроизводства, но теряют плодородие из-за дегумификации почв [41]. Экосистемные услуги степей включают поддержание гидрологического режима, предотвращение пыльных бурь и сохранение агробиоразнообразия (центры происхождения пшеницы, ячменя). Реинтродукция копытных (лошадь Пржевальского, сайгак) позволяет восстановить трофические цепи и естественную динамику травостоя. Международный опыт (например, проекты ЕС по ренатурации агроландшафтов) подтверждает, что сочетание традиционного выпаса с современными почвозащитными технологиями способно обеспечить экономическую устойчивость сельских регионов.

Глобальное изменение климата и антропогенное воздействие трансформируют степные экосистемы, угрожая их устойчивости. Например, повышение температуры как на территории России, так

и во всём мире приводит к смещению природных зон – границы лесов и степей перемещаются к северу, усиливая фрагментацию степных ландшафтов. Это провоцирует вытеснение аборигенных видов (ковыль, типчак) другими растениями и сокращение биоразнообразия. Одновременно рост концентрации CO₂ стимулирует фотосинтез, но неравномерно – доминируют сорные виды, адаптированные к засухам. Климатические изменения перераспределяют водные ресурсы, что критично для засушливых степей. Учащение экстремальных ливней вместо равномерных осадков усиливает эрозию, а засухи снижают продуктивность травостоя. В Казахстане и Монголии это уже вызвало деградацию 70 % пастбищ, нарушив традиционное природопользование. Моделирование показывает, что к 2100 году подобные процессы охватят до 50 % степных биомов, особенно в районах с многолетней мерзлотой, где таяние грунтов меняет гидрологический режим.

Смещение климатических зон влияет и на фауну: миграции сайгаков и грызунов дестабилизируют пищевые цепи. Удлинение вегетационного периода, хотя и повышает продуктивность пастбищ на 9–24 % в отдельных регионах, не компенсирует потерь от перевыпаса и фрагментации экосистем. Программы вроде «Золотой степной цепи» МСОП пытаются восстановить баланс через банки растений и семян и экокоридоры, но их внедрение требует международной координации.

В Конвенции по борьбе с опустыниванием неоднократно подчёркнуто, что преодоление глобального кризиса земельных ресурсов требует пересмотра парадигмы управления: вместо ориентации на ограничения роста необходимо акцентировать уважение к так называемым экологическим лимитам через ответственное потребление, внедрение устойчивых практик и продуманное территориальное планирование. Ключевыми элементами такой стратегии выступают обеспечение земельных прав, гендерное равенство, стимулирование экологически ориентированного производства и многофункциональное землепользование, интегрирующее сохранение биоразнообразия, рациональное водопользование и восстановительные мероприятия.

Реализация этой повестки предполагает согласование интересов всех стейкхолдеров, включая правительства, корпорации и локальные сообщества, поскольку от сбалансированного распределения выгод и ответственности зависит способность человечества обеспечить долгосрочную устойчивость земельных ресурсов, необходимую для достижения целей устойчивого развития. Инвестиции в инновационные технологии, образовательные программы и институциональные реформы становятся критически важными для формирования экономики замкнутого цикла, минимизирующей экологический след и увеличивающей социальную инклюзивность, что в перспективе позволит совместить экономический рост с восстановлением деградированных экосистем.

ОБСУЖДЕНИЕ

В разных странах в рамках Десятилетия восстановления экосистем развиваются свои инициативы. Так, например, на территории Германии зафиксировано свыше 140 проектов, направленных на регенерацию

болотных биоценозов, речных пойменных комплексов и агроландшафтов. Несмотря на отсутствие специализированных программ, ориентированных непосредственно на степные биотопы, мероприятия по сохранению остепнённых судоходных лугов интегрированы в стратегии защиты малопродуктивных почв и кальцефитных полуаридных луговых сообществ. Ярким примером служат инициативы по восстановлению борщевиковых и кальциевых лугов в федеральной земле Саарланд, такие как проект LIFE «Сохранение и восстановление борщевиковых лугов в Центральной Европе» (LIFE-Projekt Borstgrasrasen) [42] и крупный природоохранный проект «Saar-Blies-Gau/Auf der Lohe» [43].

В рамках LIFE-проекта по восстановлению борщевиковых лугов (Borstgrasrasen) в 34 проектных участках на территории Саара, Рейнланд-Пфальца, Бельгии и Люксембурга были реализованы мероприятия по расчистке, удалению кустарников, внесению семенного материала и последующему внедрению экстенсивного выпаса и сенокосения. Благодаря этим действиям удалось не только стабилизировать, но и увеличить численность редких видов растений и животных, характерных для этого типа лугов, а также обеспечить долгосрочное сохранение ценных биоценозов. Проект отличался широкой международной кооперацией и активным вовлечением местного населения через информационные кампании, экскурсии и образовательные мероприятия.

Другим примером является природоохранный проект «Saar-Blies-Gau/Auf der Lohe», направленный на сохранение и развитие орхидейных кальциевых лугов и богатых видов экстенсивных пастбищ региона Блисгау. Здесь на площади более 600 га восстанавливаются разные биотопы, в том числе и кальциевые полусухие луга. Значительная часть территорий была передана в аренду местным фермерам для поддержания традиционного выпаса и экологически ориентированного земледелия. В рамках проекта также реализуются работы по восстановлению живых изгородей, уходу за орхидейными лугами, развитию экологического туризма.

В стране дополнительно разработана база данных [44], систематизирующая количественные показатели эффективности, включая увеличение индекса видового разнообразия до 30 % на рекультивированных территориях. Ряд проектов внедряет инновационные подходы, включая метод пересадки растительного материала с сохранённых участков на деградированные территории. Финансирование таких инициатив осуществляется за счёт европейских, федеральных и региональных источников, при этом средний объём инвестиций на проект составляет порядка 250 000 евро [45].

При всём разнообразии реализуемых мер, целевая стратегия по восстановлению степных экосистем в национальном масштабе остаётся не сформированной, что обусловлено их отсутствием в официальной классификации биотопов Германии.

Опыт США

Степные экосистемы прерий США объединяет умеренно-континентальный климат с годовым количеством осадков 200–450 мм, резкими температурными колебаниями и выраженной

засушливостью летом. Зона формируется на чернозёмовидных брунизёмах – промежуточных почвах между чернозёмом и бурыми лесными почвами – и каштановых почвах, что исторически предопределило их сельскохозяйственную ценность. Растительный покров представлен злаково-разнотравными сообществами, например, Бизоновой травой и бородачом, при этом структура экосистем адаптирована к сезонным засухам через эфемероиды и глубокие корневые системы.

Прерии в США сильно пострадали от распашки: в XIX–XX веках до 90 % земель были преобразованы в пашни, что привело к эрозии почв и потере биоразнообразия. В ответ на это в Правительстве страны разработали реставрационные программы: в США с 1985 года действует Conservation Reserve Program (CRP), выводящая эрозионно-опасные земли из оборота. Инициатива охватывает 15 млн га.

Опыт США в восстановлении степных экосистем на Великих равнинах иллюстрирует эффективность сочетания государственных программ, научных методик и сотрудничества с частными землевладельцами. После катастрофических пыльных бурь 1930-х годов, вызванных интенсивной распашкой прерий, федеральные власти запустили Программу резервирования территорий (CRP) в рамках Билля о сельском хозяйстве 1985 года, предусматривающую долгосрочные контракты с фермерами на вывод эрозионно-уязвимых земель из оборота сроком более 10 лет с компенсацией затрат через субсидии и налоговые льготы [46]: в программу включали низкопродуктивные угодья с уровнем эрозии почв не менее 11 тонн на акр в год, заболоченные территории, буферные зоны вдоль водотоков, а также участки, обладавшие исторической и экологической ценностью. Такой подход позволял сфокусировать усилия на наиболее уязвимых и значимых с точки зрения экосистем участках.

Финансовая мотивация фермеров, участвовавших в программе, строилась на нескольких компонентах. Во-первых, участникам выплачивали ежегодные рентные платежи, которые в среднем составляли около 55 долларов за акр (например, в штате Висконсин). Также были предусмотрены разовые субсидии на восстановительные работы, покрывавшие до 50 % затрат на восстановление естественной растительности. Дополнительно фермеры получали налоговые льготы, включая снижение имущественного и земельного налогов, что дополнительно стимулировало сохранение земель в природном состоянии.

Обязательства фермеров по контрактам, рассчитанным на срок не менее 10 лет, включали прекращение распашки выбранных участков, восстановление естественной растительности и регулярный мониторинг состояния земель, что обеспечивало долговременный экологический эффект и контроль за выполнением условий программы.

Реализация CRP проходила через несколько этапов. Изначально фермеры добровольно подавали заявки с указанием земельных участков. Затем проводили экологическую экспертизу с оценкой эрозионных рисков и биоразнообразия. После этого осуществляли конкурсный отбор, в котором приоритет отдавали землям с эрозией свыше 20 тонн на акр в год, водоохраным зонам и коридорам миграции диких животных. Заключение контракта фиксировало график

восстановительных мероприятий, размеры компенсаций и санкции за нарушение условий, вплоть до возврата всех выплат.

За первые десятилетия реализации CRP было вовлечено более 36 млн акров (около 15 млн га) земель, что вдвое превышает площадь всех национальных заказников США, а средняя скорость эрозии почвы снизилась с 19 до 4,25 т/га в год [47; 48]. Восстановленные злаковые сообщества стали рефугиумом для редких видов, включая Большого лугового тетерева (*Tympanuchus cupido*), чья численность в отдельных штатах значительно увеличилась. На Великих равнинах сочетание засухоустойчивых трав, экстенсивного выпаса и агролесомелиорации позволило вернуть продуктивность низкотравным прериям, ранее опустошённым «Пыльным котлом». Однако CRP изначально ориентировалась на сокращение перепроизводства сельхозпродукции, что ограничивало её природоохранный потенциал — восстановленные участки часто фрагментированы, что затрудняет миграцию видов.

Для повышения эффективности The Nature Conservancy и Ducks Unlimited интегрировали критерии биоразнообразия в отбор земель, а фермеры получили доступ к семенным смесям местных трав и специализированной технике [49]. Однако CRP остаются основой экономической мотивации землевладельцев, тогда как самостоятельное восстановление прерий нерентабельно. В долгосрочной перспективе устойчивость степных экосистем требует пересмотра земельной политики в пользу консолидированных территорий.

Опыт Канады

Хотя Канада ассоциируется преимущественно с бореальными лесами, её прерии на юге провинций Альберта, Саскачеван и Манитоба также требуют экологической реставрации.

Выше уже упоминались биосферные зоны по разведению бизонов, однако помимо них есть и другие проекты, прямо или косвенно направленные на восстановление и сохранение прерий. Основной акцент сделан на восстановление коренных травяных сообществ через посев засухоустойчивых видов, таких как Бизонова трава (*Bouteloua gracilis*) и Пырейник (*Agropyron smithii*), что стабилизирует почвы и снижает эрозию. Например, в провинции Альберта применяют метод прямого посева с минимальной обработкой почвы, что ускоряет восстановление растительного покрова на бывших сельхозугодьях [50]. В Саскачеване активно развивают партнёрство с фермерами, предлагая субсидии за вывод деградированных земель из оборота и создание буферных зон вдоль водоёмов для защиты водных экосистем и редких видов, таких как Канадский журавль (*Grus canadensis*). Программы субсидий стимулируют фермеров переводить эродированные, засоленные или малопродуктивные участки в категорию охраняемых территорий, особенно вдоль водоёмов. Критериями отбора служат низкое содержание органики в почве и близость к водным объектам, что критически важно для защиты водных экосистем.

Важным направлением стала реинтродукция ключевых видов, поддерживающих экологический баланс. Так, в рамках международного сотрудничества

Канада участвовала в проектах по восстановлению лесных бизонов (*Bison bison athabascae*), часть которых была передана в Россию для создания резервных популяций. На региональном уровне в Манитобе восстанавливают водно-болотные угодья, используемые мигрирующими птицами, через удаление инвазивных растений и контроль уровня воды. Однако в отличие от США, где действует масштабная Conservation Reserve Program (CRP), канадские инициативы остаются локальными, например, проект «Парк прерий» в Саскачеване [51], где сочетают экотуризм и восстановление биоразнообразия.

Инновационные методы включают использование искусственных микробиомов для улучшения почвенного плодородия и спутникового мониторинга для оценки эффективности восстановительных мер. В провинции Британская Колумбия (хотя и за пределами прерийных зон) успешно реализованы проекты по восстановлению водно-болотных угодий в устье реки Фрейзер, что повысило численность лососёвых видов. Для прерийных регионов Канады остаётся актуальной проблема фрагментации местообитаний, поэтому особое внимание уделяют созданию экологических коридоров между охраняемыми территориями, например, в рамках инициатив по защите Степного Сурка (*Cynomys ludovicianus*).

Kumay

Степные ландшафты страны сосредоточены преимущественно в западных и северных регионах, включая Внутреннюю Монголию, Синьцзян-Уйгурский автономный район и части провинций Ганьсу и Нинся. Эти территории отличаются аридным и семиаридным климатом с годовым количеством осадков менее 400 мм, что определяет их принадлежность к зонам сухих степей и опустыненных ландшафтов. Степные зоны граничат с пустынями Гоби и Такла-Макан на западе, лесостепями Даурии на северо-востоке и сельскохозяйственными областями (Великая Китайская равнина) на востоке. А интенсивное освоение пастбищ и климатические изменения способствуют опустыниванию. Именно поэтому сохранение степных экосистем больше связано с защитной функцией и включают такие природоориентированные решения (Nature-based Solutions), как высадка зелёных насаждений, выполняющих защитную функцию.

Проект «Три северных защитных пояса» [52], стартовавший в 1978 году, охватывает 13 провинций на северо-западе, севере и северо-востоке Китая, где создаётся система лесополос общей протяжённостью около 4,5 тыс. км. Ключевая задача — остановить опустынивание, вызванное перевыпасом скота и климатическими изменениями. К 2024 году программа позволила восстановить 20,3 млн га деградированных земель за счет комбинированных методов: посадки засухоустойчивых видов (*Populus*, *Haloxylon ammodendron*), создания соломенных барьеров для закрепления песков и внедрения капельного орошения в засушливых районах. В рамках проекта реализовано 22 крупных подпрограммы, включая создание ветрозащитных полос вокруг Пекина, что снизило частоту песчаных бурь в столице на 40–50 % за последнее десятилетие.

Для мониторинга эффективности используют спутниковые системы (Landsat, Sentinel-2) и дроны, анализирующие NDVI для оценки состояния

растительности. NDVI (Normalized difference vegetation index, Нормализованный вегетационный индекс) – это числовой показатель качества и количества растительности на участке поля. Он рассчитывается по спутниковым снимкам и зависит от того, как растения отражают и поглощают световые волны разной длины. К 2050 году планируется высадить 36 млн га новых лесов, что усилит углеродный секвестр и защитит сельхозугодья от эрозии. Программа может стать моделью для аналогичных инициатив в Центральной Азии и Африке, демонстрируя, как масштабные экопроекты могут сочетаться с экономическими интересами (например, выращивание *Glycyrrhiza uralensis* для фармацевтики. Солодка активно используется в фармацевтике и народной медицине, потому что обладает противовоспалительным и антигистаминным эффектом). Однако остаются вызовы, включая необходимость оптимизации водопользования в условиях дефицита водных ресурсов и адаптации к учащающимся экстремальным погодным явлениям.

Западная Европа

В континентальных регионах Западной Европы, включая Нижнедунайскую равнину, стратегии восстановления опираются на комплексный анализ исторического землепользования и адаптацию современных агроэкологических практик. Количественные реконструкции для Нижнедунайской равнины [53] демонстрируют, что антропогенная трансформация лесостепей началась ещё в эпоху неолита, с чередованием периодов интенсивного земледелия и забрасывания угодий, что сформировало мозаику вторичных лугово-степных сообществ. Современные проекты сочетают два подхода:

1. Пассивное восстановление через вывод деградированных земель из оборота, что позволяет запустить естественную сукцессию. Однако скорость восстановления видовой разнообразия здесь ниже, чем при активном вмешательстве, особенно на территориях с фрагментированными источниками семян.

2. Активное направленное засеивание местными видами, включая использование многосемянных смесей растений (*Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*), что подтверждается разными исследованиями. Например, исследование на территории Южной Украины [54] показало, что функциональное восстановление степных экосистем (восстановление циклов питательных веществ, структуры травостоя) происходит за 5–10 лет, тогда как полное таксономическое соответствие эталонным сообществам требует 15–20 лет даже при активном засеивании.

Отсюда можно выделить интересные методы восстановления, которые могут лечь в основу стратегии восстановления степных экосистем в России:

1. Буферные зоны с местной флорой интегрируются в агроландшафты для снижения эрозии и поддержания микропопуляций степных видов. В Нижнедунайском регионе такие зоны часто создаются вдоль речных коридоров, что усиливает их роль как экологических «мостов».

2. Адаптация сенокосных режимов: позднее скашивание (июль–август) позволяет завершить цикл семенного возобновления доминирующих видов, таких как *Stipa pennata* и *Festuca valesiaca*.

Фитомелиорация для реабилитации почв, загрязнённых агрохимикатами, с использованием видов-гипераккумуляторов (*Centaurea* spp., *Artemisia campestris*), что особенно актуально для постконфликтных территорий.

Исследование, опубликованное в *Applied Vegetation Science*, подчёркивает, что даже при активном засеивании доля степных видов в восстановленных сообществах достигает лишь 60–70 % от эталонных участков через 10 лет, что связано с инерцией почвенных микробных сообществ и конкуренцией с рудеральными видами. В Нижнедунайском регионе аналогичные проекты сталкиваются с дополнительными вызовами, такими как инвазия *Robinia pseudoacacia*, требующая механического удаления и последующего залужения.

Однако стоит помнить, что украинские степи расположены в более западной части Евразийской зоны и отличаются более мягким климатом с продолжительным вегетационным периодом (до 245 дней), тогда как российские степи, особенно восточные (например, в Сибири), имеют более резко континентальные условия с меньшим количеством осадков. На Украине степная зона непосредственно граничит с Чёрным и Азовским морями, формируя прибрежные экосистемы, тогда как в России степи Причерноморья выражены слабее, а основная часть зоны удалена от морей.

Кроме того, украинские степи исторически связаны с лесостепными ландшафтами, где сохранились участки луговых степей (например, Михайловская целина), в то время как в России преобладают ковыльно-типчаковые ассоциации с большим участием засоленных почв на востоке. Всё это необходимо учитывать при адаптации восстановительной методики на территории Российской Федерации.

Финансовая поддержка ЕС, включая инициативу «Глобальное обязательство по лесам» [55] с бюджетом 1 млрд евро, теоретически может быть направлена на степи через борьбу с опустыниванием и деградацией почв. Например, за счёт «промежуточных» лесостепных экосистем или через включение степей в проекты по предотвращению деградации земель, которые уже финансируются зелёным климатическим фондом. На практике же приоритет отдаётся лесопосадкам, что связано как с климатической повесткой (поглощение CO₂), так и с политической видимостью результатов. Для степных экосистем критически важно развитие специализированных инструментов, таких как карбоновые фермы, аккумулирующие углерод в корневой системе травянистых растений [44]. Однако текущее законодательство ЕС не предусматривает чётких критериев для подобных проектов, а отсутствие единых мониторинговых систем затрудняет оценку их эффективности. Таким образом, хотя ЕС располагает ресурсами и технологиями для восстановления степей, их реализация требует пересмотра приоритетов в пользу менее «популярных», но экологически значимых биомов.

При анализе практик восстановления степных и степеподобных экосистем разных регионов можно сделать вывод, что единой стратегии не существует. Разные страны используют различные методики восстановления, обусловленные климатической, экономической, социальной и политической

спецификой. В Германии, несмотря на отсутствие целевой программы для степей, внимание уделяется сохранению остепненных суходольных лугов как части стратегии защиты малопродуктивных почв и каллефитных полуаридных луговых сообществ. Важной инновацией является метод пересадки растительного материала с сохранных участков на деградированные, что ускоряет восстановление. Финансирование осуществляется за счёт европейских, федеральных и региональных источников, со средним объёмом инвестиций около 250 000 евро на проект, что обеспечивает устойчивость и масштабность. Однако такой метод малоприменим в условиях Российской Федерации, так как выделяемая сумма эквивалентна 23 587 375,00 рублей при ставке 1 евро = 94,35 рублей на момент 23.04.2025.

В США, программа Conservation Reserve Program (CRP) стала ответом на катастрофические пыльные бури 1930-х годов. CRP предоставляет фермерам долгосрочные контракты (более 10 лет) на вывод эрозивно-уязвимых земель из оборота, компенсируя затраты через субсидии и налоговые льготы. Благодаря CRP было вовлечено более 15 млн га земель, что вдвое превышает площадь всех национальных заказников США. Средняя скорость эрозии почвы снизилась с 19 до 4,25 т/га в год, а восстановленные злаковые сообщества стали убежищем для редких видов, таких как большой луговой тетерев. В Канаде, где акцент сделан на восстановление коренных травяных сообществ через посев засухоустойчивых видов, активно развивают партнерства с фермерами, предлагая субсидии за вывод деградированных земель из оборота и создание буферных зон вдоль водоемов. Важным направлением является реинтродукция ключевых видов, например, лесного бизона, и использование инновационных методов, таких как искусственные микробиомы для улучшения почвенного плодородия и спутниковый мониторинг.

Программа CRP в США показывает эффективность сочетания государственных стимулов и научных методов, но изначально была ориентирована на сокращение перепроизводства, что ограничивало природоохранный потенциал. Для повышения эффективности The Nature Conservancy и Ducks Unlimited интегрировали критерии биоразнообразия в отбор земель, а фермеры получили доступ к семенным смесям местных трав и специализированной технике. Китайский проект «Три северных защитных пояса» впечатляет масштабами (лесополосы протяженностью около 4,5 тыс. км) и комплексным подходом (капельное орошение, соломенные барьеры), однако требует оптимизации водопользования в условиях дефицита водных ресурсов. В Европе методы, основанные на пассивном восстановлении и адаптации агроэкологических практик, эффективны в поддержании биоразнообразия, но требуют больше времени для достижения результатов, чем активное засеивание. В конечном счёте, выбор стратегии должен основываться на специфике конкретного региона, его климатических и социальных условиях, с учётом долгосрочной устойчивости и согласования интересов всех заинтересованных сторон.

Россия

Степи в Российской Федерации занимают около 1,7 млн км² (менее 10% территории страны), включая

луговые (710 тыс. км²), настоящие (470 тыс. км²), сухие (320 тыс. км²) и опустыненные степи (230 тыс. км²). Сохранившиеся природные экосистемы оцениваются в 34–50 млн га (2–3 % площади РФ), при этом залежные земли занимают 26–36 млн га, что создаёт потенциал для восстановления степного биома. Интенсивная распашка уничтожила до 95 % степей в Европейской части и 50–70 % в Сибири, превратив регионы в ключевые сельскохозяйственные районы.

Деградация степных биомов довольно популярная тема исследований среди учёных Российской Федерации. В рамках работы было проанализировано 7 исследований, которые легли в основу разработки стратегии по сохранению и рекультивации степных экосистем в разных областях.

Так в работе, посвященной агроэкологическим проблемам Оренбургской степи [57] и всего Поволжья в целом, указана взаимосвязь деградации земель и изменения климата. Устойчивый рост среднегодовых температур и трансформация режима осадков, проявляющаяся в сокращении весенних дождей и учащении летних ливней, усугубляют засушливость ландшафтов. Это приводит к усилению испарения влаги, снижению уровня грунтовых вод и прогрессирующему опустыниванию. Особую тревогу вызывает ускоренная деградация почв: потери гумуса, ветровая и водная эрозия, засоление. Эти процессы не только снижают продуктивность сельхозугодий, но и разрушают естественные механизмы саморегуляции степных биоценозов, ставя под угрозу их биоразнообразие.

Наряду с климатическими факторами, по мнению авторов, критическое влияние оказывают традиционные агропрактики. Перевыпас скота приводит к уплотнению почвы и уничтожению растительного покрова, а распашка склонов без противоэрозионных мер провоцирует потерю плодородного слоя. Замена многовидовых травостоев монокультурами, такими как пшеница или подсолнечник, снижает устойчивость экосистем к засухам и вредителям. В результате степные ландшафты фрагментируются, уступая место сорным сообществам с доминированием молочая и полыни. Эти изменения носят необратимый характер без своевременного вмешательства.

Для противодействия кризису необходимы адаптивные стратегии, сочетающие научные разработки и регулирование землепользования. Внедрение засухоустойчивых сортов, минимальной обработки почвы и мульчирования способно снизить антропогенную нагрузку. Однако ключевым элементом становится пересмотр подхода к охране степей: создание защитных лесополос, восстановление гидрологического режима через мелиорацию и строгий контроль за распашкой сохранившихся целинных участков. Параллельно требуется развитие альтернативных форм экономики, таких как экологический туризм, чтобы снизить зависимость местных сообществ от эксплуатации природных ресурсов.

Успех этих мер невозможен без усиления государственного регулирования. Разработка стандартов экологически безопасного земледелия, субсидирование фермеров, внедряющих почвозащитные технологии, и создание системы мониторинга деградации почв должны стать приоритетами аграрной

политики. Особое внимание следует уделить просвещению: обучение фермеров методам устойчивого хозяйствования и вовлечение их в природоохранные программы способны изменить парадигму взаимодействия человека и степи.

Заключительным звеном стратегии должно стать международное сотрудничество. Обмен опытом по борьбе с опустыниванием, совместные исследования в области адаптации сельхозкультур к засухам и гармонизация экологических стандартов помогут выработать единые подходы к сохранению степей. Только комплекс мер, объединяющий климатическую адаптацию, экологизацию сельского хозяйства и социально-экономические инициативы, способен остановить деградацию уникальных степных экосистем России. Их сохранение — не просто экологическая задача, но условие продовольственной безопасности и устойчивого развития регионов.

Была проанализирована ещё одна работа, подтверждающая вышеописанные тезисы, но с правоведческой точки зрения [58]. Авторы констатируют отсутствие правовой защиты степей, что позволяет их распашку, застройку и разработку недр. Сокращение посевных площадей кормовых культур (в 6–20 раз с 1990 г.) привело к росту нагрузки на природные пастбища, вызывая их деградацию. Особенно критична ситуация в Ставропольском крае, где степи представлены сильно деградированными сообществами с доминированием сорных видов.

Мониторинг выявляет снижение биоразнообразия: исчезают эндемичные злаки (*Stipa*, *Festuca*), замещаясь Молочаем Сегиера и мятликом луковичным. Восстановление требует поэтапных мер: от защиты эталонных участков до реинтродукции аборигенных видов. Однако отсутствие финансирования и законодательной базы тормозит эти процессы.

Ключевой вывод статьи — необходимость интеграции степей в систему ООПТ и разработки федеральных стандартов их использования. Без этого даже локальные успехи (например, фитомелиорация) не смогут остановить общую деградацию. Однако это требует отчуждения земель, урегулирования проблем с их владельцами. Возможным компромиссом может служить введение режима охраны степных территорий на продолжительный срок — не менее 15–20 лет.

К вопросу формирования специальных степных ООПТ обращается и следующая анализируемая работа [59]. Статья предлагает создать сеть охраняемых территорий, охватывающих все типы степей — от луговых до опустыненных. Акцент делается на восстановлении экологического каркаса через коридоры между резерватами, что снижает фрагментацию. В качестве примера приведены проекты в Оренбургской области, где сочетают пастбищную ротацию с заказниками.

Особое внимание уделено почвенной микробиоте: ее разнообразие напрямую коррелирует с устойчивостью травостоев. Для деградированных земель рекомендованы методы биологической рекультивации с использованием местных штаммов микроорганизмов. Однако масштабы работ ограничены отсутствием специализированных центров по производству инокулянтов.

Автор подчёркивает, что стратегия должна включать социальный компонент: обучение фермеров, развитие экотуризма и субсидирование экологических

практик. Без участия местных сообществ долгосрочное сохранение степей невозможно.

Современные перспективы сохранения степных биocenozов описывает в своей работе и В.А. Лобков [60]. Однако конкретных мер не предлагает. «Сохранить участки дикой природы возможно, развивая на них новые направления деятельности, более доходные, чем сельскохозяйственная и рекреационная. Только в этом случае появятся экономические предпосылки сохранения природной среды в естественном виде. Источником средств должна стать биологическая продукция этих территорий, создаваемая возобновимыми природными ресурсами (животными и растительными), потенциал которых окончательно не выяснен и не оценён по достоинству» — пишет автор.

Интересна работа под руководством И.А. Трофимова [61]. Статья объединяет исторический опыт и современные инициативы. В 1949–1953 г. «Сталинский план преобразования природы» включал создание лесополос и запрет распашки склонов, что снизило эрозию почв в черноземной зоне. Сегодня эти меры требуют модернизации: например, замены монокультурных лесополос на разнотравные полосы, привлекающие опылителей. Авторы подчеркивают, что без участия местных сообществ даже научно обоснованные проекты обречены на провал.

Современные волонтерские программы демонстрируют потенциал гражданской науки. В Ростовской области добровольцы участвуют в сборе семян ковыля для восстановления степных участков, а в Оренбуржье — патрулируют заповедники, пресекая браконьерство. Однако массовому вовлечению мешает низкая информированность: менее 10 % жителей степных регионов знают о существовании локальных ООПТ. Решением могли бы стать образовательные проекты в школах и соцсетях.

Правовые инициативы остаются слабым звеном. Лоббирование «Степного кодекса» [62] (аналога «Лесного кодекса») тормозится из-за сопротивления агрохолдингов. В качестве альтернативы предлагается региональное регулирование: например, введение налоговых льгот для хозяйств, сохраняющих не менее 20 % целинных участков. Однако без федеральной поддержки такие меры не смогут остановить общую деградацию. Авторы призывают к объединению усилий учёных, бизнеса и местных жителей — только так можно сохранить степи для будущих поколений.

Интересен сравнительный анализ подходов России и Монголии к сохранению степей [63]. По мнению автора, в научном обществе в России вопрос больше рассматривается через призму экологических требований в аграрную политику, тогда как в Монголии сохранение основано на поддержке кочевого скотоводства, обеспечивающего естественную ротацию пастбищ. Автор отмечает, что отсутствие совместных программ для трансграничных степных массивов (например, в Забайкалье и Восточной Монголии) снижает эффективность мер — мигрирующие виды остаются уязвимыми при пересечении границ.

Ключевой тезис статьи — необходимость экономической переоценки степных экосистем. Внедрение понятия «экосистемных услуг» (например, углеродного депонирования) в стоимость сельхозпродукции могло бы стимулировать фермеров к сохранению биоразнообразия. Однако на практике это осложняется отсутствием законодательной базы:

субсидии за экологичные практики носят локальный характер, а международные гранты (ГЭФ, ПРООН) не покрывают всех регионов.

Однако возможен конфликт между агробизнесом и экологами. Расширение пахотных земель под сою и подсолнечник в Ставрополье и Оренбуржье продолжается, несмотря на риски опустынивания. Авторы предлагают компромиссные решения: выделение «буферных зон» вокруг ООПТ с льготным налогообложением для хозяйств, внедряющих почвозащитные технологии. Важно, что без федерального финансирования такие инициативы остаются декларативными.

Последняя рассмотренная работа посвящена потенциалу самовосстановлению степных экосистем. Так, статья «Самовосстановление степных экосистем на постцелинном пространстве» [64] посвящена процессам естественного восстановления степей на территориях, ранее распаханых во время целины (1950-е гг.). Авторы выделяют западный (Заволжско-Тургайский) и восточный (Павлодарско-Кулундинский) сектора постцелинного пространства, где изучали динамику самовосстановления титульных видов, таких как ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*) и красный ковыль (*Stipa pulcherrima*). Основной вывод – степные экосистемы демонстрируют высокую устойчивость: даже после многолетней распашки их базис восстанавливается за 10–15 лет.

Исследование основано на полевых наблюдениях 2008–2018 гг., включая геоботанические описания, анализ почв и учет фауны. Например, в Заволжье выявлен крупнейший массив вторичной степи (800 га) на каштановых почвах, заселенный сурками и стрепетами. Авторы подчеркивают роль пирогенных факторов: после пожаров доминируют житняк и костёр, что временно замедляет восстановление ковылей.

В работе прописаны конкретные меры: мораторий на распашку участков с красноковыльными степями, интеграцию вторичных степей в систему ООПТ, управление сукцессиями через контролируемый выпас. Особое внимание уделено роли степных копытных (сайгак, лошадь Пржевальского) как естественных «инженеров экосистем».

Авторы видят потенциал в управляемом восстановлении степей, сочетающем традиционные пастбищные практики с реинтродукцией исчезнувших видов. Однако успех зависит от законодательной поддержки, например, принятия «Степного кодекса» для регулирования землепользования. В дополнение, возникает вопрос: как совместить расширение пашни (подсолнечник, пшеница) с сохранением вторичных степей? В работе нет детального анализа влияния климатических изменений на скорость восстановления.

Теоретическое обоснование сохранения степных экосистем с точки зрения науки теперь понятно. Из всего вышеописанного следует, что современные стратегии реставрации степей включают два основных направления: естественное зарастание залежей и искусственное восстановление через экологическую реставрацию. Остаётся рассмотреть практические кейсы.

Естественное восстановление, наблюдаемое в Даурском заповеднике, демонстрирует, что заброшенные сельхозземли за 10–15 лет могут формировать устойчивые сообщества, близкие к коренным степям. Однако в условиях аридизации,

например, в Ставропольском крае, этот процесс осложняется доминированием сорных видов, таких как молочай Сегиера и мятлик луковичный, что требует управленческих вмешательств. Альтернативой выступает метод агростепей, разработанный Д.С. Дзыбовым [65], который основан на посеве семян аборигенных видов, собранных с эталонных участков. В Ставропольском НИИ [66] сельского хозяйства эта технология позволила воссоздать травостой, флористически близкие к целинным, всего за 2–3 года, благодаря подготовке почвы, посеву многокомпонентных смесей и нормированному выпасу.

Центрально-Черноземный заповедник [67] (ЦЧЗ) применяет комбинированный подход, сочетающий искусственное обогащение травостоя и естественные сукцессии. Эксперименты с посевом травосмесей, включающих «нежелательные» виды (костер безостый, пырей ползучий), показали, что даже такие комбинации повышают биоразнообразие, хотя полное ценолитическое сходство с эталонными участками достигается лишь через 5–7 лет из-за медленной сукцессии злаков, таких как ковыль перистый и типчак. Этот опыт подчеркивает, что комбинированные методы снижают риски монодоминирования сорняков и ускоряют восстановление деградированных земель.

Оренбургский заповедник в свою очередь, делает акцент на восстановление через управление пастбищными нагрузками и реинтродукцию ключевых видов. С 2015 года здесь реализуется программа по созданию полувольной популяции лошади Пржевальского [68], численность которой к 2023 году достигла 103 особей. Эти животные играют роль «экосистемных инженеров», регулируя травостой и предотвращая зарастание кустарником. Параллельно заповедник расширил свои территории за счёт участка «Предуральская степь» (16 538 га), что позволило сохранить крупнейший массив целинных ковыльных степей. Интеграция этой территории в систему ООПТ региона и федеральные программы, такие как закончившийся нацпроект «Экология», обеспечивают финансирование мониторинга, экотуризма и просветительских инициатив, включая строительство визит-центра и разработку 150-километрового пешего маршрута.

Несмотря на успехи, сохраняются правовые и экономические вызовы. Проект «Стратегия сохранения степей России» [69] акцентирует внимание на необходимости запрета распашки вторичных степей и введения субсидий для фермеров, сохраняющих биоразнообразие. Однако реализация этих мер требует не только законодательной базы, но и активного вовлечения местных сообществ через образовательные программы и гражданскую науку.

Ещё одной уникальной практикой сохранения и воссоздания степной экосистемы в Российской Федерации является «Плейстоценовый парк» Сергея Зимова [70].

Плейстоценовый парк в Якутии представляет собой уникальный эксперимент по восстановлению экосистем мамонтовых степей, которые доминировали в Евразии в позднем плейстоцене. Основная цель проекта – трансформация низкопродуктивных тундровых ландшафтов в устойчивые травяные сообщества через реинтродукцию крупных травоядных животных, что ускоряет биологический круговорот веществ и стабилизирует вечную мерзлоту. Научное

обоснование базируется на способности пастбищных экосистем повышать альbedo поверхности, снижая поглощение солнечного тепла, а также минимизировать выбросы метана за счёт аэрации почвы и подавления анаэробных процессов.

Ключевую роль в сукцессии экосистем играет мегафауна: якутские лошади, бизоны, овцебыки и другие виды имитируют экологические функции вымерших животных, вытаптывая снег, удобряя почву и замещая мохово-кустарниковый покров травянистыми ассоциациями. Это приводит к увеличению продуктивности фитомассы на 30–50 % на участках интенсивного выпаса, а также формирует условия для накопления углерода в почве. По замыслу создателей, искусственное поддержание высокой плотности животных должно восстановить конкурентное преимущество злаков над мхами, характерное для исторических мамонтовых степей.

Первые эксперименты по реинтродукции животных Сергей Зимов начал в 1988 году. Возле полевой станции Северо-Восточной Научной Станции в пойме реки Колыма было завезено 12 голов Якутской лошади. Однако, с распадом Советского Союза и прекращением финансирования экспериментов, проект был заморожен и животные были переданы местному фермеру. В это время главной задачей было сохранить Северо-Восточную Научную Станцию, и найти новые источники финансирования, для проведения исследований в Арктике.

Проект «Плейстоценовый Парк» в его нынешнем виде был основан в 1996 году. От государства был получен участок земли размером 144 квадратных километра. В 2005–2006 годах был построен большой загон площадью 2000 гектаров. Начиная с 2010 года, Северо-Восточная Научная Станция выросла достаточно для того, чтобы иметь возможность финансировать перевозку животных из другого региона. С тех пор в Парк были завезены овцебыки с острова Врангель, зубр с Приокско-террасного заповедника, яки, калмыцкие коровы и овцы с озера Байкал, и 12 степных бизонов.

Экономическая модель, по словам Зимова, сочетает экотуризм, климатические инициативы и устойчивое природопользование. Восстановленные степи рассматриваются как полигон для углеродных кредитов благодаря замкнутому циклу секвестрации CO₂ и сокращению эмиссии метана. Режим Арктической зоны РФ позволяет парку оптимизировать финансирование через налоговые льготы, направляя ресурсы на расширение территории и завоз новых видов.

Планируется увеличение территории до 750 км² для создания саморегулирующейся экосистемы. Успехи проекта уже привлекли внимание международного сообщества: Россия включила его в климатическую повестку ООН.

Перспективы масштабирования связаны с геоинженерным потенциалом Арктики. Моделирование показывает, что восстановление пастбищных экосистем на значительных площадях сможет компенсировать таяние вечной мерзлоты и стать инструментом климатической митигации. Парк рассматривается как прототип для глобальных решений по управлению биотическими взаимодействиями в условиях глобального изменения климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для восстановления и сохранения степных экосистем также необходима правовая база. Чтобы её разработать нужно, принять национальную стратегию по восстановлению биоразнообразия. Основанием для подобного документа является Куньмин-Монреальская Конвенция [71] по сохранению биоразнообразия, подписанная Российской Федерацией в 2022 году на соответствующей Конференции Сторон. Программный документ устанавливает четыре долгосрочные цели до 2050 года и 23 конкретные задачи, рассчитанные на ближайшее десятилетие. Задачи можно поделить на три больших блока:

1. Минимизация факторов, угрожающих биологическому разнообразию;
2. Обеспечение потребностей населения через рациональное природопользование и справедливое распределение ресурсов;
3. Применение инновационных инструментов для реализации природоохранных стратегий.

Реализация Куньминь-Монреальской Конвенции требует всеобщего участия – от государственных институтов до гражданского общества. Эффективность выполнения задач напрямую зависит от политической воли руководства стран и координации между различными уровнями власти. Страны-участницы (Россия в том числе) обязались разработать национальные стратегии в рамках глобальной рамочной программы по сохранению биоразнообразия.

Стратегия выступает основой для разработки региональных программ и отраслевых документов, формируя единый подход к сохранению биоразнообразия на всех уровнях управления. Включение степной реставрации в национальную стратегию требует создания межведомственного координационного органа, объединяющего Минприроды, Минсельхоз и региональные власти. Это позволит синхронизировать земельное планирование, сельскохозяйственные субсидии и природоохранные инициативы.

На основании Куньминь-Монреальской Конвенции разрабатывается национальная стратегия в области сохранения биоразнообразия. Курс Российской Федерации, направленный на повышение экологического благосостояния страны, является одним из основополагающих и обеспечивает устойчивость государства. 7 мая 2024 года был выпущен Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [72]. Одна из целей – экологическое благополучие страны и населения. Несмотря на то, что в Указе прямо не указана задача «восстановление экосистем» и нет подобного целевого показателя, восстановление и сохранение степных экосистем напрямую коррелирует со способностью депонировать углерод и видовым разнообразием. Ниже представлены общие рекомендации для территорий РФ по улучшению состояния степных экосистем на глобальном, региональном и национальном уровнях (см табл. 1).

Анализ и обоснование этих рекомендаций прописаны детально ниже.

Таблица 1. Рекомендации для территорий РФ по улучшению состояния степных экосистем на глобальном, региональном и национальном уровнях**Table 1.** Recommendations for the restoration and conservation of steppe ecosystems by management level

Уровень Level	Направление Direction	Рекомендации Recommendations	Обоснование Justification
Глобальный Global	Международное сотрудничество International cooperation	<p>Повышение участия России в трансграничных программах с Казахстаном и Монголией по восстановлению степных экосистем. Инициирование создания международного фонда восстановления степей с привлечением средств Глобального экологического фонда.</p> <p>Enhancing Russia's participation in cross-border programs with Kazakhstan and Mongolia for the restoration of steppe ecosystems. Initiating the establishment of an international steppe restoration fund with the involvement of resources from the Global Environment Facility.</p>	<p>Степные экосистемы распространены не только на территории одного государства. Проблема деградации требует координации усилий между странами. Финансовая поддержка международных организаций необходима для реализации масштабных проектов.</p> <p>Steppe ecosystems are distributed across the territories of more than one state. The problem of degradation requires coordination of efforts between countries. Financial support from international organizations is necessary for the implementation of large-scale projects.</p>
Региональный Regional	Согласованное землепользование Coordinated land use	<p>Разработка и реализация совместных планов управления земельными ресурсами в трансграничных степных регионах. Содействие обмену опытом и технологиями между странами.</p> <p>Development and implementation of joint land management plans in transboundary steppe regions. Facilitating the exchange of experience and technologies between countries.</p>	<p>Региональный подход позволяет учитывать особенности землепользования и климатические условия в различных частях степного пояса. Обмен опытом и технологиями способствует повышению эффективности мер по восстановлению.</p> <p>The regional approach allows for consideration of land use characteristics and climatic conditions in different parts of the steppe belt. Exchange of experience and technologies contributes to increasing the effectiveness of restoration measures.</p>
Национальный National	Нормативно-правовое обеспечение Regulatory and legal framework	<p>Разработка и принятие национальной стратегии по сохранению и восстановлению степных экосистем, учитывающей положения международных Конвенций и соглашений.</p> <p>Development and adoption of a national strategy for the conservation and restoration of steppe ecosystems, taking into account the provisions of international conventions and agreements.</p>	<p>Национальная стратегия создаёт правовую основу для реализации мер по восстановлению степей и обеспечивает их финансирование. Учет международных обязательств способствует интеграции усилий России в глобальные процессы.</p> <p>A national strategy creates a legal basis for implementing steppe restoration measures and ensures their funding. Consideration of international obligations facilitates the integration of Russia's efforts into global processes.</p>
Национальный National	Агроэкологические инициативы Agroecological initiatives	<p>Стимулирование внедрения почвозащитных технологий земледелия, поддержка</p>	<p>Эти меры направлены на снижение антропогенной нагрузки на степные</p>

		<p>традиционного животноводства с контролируемым выпасом, создание системы экономического стимулирования землепользователей, применяющих щадящие режимы эксплуатации, внедрение практики временного вывода из оборота деградированных земель. Promoting the adoption of soil-protective farming technologies, supporting traditional livestock farming with controlled grazing, establishing a system of economic incentives for land users who apply gentle management practices, implementing the practice of temporary withdrawal of degraded lands from circulation.</p>	<p>экосистемы и обеспечение устойчивого землепользования. Они способствуют сохранению биоразнообразия, плодородия почв и устойчивости к климатическим изменениям. These measures are aimed at reducing anthropogenic pressure on steppe ecosystems and ensuring sustainable land use. They contribute to the conservation of biodiversity, soil fertility and resilience to climate change.</p>
<p>Национальный National</p>	<p>Научно-исследовательская поддержка Research support</p>	<p>Расширение финансирования фундаментальных и прикладных исследований в области степеведения, создание межрегионального научно-исследовательского центра степеведения, разработка методик оценки экосистемных услуг степей. Increasing funding for fundamental and applied research in the field of steppe science, establishing an interregional research center for assessing ecosystem services of steppes.</p>	<p>Научные исследования необходимы для разработки эффективных методов восстановления степей и оценки их вклада в экономику страны. Межрегиональный центр обеспечит координацию усилий учёных и обмен опытом. Scientific research is necessary for the development of effective methods for steppe restoration and assessment of their contribution to the national economy. An interregional center will ensure coordination of scientific efforts and exchange of experience.</p>
<p>Национальный National</p>	<p>Образовательные и просветительские инициативы Educational and outreach initiatives</p>	<p>Разработка образовательных программ по экологии степей для школ, вузов и аграрных учреждений. Запуск информационной кампании о роли степей в обеспечении климатической устойчивости и продовольственной безопасности. Development of educational programs on steppe ecology for schools, universities and agricultural institutions. Launching an information campaign on the role of steppes in ensuring climate resilience and food security.</p>	<p>Образование и просвещение населения повышают осведомленность о ценности степных экосистем и способствуют формированию ответственного отношения к ним. Это создаёт поддержку для реализации мер по восстановлению и сохранению степей. Education and public outreach increase awareness of the value of steppe ecosystems and contribute to the formation of responsible attitudes towards them. This creates support for the implementation of restoration and conservation measures.</p>
<p>Национальный National</p>	<p>Контроль и мониторинг Control and monitoring</p>	<p>Усиление контроля за землепользованием в степных регионах с применением технологий дистанционного зондирования и ГИС. Вовлечение местного населения в восстановительные программы через механизмы экономической заинтересованности. Strengthening control over land use</p>	<p>Контроль и мониторинг необходимы для выявления нарушений и оценки эффективности мер по восстановлению. Вовлечение местного населения способствует устойчивому управлению степными экосистемами и обеспечивает поддержку природоохранных</p>

in steppe regions using remote sensing technologies and GIS. Involving local populations in restoration programs through mechanisms of economic incentive.

инициатив. Control and monitoring are necessary to identify violations and assess the effectiveness of restoration measures. Involving local populations contributes to sustainable management of steppe ecosystems and ensures support for conservation initiatives.

Рекомендации

По мнению авторов исследования для реализации комплексной стратегии восстановления степных экосистем, необходимо закрепить следующие *нормативно-правовые механизмы*:

1. Разработка отдельного раздела в Национальной стратегии по биоразнообразию РФ до 2030 года и/или дополнительной законодательной базы, направленной на сохранение и восстановление степных экосистем. Основанием служит Указ Президента №309 от 7 мая 2024 года «О национальных целях развития», где экологическое благополучие определено ключевым приоритетом.
2. Создание правовой основы для развития особо охраняемых природных территорий степного типа, включая специальные режимы охраны с контролируемым выпасом. Как показывает опыт Оренбургско-Казахстанского региона, описанный в работах А.А. Чибилёва, массовое вовлечение залежей в сельхозоборот ведёт к исчезновению ключевых видов, что требует срочного правового регулирования.

Непосредственно *экологические практические меры* по восстановлению степных экосистем должны включать:

1. Создание сети модельных участков восстановления степей в различных природно-климатических зонах, так как адаптация международного опыта к российским условиям требует апробации методик на региональном уровне.
2. Использование почвозащитных технологий, таких как минимальная обработка почвы, полосное земледелие и сидерация, позволяет предотвратить эрозию и сохранить гумус, что является ключевым фактором плодородия чернозёмов. Как показывают исследования РЭЦЦА, нерациональное землепользование в Центральной Азии привело к деградации значительной части пахотных земель и пастбищ.
3. Разработка программы поддержки традиционного животноводства с контролируемым выпасом для сохранения биоразнообразия.
4. Создание системы экономического стимулирования (налоговые льготы, субсидии) для земледельцев, применяющих щадящие режимы эксплуатации. Это необходимо из-за того, что традиционные методы землепользования часто оказываются более прибыльными в краткосрочной перспективе, несмотря на долгосрочные негативные последствия для экосистем. Предоставление экономических стимулов (например, в виде налоговых льгот) будет способствовать внедрению устойчивых практик и сохранению биоразнообразия степей.
5. Привлечение благотворительных фондов и неправительственных организаций к разработке и реализации программ сохранения и восстановления степных экосистем с учётом региональных

особенностей. Важно стимулировать создание специализированных проектов, адаптированных к различным природным зонам, что позволит повысить эффективность мероприятий и обеспечить более точечное воздействие на проблемные участки.

6. Разработка методических рекомендаций для благотворительных организаций и НКО, включающих основные направления работы, критерии оценки эффективности и примеры успешных практик в области охраны степей. Такие материалы будут способствовать стандартизации подходов и обмену опытом между различными регионами и организациями.

7. Организация платформы для координации усилий государственных структур, научного сообщества и общественных организаций с целью совместного планирования, и мониторинга реализуемых программ. Это позволит объединить ресурсы и знания, повысить прозрачность и эффективность деятельности, а также обеспечить устойчивое развитие степных экосистем.

8. Внедрение системы регулярного отчётного мониторинга и публичного информирования о результатах работы благотворительных фондов и НКО в сфере сохранения степей. Такая практика повысит уровень доверия со стороны общества и инвесторов, а также создаст предпосылки для расширения финансирования и масштабирования успешных инициатив.

Не менее важной является *научно-исследовательская поддержка*, включающая:

1. Расширение финансирования фундаментальных и прикладных исследований в области степеведения, включая изучение адаптации к изменению климата.
2. Создание межрегионального научно-исследовательского центра степеведения для координации мониторинга и восстановительных программ или налаживание русско-казахстанских, русско-монгольских и русско-китайских отношений в области изучения степеведения. Создание такого центра позволит объединить усилия учёных из разных регионов России, стран Центральной Азии и Китая для проведения комплексных исследований степных экосистем, разработки и реализации совместных программ мониторинга и восстановления, а также обмена опытом и знаниями.
3. Разработку методик оценки экосистемных услуг степей с включением их стоимости в национальные экономические расчёты. Оценка экосистемных услуг позволит учитывать вклад степных экосистем в экономику страны и принимать более обоснованные решения при планировании землепользования. Также это будет способствовать повышению осведомленности о ценности степей и привлечению инвестиций в их сохранение и восстановление.
4. Вовлечение местных жителей и волонтеров в проекты гражданской науки, направленные на

мониторинг состояния степных экосистем, сбор данных о биоразнообразии, распространении редких и инвазивных видов, а также оценку воздействия климатических и антропогенных факторов.

5. Создание образовательных и просветительских программ для широкой аудитории, включая школьников и студентов, с целью повышения экологической грамотности и мотивации к участию в научных исследованиях. Особое внимание следует уделить развитию цифровых платформ и мобильных приложений для регистрации наблюдений и обмена результатами

Среди возможных *методик восстановления* степных экосистем можно выделить следующие:

1. Реабилитация земель, подвергшихся химическому загрязнению, может осуществляться через внедрение фиторемедиационных технологий с использованием видов-гипераккумуляторов.

2. Внедрение адаптированного графика покосов с отсрочкой сроков проведения (июль–август) позволяет обеспечить полный цикл семенной регенерации доминантных видов травянистых сообществ. Данный подход соответствует принципам устойчивого землепользования, закреплённым в международных природоохранных Конвенциях.

3. Метод пересадки растительного материала с сохранных участков на деградированные, ускоряющий восстановление участков. Его основной недостаток – дороговизна. Поэтому стоит обратить внимание на наилучшие доступные технологии и доработать их.

4. Внедрение практики временного вывоза из оборота деградированных земель с целью их естественного восстановления. Как показывают вышеописанные исследования, длительное использование земель без надлежащего ухода приводит к их деградации и снижению продуктивности. Временный вывоз из оборота позволяет землям восстановить свои экосистемные функции и повысить устойчивость к климатическим изменениям.

Стоит также отметить, что государственный контроль за землепользованием позволит предотвратить незаконную распашку и перевыпас скота, которые являются одними из основных факторов деградации степных экосистем. А использование технологий дистанционного зондирования и ГИС позволит оперативно выявлять нарушения и принимать меры по их устранению.

Главный вывод – необходим комплексный подход к восстановлению степных экосистем, который должен включать четыре ключевых элемента: нормативно-правовое обеспечение, агроэкологические инициативы, научно-исследовательскую поддержку и международное сотрудничество. При этом важно создать единое окно данных для объединения усилий Минприроды, Минсельхоза, научных институтов и региональных властей. Анализ мирового опыта показал, что успешное восстановление степей возможно только при условии активного участия государства, научного сообщества и местного населения. Важно учитывать не только экологические, но и экономические факторы, стимулируя землепользователей к внедрению устойчивых методов хозяйствования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Земельные ресурсы: всемирный обзор. UNCCD. 2017. URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017->

09/GLO_Full_Report_low_res_Russian.pdf (дата обращения: 20.04.2025)

2. Ryazanova N., Naumov V., Kamennykh N. Adaptation of Soil Ecosystems: An Inventory of SDG Linkages to Achieve the Goals of the UN Decade for Ecosystem Restoration // E3S Web of Conferences. 2023. V. 407, Article id: 02001. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/44/e3sconf_apeem2023_02001.pdf (дата обращения: 20.04.2025)

3. Walter H., Box E.O. Global classification of natural terrestrial ecosystems // Vegetatio. 1976. V. 32. N 2. P. 75–81. <https://doi.org/10.1007/BF02111901>

4. Планетарные границы: Противостояние глобальному кризису деградации земельных ресурсов: доклад / под рук-вом проф. д-ра Йохана Рокстрёма ; Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), Потсдамский институт исследований климатических воздействий (ПИК). Эр-Рияд : КБО ООН, 2024. URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2024-11/PR%20planetary%20boundaries%20RU.pdf> (дата обращения: 20.04.2025)

5. Доклад Конференции Сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием о работе ее шестнадцатой сессии (2–13 декабря 2024 года, Эр-Рияд, Саудовская Аравия). Часть вторая: Меры, принятые Конференцией Сторон. Добавление / Конференция Сторон КБО ООН. Эр-Рияд: КБО ООН, 2024. URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2025-03/2424652R.pdf> (дата обращения: 24.04.2024)

6. Чибилёв А.А. Современные проблемы степеведения // Вопросы степеведения. 2000. Т. 2. С. 5–7.

7. Обзор: проблема опустынивания на глобальном и региональном уровнях // Региональный экологический центр Центральной Азии (РЭЦЦА). 2017. URL: <https://carecso.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/> (дата обращения: 20.04.2025)

8. Лапенко Н.Г., Хонина О.В., Старостина М.А. Обзор вопросов сохранения степных экосистем // Аграрная наука. 2024. N 12 (389). С. 117–124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124>

9. Гунин П.Д., Микляева И.М., Бажа С.Н., Слемнев Н.Н., Чердонова В.А. Особенности деградации и опустынивания растительных сообществ лесостепных и степных экосистем Южного Забайкалья // Аридные экосистемы. 2003. Т. 9. N 19–20. С. 7–21.

10. Экологический атлас бассейна оз. Байкал. URL: https://archive.iwlearn.net/bic.iwlearn.org/bic.iwlearn.org/bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlasde12.html?b_start:int=39 (дата обращения: 20.04.2025)

11. Johnson J.A., Baldos U.L., Hertel T., Nootenboom C., Polasky S., Roxburgh T. Global Futures: modelling the global economic impacts of environmental change to support policy-making. Technical Report, 2020. URL: https://www.fint.awsassets.panda.org/downloads/global_futures_technical_report.pdf (дата обращения: 20.04.2025)

12. Чибилёв А.А. Ландшафтно-экологическая концепция рационализации природопользования в степной зоне России и Казахстана // Материалы I Международного симпозиума "Степи Северной Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем. Оренбург: Институт степи УрО РАН, 1997. С. 151–152.

13. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А. Карта распаханности почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Т. 94. С. 38–56. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56>

14. Мандах Уртнасан Пастбищная дигрессия в степях северной части Центральной Монголии // Дисс. на соиск. канд. биол. наук. Казань, 2015. 167 с.

15. Данжалова Е.В. Пастбищная дигрессия растительных сообществ степных экосистем Центральной Монголии // Дисс. на соиск. канд. биол. наук. Москва, 2008. 203 с.

16. Мушаева К.Б., Юферев В.Г. Геоинформационная оценка продуктивности степных пастбищ // Степи Северной Евразии. Материалы VII международного симпозиума. Оренбург: ПД "Димур", 2015. С. 549–552.

17. USDA Farm Service Agency. Conservation Reserve Program (CRP). URL: <https://www.fsa.usda.gov/resources/programs/conservation-reserve-program> (дата обращения: 20.04.2025)
18. Banff National Park Bison Reintroduction Project. Parks Canada. 2018. URL: <https://www.canada.ca/en/parks-canada/news/2018/08/banff-national-park-bison-reintroduction-project.html> (дата обращения: 20.04.2025)
19. Devlin K. Bison Reintroduced Into Wild in Canada // Live Science. 2017. URL: <https://www.livescience.com/57812-bison-reintroduced-into-wild-in-canada.html> (дата обращения: 20.04.2025)
20. Hisey F., Finegan C., Olive A. Bison Reintroduction as Reconciliation in Saskatchewan // NiCHE. 2021. URL: <https://niche-canada.org/2021/02/18/bison-reintroduction-as-reconciliation-in-saskatchewan/> (дата обращения: 20.04.2025)
21. Elk Island National Park. Parks Canada. URL: <https://parks.canada.ca/pn-np/ab/elkisland/visit/cartes-maps> (дата обращения: 20.04.2025)
22. Поштаренко Г. Комплексное использование земель евразийских степей // Степной бюллетень. 2008. N 25. С. 10–12.
23. Natura 2000. European Ecological Network. URL: <https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/> (дата обращения: 20.04.2025)
24. IUCN CEM Holarctic Steppes Specialist Group. URL: <https://iucn.org/our-work/commissions/group/iucn-chem-holarctic-steppes-specialist-group> (дата обращения: 20.04.2025)
25. Брагина Т.М. Природоохранная инициатива «Алтын Дала» в Казахстане и перспективы организации государственного природного резервата «Алтын Дала» // Вопросы степеведения. Оренбург, 2006. Вып. 6. С. 45–49.
26. Данные о сайгаке войдут в глобальный Атлас миграции копытных животных // Казинформ. 2021. URL: https://www.inform.kz/ru/dannye-o-saygake-voydut-v-global-nyu-atlas-migracii-kopytnyh-zhivotnyh_a3797185 (дата обращения: 08.04.2025)
27. ФАО. Регенеративное сельское хозяйство в степях Монголии. 2024. URL: <https://www.fao.org/newsroom/story/investing-in-our-lands/ru> (дата обращения: 20.04.2025)
28. ФАО. Регенеративное сельское хозяйство в Монголии. 2024. URL: <https://www.fao.org/newsroom/story/investing-in-our-lands/ru> (дата обращения: 20.04.2025)
29. Open Foris // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <https://openforis.org/> (дата обращения: 20.04.2025)
30. Технический Семинар по Саранчовым на Кавказе и в Центральной Азии: Отчёт. ФАО, 2023. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/217d060c-a34f-44bc-95d8-c3b6d554e3d1/content> (дата обращения: 20.04.2025)
31. Новости ФАО: Платформа геопро пространственных данных. Белорусская сельскохозяйственная библиотека, 2020. URL: http://aw.belal.by/russian/faonc/faonews_2020.htm (дата обращения: 20.04.2025)
32. Earth Map – Geospatial Environmental Monitoring Platform // FAO. URL: <https://earthmap.org> (дата обращения: 08.02.2026)
33. ТЕСА – технологии и практики для мелких сельскохозяйственных производителей // FAO. URL: <https://teca.apps.fao.org/en/technologies/7358/> (дата обращения: 08.02.2026)
34. Rainwater harvesting for agricultural production in Kenya // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <https://www.fao.org/3/CA2943EN/ca2943en.pdf> (дата обращения: 20.04.2025)
35. Десятилетие ООН по восстановлению экосистем. ЮНЕП, 2021. URL: <https://www.decadeonrestoration.org/ru> (дата обращения: 20.04.2025)
36. World Restoration Flagships // Десятилетие ООН по восстановлению экосистем. URL: <https://www.decadeonrestoration.org/ru/world-restoration-flagships> (дата обращения: 20.04.2025)
37. Энх-амгалан С., Дробышев Ю. И., Бажа С. Н., Амгаланбаатар Д., Баасандорж Б. Современное использование пастбищ и обеспеченность водопоями в Среднегобийском аймаке Монголии (на примере бригады Рашаант) // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. N 1 (50). С. 18–25.
38. Чогний О. Основные закономерности пастбищной дигрессии и восстановления горностепных пастбищ Восточного Хангая // Автореферат Диссер. на соиск уч. степени кад. биол. наук. Улан-Батор, 1975. 37 с. URL: [https://cdn.gosmart.mn/a1OvFsCbKе_MtZ3ntAk_A/botany.admin/DynamicOffice/web/%D0%BE.%D1%87%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D0%B9\(1\).pdf](https://cdn.gosmart.mn/a1OvFsCbKе_MtZ3ntAk_A/botany.admin/DynamicOffice/web/%D0%BE.%D1%87%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D0%B9(1).pdf) (дата обращения: 20.04.2025)
39. Чибилёв А.А., Левыкин С.В., Чибилёв А.А.мл, Казачков Г.В. Невостребованность земель как социально-экономическая проблема постцелинных регионов (на примере Оренбургской области) // Вопросы степеведения. 2014. Т. 11. С. 6–14.
40. Курганова И.Н. Бюджет углерода степных экосистем // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2021. С. 433. DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a
41. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жиенгалиев А.Т., Кудеяров В.Н. Углеродный бюджет степных экосистем России // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485. N 6. С. 732–735. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856732-735>
42. LIFE-Projekt Borstgrasrasen. URL: <https://www.undekade-restoration.de/projekte/life-projekt-borstgrasrasen/> (дата обращения: 20.04.2025)
43. Saar-Blies-Gau/Auf der Lohe. URL: <https://www.undekade-restoration.de/projekte/saar-blies-gau-auf-der-lohe/> (дата обращения: 25.04.2025)
44. «Monitoring Zentrum». URL: <https://www.monitoring-zentrum.de/> (дата обращения: 25.05.2025)
45. Kupilas B. et al. Compilation of Existing Guidance on Ecosystem Restoration. Ecologic Institute, Berlin, 2024. 203 p. URL: <https://www.ecologic.eu/de/19738> (дата обращения: 20.04.2025)
46. Сохранение степей на частных землях: как это делается в Америке // Степной Бюллетень. URL: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-34/amerika.html> (дата обращения: 20.04.2025)
47. United States Department of Agriculture. Conservation Reserve Program. Annual Summary and Enrollment Statistics FY 2011. URL: <https://docslib.org/doc/1712356/conservation-reserve-program> (дата обращения: 20.04.2025)
48. Osborn C.T., Llacuna F., Linsenbigler M. The Conservation Reserve Program: Enrollment Statistics for Signup Periods 1-12 and Fiscal Years 1986-93. USDA Economic Research Service, Statistical Bulletin No. 925. URL: https://www.ers.usda.gov/sites/default/files/_laserfiche/publications/47094/32455_sb925.pdf (дата обращения: 20.04.2025)
49. Основные рекомендации по восстановлению прерии // Степной Бюллетень. URL: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-2/step2-4.html> (дата обращения: 20.04.2025)
50. Биоразнообразия Канады и искусственная среда. URL: <https://constructive-voices.com/ru/Биоразнообразия-Канады-и-искусственная-среда/> (дата обращения: 20.04.2025)
51. Grasslands National Park – Blog. URL: <https://parcs.canada.ca/pn-np/sk/grasslands/nature/blog> (дата обращения: 02.05.2025)
52. Three-North Shelterbelt Program // Организация Объединенных Наций. Устойчивое развитие. URL: <https://sdgs.un.org/partnerships/three-north-shelterbelt-program> (дата обращения: 02.05.2025)
53. Feurdean A., Grindean R., Florescu G. et al. The transformation of the forest steppe in the lower Danube Plain of southeastern Europe: 6000 years of vegetation and land use dynamics // Biogeosciences. Göttingen: Copernicus Publications. 2021. V. 18. P. 1081–1103. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1081-2021>
54. Dembicz I., Zachwatowicz M., Moysiyanok I., Shapoval V., Smreczak B., Zagorodniuk N. et al. Rapid functional but slow species diversity recovery of steppe vegetation on former arable fields in southern Ukraine // Applied Vegetation Science. 2023. Iss. 26. N 4. Article id: e12756. <https://doi.org/10.1111/avsc.12756>
55. Report of the Conference of the Parties on its twenty-sixth session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. URL: <https://unfccc.int/documents/460953> (дата обращения: 02.05.2025)
56. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Титова С.В., Царевская Н.Г. Степи России в мировой сводке поgrasslandам земли // Степи Северной Евразии: материалы IX международного симпозиума. 2021. Т. 9. С. 799–826. doi: 10.24412/cl-36359-2021-799-806

57. Сажин А.Н., Мирошниченко Ю.М., Козина О.В., Петров С.А., Погосян Н.В. Современные изменения климата и зональные агроэкологические проблемы в сухой степи Нижнего // *Материалы III Международного симпозиума "Степи Северной Евразии: Эталонные степные ландшафты: проблемы охраны, экологической реставрации и использования"*. Оренбург: ИПК "Газпромпечат", 2003. URL: <https://orensteppe.org/content/sovremennye-izmeneniya-klimata-i-zonalnye-agroekologicheskie-problemy-v-suhoy-stepi-nizhnego> (дата обращения: 23.04.2025)
58. Лапенко Н.Г., Хонина О.В., Старостина М.А. Обзор вопросов сохранения степных экосистем. *Аграрная наука*. 2024. N 12. С. 117–124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124>
59. Тишков А.А. К стратегии сохранения биологического разнообразия российских степей // *Материалы I Международного симпозиума "Степи Северной Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем"*. Оренбург: Институт степи УрО РАН, 1997. С. 45–46.
60. Лобков В.А. Современное состояние, перспективы сохранения и использования степных биоценозов Северного Причерноморья // *Степи Северной Евразии. Материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара "Геоэкологические проблемы степных регионов"*. Оренбург: ИПК "Газпромпечат", 2012. URL: <https://orensteppe.org/content/sovremennoe-perspektivy-sohraneniya-i-ispolzovaniya-stepnyh-biocenozov-severnogo> (дата обращения: 23.04.2025)
61. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П., Рыбальский Н.Г., Снакин В.В., Емельянов А.В., Скрипникова Е.В., Горбунов А.С., Быковская О.П. Сохранение степей – дело всенародное // *Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума*. 2024. N X. С. 1348-1353. DOI: 10.24412/cl-37200-2024-1348-1353
62. Умнова И.А., Даваева К.К. Необходимость принятия закона о степи в Российской Федерации назрела // *Степи Северной Евразии. Материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара "Геоэкологические проблемы степных регионов"*. Оренбург: ИПК "Газпромпечат", 2012. URL: <https://orensteppe.org/content/neobhodimost-prinyatiya-zakona-o-stepi-v-rossiyskoy-federacii-nazrela> (дата обращения: 02.05.2025)
63. Хухэ М. Анализ стратегии сохранения степи (на примере российских и китайских степей (автономный район Внутренней Монголии КНР)) // *Молодой ученый*. 2012. № 2 (37). С. 341–343. URL: <https://moluch.ru/archive/37/4286/> (дата обращения: 23.04.2025)
64. Левыкин С. В., Казачков Г. В., Яковлев И. Г., Грудинин Д. А. Самовосстановление степных экосистем на постцелинном пространстве в свете концепции титульных видов степей, его экосистемного и природоохранного значения // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 2019. Т. 18, N 1. С. 658–661. DOI: 10.14258/pbssm.2019139. URL: <https://journal.asu.ru/pbssm/article/view/pbssm.201913> (дата обращения: 20.04.2025)
65. Дзыбов Д.С. К теории и технологии реальной экологической реставрации степей Евразии и предотвращению их опустынивания // *Степи Северной Евразии. Материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара "Геоэкологические проблемы степных регионов"*. Оренбург: ИПК "Газпромпечат", 2012. С. 229–232.
66. Ставропольский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. URL: <https://fnac.center/home/history/> (дата обращения: 23.04.2025)
67. Центрально-Черноземный государственный заповедник имени профессора В.В. Алексина: <http://zapoved-kursk.ru/> (дата обращения: 23.04.2025)
68. Центр реинтродукции лошади Пржевальского // *Оренбургский заповедник*. URL: <https://orenzap.ru/node/19444> (дата обращения: 23.04.2025)
69. Смелянский И., Елизаров А., Соболев Н. и др. Стратегия сохранения степей России: позиция неправительственных организаций / под ред. И. Смелянского; Центр охраны дикой природы, Сибирский экологический центр. Москва: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2006. 36 с. URL: https://www.biodiversity.ru/publications/books/steppe/Steppe_Strategy_2006_rus.pdf (дата обращения: 23.04.2025)
70. Плейстоценовый парк. URL: <https://pleistocenepark.ru/ru/territory/> (дата обращения: 23.04.2025)
71. Конвенция о биологическом разнообразии. Куньминско-Монреальская глобальная рамочная программа в области биоразнообразия: [принята Конференцией Сторон Конвенции 19 декабря 2022 года]. URL: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-ru.pdf> (дата обращения: 20.04.2024)
72. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 // *КонсультантПлюс*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/ (дата обращения: 27.04.2025)

REFERENCES

1. *Zemel'nye resursy: vseмирnyi obzor* [Land resources: a global review]. UNCCD. 2017. (In Russian) Available at: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Russian.pdf (accessed 20.04.2025)
2. Ryazanova N., Naumov V., Kamennykh N. Adaptation of Soil Ecosystems: An Inventory of SDG Linkages to Achieve the Goals of the UN Decade for Ecosystem Restoration. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 407, article id: 02001. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/44/e3sconf_apeem2023_02001.pdf (accessed 20.04.2025)
3. Walter H., Box E.O. Global classification of natural terrestrial ecosystems. *Vegetatio*, 1976, vol. 32, no. 2, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1007/BF02111901>
4. Rockström J. Planetary boundaries: confronting the global crisis of land degradation. Riyadh, UNCCD, 2024. (In Russian) Available at: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2024-11/PR%20planetary%20boundaries%20RU.pdf> (accessed 20.04.2025)
5. *Doklad Konferentsii Storon Konvntsii OON po bor'be s opustynivaniem o rabotii ee shestnadtsatoi sessii* [Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session (2–13 December 2024, Riyadh, Saudi Arabia)]. Part two: Measures adopted by the Conference of the Parties. Addendum. Riyadh, UNCCD, 2024. (In Russian) Available at: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2025-03/2424652R.pdf> (accessed 24.04.2024)
6. Chibilev A.A. Modern problems of steppe science. *Voprosy stepovedeniya* [Issues of Steppe Science]. 2000, vol. 2, pp. 5–7. (In Russian)
7. *Obzor: problema opustynivaniya na global'nom i regional'nom urovnyakh* [Review: the problem of desertification at global and regional levels]. Regional Environmental Centre for Central Asia, 2017. (In Russian) Available at: <https://carececo.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/> (accessed 20.04.2025)
8. Lapenko N.G., Khonina O.V., Starostina M.A. Review of issues on the conservation of steppe ecosystems. *Agricultural Science*, 2024, no. 12 (389), pp. 117–124. (In Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124>
9. Gunin P.D., Miklyaeva I.M., Bazha S.N., Slemnev N.N., Cherdonova V.A. The Plant Communities Degradation and Desertification Peculiarities in Forest-Steppe and Steppe Ecosystems of South Transbaikal. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems]. 2003, vol. 9, no. 19-20, pp. 7–21. (In Russian)
10. *Ekologicheskii atlas basseina oz. Baikal* [Ecological atlas of the Lake Baikal basin]. (In Russian) Available at: https://archive.iwlearn.net/bic.iwlearn.org/bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlasde12.html?b_start:int=39 (accessed 20.04.2025)
11. Johnson J.A., Baldos U.L., Hertel T., Nootenboom C., Polasky S., Roxburgh T. Global Futures: modelling the global economic impacts of environmental change to support policy-making. Technical Report, 2020. Available at: https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/global_futures_technical_report.pdf (accessed 20.04.2025)
12. Chibilev A.A. *Landsaftno-ekologicheskaya kontseptsiya ratsionalizatsii prirodopol'zovaniya v stepnoi zone Rossii i Kazakhstana* [Landscape-ecological concept of rationalizing nature management in the steppe zone of Russia and Kazakhstan]. *Materialy I Mezhdunarodnogo simpoziuma "Stepi Severnoi Evrazii: sokhranenie prirodnogo raznoobraziya i monitoring sostoyaniya ehkositsem*,

- Orenburg, 1997 [Proceedings of the 1st International Symposium "Steppes of Northern Eurasia: Conservation of Natural Diversity and Monitoring of Ecosystem Conditions." Orenburg, 1997]. Orenburg, 1997, pp. 151–152. (In Russian)
13. Savin I.Yu., Stolbovov V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A. Map of plowed soils of Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018, vol. 94, pp. 38–56. (In Russian) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56>
14. Mandah Urtnasan *Pastbishchnaya digressiya v stepyakh severnoi chasti Tsentral'noi Mongolii* [Pasture digression in the steppes of the northern part of Central Mongolia]. Diss. for the candidate of biological sciences. Kazan, 2015, 167 p. (In Russian)
15. Danzhalova E.V. *Pastbishchnaya digressiya rastitel'nykh soobshchestv stepnykh ehkosisistem Tsentral'noi Mongolii* [Pasture digression of plant communities in steppe ecosystems of Central Mongolia]. Diss. for the candidate of biological sciences. Moscow, 2008, 203 p. (In Russian)
16. Mushaeva K.B., Yuferev V.G. Geoinformatsionnaya otsenka produktivnosti stepnykh pastbishch [The geoinformation estimate of the steppe pastures productivity]. *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VII mezhdunarodnogo simpoziuma. Orenburg* [Steppes of Northern Eurasia: materials of VII International Symposium, Orenburg, 2015]. Orenburg, IS UB RAS, Dimur Publ., 2015, pp. 549–552. (In Russian)
17. USDA Farm Service Agency. Conservation Reserve Program (CRP). Available at: <https://www.fsa.usda.gov/resources/programs/conservation-reserve-program> (accessed 20.04.2025)
18. Banff National Park Bison Reintroduction Project. Parks Canada. 2018. Available at: <https://www.canada.ca/en/parks-canada/news/2018/08/banff-national-park-bison-reintroduction-project.html> (accessed 20.04.2025)
19. Devlin K. Bison Reintroduced Into Wild in Canada. Live Science, 2017. Available at: <https://www.livescience.com/57812-bison-reintroduced-into-wild-in-canada.html> (accessed 20.04.2025)
20. Hisey F., Finegan C., Olive A. Bison Reintroduction as Reconciliation in Saskatchewan. NiCHE, 2021. Available at: <https://niche-canada.org/2021/02/18/bison-reintroduction-as-reconciliation-in-saskatchewan/> (accessed 20.04.2025)
21. Elk Island National Park. Parks Canada. Available at: <https://parks.canada.ca/pn-np/ab/elkisland/visit/cartes-maps> (accessed 20.04.2025)
22. Poshtarenko G. Integrated use of the lands of the Eurasian steppes. *Stepnoi byulleten'* [Steppe Bulletin]. 2008, no. 25, pp. 10–12. (In Russian)
23. *Natura 2000. European Ecological Network*. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/> (accessed 20.04.2025)
24. IUCN CEM Holarctic Steppes Specialist Group. Available at: <https://iucn.org/our-union/commissions/group/iucn-cem-holarctic-steppes-specialist-group> (accessed 20.04.2025)
25. Bragina T.M. The Altyn Dala conservation initiative in Kazakhstan and prospects for organizing the Altyn Dala state nature reserve. In: *Voprosy stepovedeniya* [Issues of Steppe Science]. 2006, iss. 6, pp. 45–49. (In Russian)
26. *Dannye o saigake voidut v global'nyi Atlas migratsii kopytnykh zhivotnykh* [Saiga data will be included in the global Atlas of Ungulate Migration]. Kazinform, 2021. (In Russian) Available at: https://www.inform.kz/ru/dannye-o-saygake-voydut-v-global-nyy-atlas-migracii-kopytnykh-zhivotnykh_a3797185 (accessed 08.04.2026)
27. FAO. *Regenerativnoe sel'skoe khozyaistvo v stepyakh Mongolii* [FAO. Regenerative agriculture in the steppes of Mongolia]. 2024. (In Russian) Available at: <https://www.fao.org/newsroom/story/investing-in-our-lands/ru> (accessed 20.04.2025)
28. FAO. *Regenerativnoe sel'skoe khozyaistvo v Mongolii* [FAO. Regenerative agriculture in Mongolia]. 2024. (In Russian) Available at: <https://www.fao.org/newsroom/story/investing-in-our-lands/ru> (accessed 20.04.2025)
29. Open Foris. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available at: <https://openforis.org/> (accessed 20.04.2025)
30. *Tekhnicheskii Seminar po Saranchovym na Kavkaze i v Tsentral'noi Azii: Otchet* [Technical Seminar on Locusts in the Caucasus and Central Asia: Report]. FAO, 2023. (In Russian) Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/217d060c-a34f-44bc-95d8-c3b6d554e3d1/content> (accessed 20.04.2025)
31. *Novosti FAO: Platforma geoprostranstvennykh dannykh* [FAO News: Geospatial data platform]. Belarusian Agricultural Library, 2020. (In Russian) Available at: http://aw.bel.by/russian/faonc/faonews_2020.htm (accessed 20.04.2025)
32. Earth Map – Geospatial Environmental Monitoring Platform. FAO. Available at: <https://earthmap.org> (accessed 08.02.2026)
33. TECA – technologies and practices for small agricultural producers. FAO. Available at: <https://teca.apps.fao.org/en/technologies/7358/> (accessed 08.02.2026)
34. Rainwater harvesting for agricultural production in Kenya. FAO. Available at: <https://www.fao.org/3/CA2943EN/ca2943en.pdf> (accessed 20.04.2025)
35. *Desyatiletie OON po vosstanovleniyu ehkosisistem* [UN Decade on Ecosystem Restoration]. UNEP. 2021. (In Russian) Available at: <https://www.decadeonrestoration.org/ru> (accessed 20.04.2025)
36. World Restoration Flagships. UN Decade on Ecosystem Restoration (In Russian) Available at: <https://www.decadeonrestoration.org/ru/world-restoration-flagships> (accessed 20.04.2025)
37. Enkh-Amgalan S., Drobyshev Yu.I., Bazha S.N., Amgalanbaatar D., Baasandorj B. Modern pasture use and water supply in the Middle Gobi aimag of Mongolia (on the example of the Rashaat brigade). *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems]. 2012, no. 1 (50), pp. 18–25. (In Russian)
38. Chogniy O. *Osnovnye zakonomernosti pastbishchnoi digressii i vosstanovleniya gornostepnykh pastbishch Vostochnogo Khangaya* [The main patterns of pasture digression and restoration of mountain-steppe pastures of the Eastern Khangai]. Abstract of the Dissertation for the academic degree of Cand. Biological Sciences. Ulaanbaatar, 1975. 37 p. (In Russian) Available at: [https://cdn.gosmart.mn/a1OvFsCBkE_MtZ3ntAk_A/botany.admin/DynameOffice/web/%D0%BE.%D1%87%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D0%B9\(1\).pdf](https://cdn.gosmart.mn/a1OvFsCBkE_MtZ3ntAk_A/botany.admin/DynameOffice/web/%D0%BE.%D1%87%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D0%B9(1).pdf) (accessed 20.04.2025)
39. Chibilev A.A., Levykin S.V., Chibilev A.A. (Jr.), Kazachkov G.V. Land abandonment as a socio-economic problem in post-virgin land regions (on the example of Orenburg region). In: *Voprosy stepovedeniya* [Issues of Steppe Science]. 2014, vol. 11, pp. 6–14. (In Russian)
40. Kurganova I.N. Byudzhet ugleroda stepnykh ekosistem [Carbon budget of steppe ecosystems]. *Proceedings of the 19th International Conference "Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space"*, Moscow, IKI RAS Publ., 2021, p. 433. (In Russian) DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a
41. Kurganova I.N., Lopez de Gerenyu V.O., Zhiengaliev A.T., Kudeyarov V.N. Carbon budget of steppe ecosystems in Russia. *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 485, no. 6, pp. 732–735. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856732-735>
42. LIFE Project Borstgrasrasen. Available at: <https://www.undekade-restoration.de/projekte/life-projekt-borstgrasrasen/> (accessed 20.04.2025)
43. Saar-Blies-Gau/Auf der Lohe. Available at: <https://www.undekade-restoration.de/projekte/saar-blies-gau-auf-der-lohe/> (accessed 25.04.2025)
44. Monitoring Center. Available at: <https://www.monitoring-zentrum.de/> (accessed 25.05.2025)
45. Kupilas B. et al. *Compilation of Existing Guidance on Ecosystem Restoration*. Berlin, Ecologic Institute, 2024, 203 p. Available at: <https://www.ecologic.eu/de/19738> (accessed 20.04.2025)
46. *Sokhraneniye stepei na chastnykh zemlyakh: kak ehto delaetsya v Amerike* [Conservation of steppes on private lands: how it is done in America]. Steppe Bulletin. (In Russian) Available at: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-34/amerika.html> (accessed 20.04.2025)
47. United States Department of Agriculture. Conservation Reserve Program. Annual Summary and Enrollment Statistics FY 2011. Available at: <https://docslib.org/doc/1712356/conservation-reserve-program> (accessed 20.04.2025)
48. Osborn C.T., Llacuna F., Linsenbigler M. The Conservation Reserve Program: Enrollment Statistics for Signup Periods 1-12 and Fiscal Years 1986-93. USDA Economic Research Service, Statistical Bulletin No. 925. Available at: https://www.ers.usda.gov/sites/default/files/_laserfiche/publications/47094/32455_sb925.pdf (accessed 20.04.2025)

49. *Osnovnye rekomendatsii po vosstanovleniyu prerii* [Basic recommendations for prairie restoration]. *Steppe Bulletin*. (In Russian) Available at: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-2/step-2-4.html> (accessed 20.04.2025)
50. *Bioraznობრძიე Kanადი i iskusstvennaya sreda* [Biodiversity of Canada and the built environment]. (In Russian) Available at: <https://constructive-voices.com/ru/Биоразнообразие-Канады-и-искусственная-среда/> (accessed 20.04.2025)
51. Grasslands National Park – Blog. Parks Canada. Available at: <https://parcs.canada.ca/pn-np/sk/grasslands/nature/blog> (accessed 02.05.2025)
52. Three-North Shelterbelt Program. United Nations. Available at: <https://sdgs.un.org/partnerships/three-north-shelterbelt-program> (accessed 02.05.2025)
53. Feurdean A., Grindean R., Florescu G. et al. The transformation of the forest steppe in the lower Danube Plain of southeastern Europe: 6000 years of vegetation and land use dynamics. *Biogeosciences*, 2021, vol. 18, pp. 1081–1103. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1081-2021>
54. Dembicz I., Zachwatowicz M., Moysiyanenko I. et al. Rapid recovery of functional characteristics but slow recovery of species diversity of steppe vegetation on former arable fields in Southern Ukraine. *Applied Vegetation Science*, 2023, iss. 26, no. 4. Article id: e12756. <https://doi.org/10.1111/avsc.12756>
55. Report of the Conference of the Parties on its twenty-sixth session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. UNFCCC. Available at: <https://unfccc.int/documents/460953> (accessed 02.05.2025)
56. Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Titova S.V., Tsarevskaya N.G. Steppes of Russia in the global summary of the world's grasslands. In: *Proceedings of the IX International Symposium "Steppes of Northern Eurasia"*, 2021, vol. 9, pp. 799–826. (In Russian) doi: 10.24412/cl-36359-2021-799-806
57. Sazhin A.N., Miroshnichenko Yu.M., Kozina O.V., Petrov S.A., Pogosyan N.V. Sovremennye izmeneniya klimata i zonal'nye agroekologicheskie problemy v sukhoi stepi Nizhnego [Modern climate change and zonal agroecological problems in the dry steppe of Nizhny Novgorod]. *Materialy III Mezhdunarodnogo simpoziuma "Stepi Severnoi Evrazii: Ehtalonnnye stepnye landshafty: problemy okhrany, ehkologicheskoi restavratsii i ispol'zovaniya"* [Proceedings of the III International Symposium "Steppes of Northern Eurasia: Standard steppe landscapes: problems of protection, ecological restoration and use"]. Orenburg, Gazprompechat Publ., 2003. (In Russian) Available at: <https://orensteppe.org/content/sovremennye-izmeneniya-klimata-i-zonalnye-agroekologicheskie-problemy-v-suhoy-stepi-nizhnego> (accessed 23.04.2025)
58. Lopenko N.G., Honina O.V., Starostina M.A. Overview of issues of conservation of steppe ecosystems. *Agrarian science*, 2024, no. 12, pp. 117–124. (In Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124>
59. Tishkov A.A. K strategii sokhraneniya biologicheskogo raznობრძიე rossiiskikh stepei [Towards a strategy for the conservation of biological diversity in the Russian steppes]. *Materialy I Mezhdunarodnogo simpoziuma "Stepi Severnoi Evrazii: sokhranenie prirodnoego raznობრძიე i monitoring sostoyaniya ehkositsem. Orenburg, 1997* [Proceedings of the 1st International Symposium "Steppes of Northern Eurasia: Conservation of Natural Diversity and Monitoring of Ecosystems", Orenburg, 1997]. Orenburg, Steppe Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 1997, pp. 45–46. (In Russian)
60. Lobkov V.A. Sovremennoe sostoyanie, perspektivy sokhraneniya i ispol'zovaniya stepnykh biotsenozov Severnogo Prichernomor'ya [Current status, prospects for conservation and use of steppe biocenoses of the Northern Black Sea region]. *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VI mezhdunarodnogo simpoziuma i VIII mezhdunarodnoi shkoly-seminara "Geoehkologicheskie problemy stepnykh regionov"*, Orenburg, 2012 [Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the VI International Symposium and VIII International School-Seminar "Geoecological Problems of Steppe Regions", Orenburg, 2012]. Gazprompechat Publ., 2012. (In Russian) Available at: <https://orensteppe.org/content/sovremennoe-perspektivy-sohraneniya-i-ispolzovaniya-stepnykh-biocenozov-severnogo> (accessed 23.04.2025)
61. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P., Rybalsky N.G., Snakin V.V., Emelyanov A.V., Skripnikova E.V., Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P. The preservation of the steppes is a national matter. *Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the 10th International Symposium*, 2024, no. X, pp. 1348–1353 (In Russian) DOI: 10.24412/cl-37200-2024-1348-1353
62. Umnova I.A., Davaeva K.K. Neobkhodimost' prinyatiya zakona o stepi v Rossiiskoi Federatsii nazrela [The need to adopt a law on the steppe in the Russian Federation is ripe]. *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VI mezhdunarodnogo simpoziuma i VIII mezhdunarodnoi shkoly-seminara "Geoehkologicheskie problemy stepnykh regionov"*, Orenburg, 2012 [Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the VI International Symposium and VIII International School-Seminar "Geoecological Problems of Steppe Regions", Orenburg, 2012]. Orenburg, Gazprompechat Publ., 2012 (In Russian) Available at: <https://orensteppe.org/content/neobkhodimost-prinyatiya-zakona-o-stepi-v-rossiyskoy-federatsii-nazrela> (accessed 02.05.2025)
63. Hukhe M. Analysis of steppe conservation strategy (on the example of Russian and Chinese steppes, Inner Mongolia Autonomous Region, China). *Young Scientist*, 2012, no. 2 (37), pp. 341–343. (In Russian) Available at: <https://moluch.ru/archive/37/4286/> (accessed 23.04.2025)
64. Levykin S.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G., Grudin D.A. Steppe ecosystem self-restoration on the virgin land campaign area in the light of the steppe title species concept, environmental and conservative significance of the process. *Problems of botany of South Siberia and Mongolia*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 658–661. (In Russian) DOI: 10.14258/pbssm.2019139 Available at: <https://journal.asu.ru/bpssm/article/download/pbssm.2019139/4952/> (accessed 20.04.2025)
65. Dzybov D.S. K teorii i tekhnologii real'noi ehkologicheskoi restavratsii stepei Evrazii i predotvrashcheniyu ikh opustynivaniya [On the theory and technology of real ecological restoration of the steppes of Eurasia and prevention of their desertification]. *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VI mezhdunarodnogo simpoziuma i VIII mezhdunarodnoi shkoly-seminara "Geoehkologicheskie problemy stepnykh regionov"*, Orenburg, 2012 [Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the VI International Symposium and VIII International School-Seminar "Geoecological Problems of Steppe Regions". Orenburg, 2012]. Orenburg, Gazprompechat Publ., 2012, pp. 229–232. (In Russian)
66. Stavropol Research Institute of Agriculture. (In Russian) Available at: <https://fnac.center/home/history/> (accessed 23.04.2025)
67. Central Black Earth State Nature Reserve named after Professor V.V. Alekhin. (In Russian) Available at: <http://zapoved-kursk.ru/> (accessed 23.04.2025)
68. *Tsentr reintroduktsii loshadi Przheval'skogo* [Przewalski's Horse Reintroduction Center]. Orenburg Reserve. (In Russian) Available at: <https://orenzap.ru/node/19444> (accessed 23.04.2025)
69. Smelyansky I., Elizarov A., Sobolev N. et al. *Strategiya sokhraneniya stepei Rossii: pozitsiya nepravitel'stvennykh organizatsii* [Strategy for the conservation of steppes in Russia: position of non-governmental organizations]. Moscow, Center for Wildlife Conservation, 2006, 36 p. Available at: https://www.biodiversity.ru/publications/books/steppe/Steppe_Strategy_2006_rus.pdf (accessed 23.04.2025) (In Russian)
70. *Pleistotsenovyi park* [Pleistocene Park]. (In Russian) Available at: <https://pleistocenepark.ru/ru/territory/> (accessed 23.04.2025)
71. *Konventsiya o biologicheskom raznობრძიე. Kun'minsko-Monreal'skaya global'naya ramochnaya programma v oblasti bioraznობრძიე* [Convention on Biological Diversity. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework]. Adopted by the Conference of the Parties on 19 December 2022. (In Russian) Available at: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-ru.pdf> (accessed 20.04.2025)
72. *O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda : Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 07.05.2024 N 309* [On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036. Decree No. 309 of 07.05.2024]. *ConsultantPlus*. (In Russian) Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/ (accessed 27.04.2025)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья Е. Рязанова составила концепцию комплексного исследования экосистем в идеологии Десятилетия ООН по восстановлению экосистем в глобальном, региональном и национальном контексте; разработала стратегию исследования, сформировала план исследования, сопровождала исследовательскую работу, интерпретировала результаты. Виктория А. Аржевикина задумала и разработала исследование, обработала изученную литературу, интерпретировала данные, разработала рекомендации для стратегии, приняла участие в обсуждении результатов. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalya E. Ryazanova developed the concept of a comprehensive ecosystem study under the ideology of the UN Decade on Ecosystem Restoration in global, regional, and national contexts; she developed the research strategy, established the research plan, supervised the research work, and interpreted the results. Viktoria A. Arzhevikina conceived and designed the study, processed the examined literature, interpreted the data, formulated recommendations for the strategy, and took part in discussing the results. Both authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Наталья Е. Рязанова / Natalya E. Ryazanova <https://orcid.org/0000-0001-9439-0537>

Виктория А. Аржевикина / Viktoria A. Arzhevikina <https://orcid.org/0009-0006-9040-1992>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.58:528(470.45)

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-10



Геоинформационные технологии в оценке процессов деградации и опустынивания земель

Самир А. Теймуров, Магомед-Расул А. Казиев, Абдулмеджид А. Багомаев

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», Махачкала, Россия

Контактное лицо

Самир А. Теймуров, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела агроландшафтного земледелия, ФГБНУ «ФАНЦ РД»; 367014 Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, мкр. Научный городок, ул. Абдуразака Шахбанова, д. 30. Тел. +79034991322
Email samteim@rambler.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>

Формат цитирования

Теймуров С.А., Казиев М.-Р.А., Багомаев А.А. Геоинформационные технологии в оценке процессов деградации и опустынивания земель // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 116-126. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-10

Получена 21 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 24 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью является анализ экологического состояния пастбищ полупустынной зоны юга-запада Ногайского района, подверженных процессам деградации и опустынивания, с использованием геоинформационных технологий.

Материалом исследований послужили единые методические подходы, осуществляющиеся на основании предварительного изучения материалов космической съемки деградированных агроландшафтов. С помощью метода ортогональной (панорамной) съемки и определением спектров отраженного излучения по эталонам снимка получен фотоэталон исследуемого участка.

Песчаные почвы тестового участка Терского песчаного массива юга-запада Ногайского района характеризуются в основном легким механическим составом, очень слабым содержанием подвижных форм, реакцией почвенного раствора – до сильнощелочной, по виду деградированности – дефляционные, хлоридно-сульфатное засоление. Видовой состав растений разнотравно-кубанковый (*Agropyron sibiricum* + псаммофитное разнотравье) в сочетании с песчано-ковыльными (*Stipa joannis*).

Почвенный покров находится в неразрывной связи с зонально-климатическими факторами и особенностью дельтового почвообразовательного процесса. В вегетационный период доминирующая роль здесь играет люцерна голубая (28 %) и полынь песчаная (25 %). Фотоэталон применим в качестве идентификатора деградации пастбищных угодий, позволяющий рекомендовать по улучшению агроэкологической ситуации полупустынной зоны Дагестана.

Ключевые слова

Деградация, опустынивание, геоинформационный анализ, пастбища, полигон, почва, растительность.

Geoinformation technologies in the assessment of land degradation and desertification processes

Samir A. Teymurov, Magomed-Rasul A. Kaziev and Abdulmedjid A. Bagomaev

Federal Agricultural Research Center, Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

Principal contact

Samir A. Teymurov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agro-landscape Agriculture, Federal Agricultural Research Center, Republic of Dagestan; 30 Abdurazak Shakhbanov St, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia, 367014.

Tel. +79034991322

Email samteim@rambler.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>

How to cite this article

Teymurov S.A., Kaziev M.-R.A., Bagomaev A.A. Geoinformation technologies in the assessment of land degradation and desertification processes. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):116-126. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-10

Received 21 November 2025

Revised 24 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

Analysis, using geoinformation technologies, of the ecological state of the pastures of the semi-desert zone of the south-west of the Nogai region, Dagestan.

The research material was based on unified methodological approaches based on a preliminary study of satellite imagery of degraded agricultural landscapes. The research materials were based on uniform methodological approaches, implemented through the preliminary study of satellite imagery of degraded agricultural landscapes. Using orthogonal (panoramic) photography and determining reflected radiation spectra based on image standards, a photographic reference image of the study area was obtained.

The sandy soils of the test site within the Terek Sand Massif (southwestern Nogai District) are characterized primarily by a light mechanical composition, a very low content of mobile forms, and a soil solution reaction ranging up to strongly alkaline. By degradation type, they are classified as deflationary with chloride-sulfate salinisation. The plant species composition is mixed herbaceous (*Agropyron sibiricum* + psammophytic mixed herbs) in combination with sand feather grass (*Stipa joannis*).

The soil cover is inherently linked with zonal and climatic factors and the specifics of the deltaic soil formation process. During the growing season, blue alfalfa (28 %) and sand wormwood (25 %) play a dominant role here. The use of a standard photographic reference image is applicable as an identifier of pasture degradation, allowing for recommendations to improve the agro-ecological situation of the semi-desert zone of Dagestan.

Key Words

Degradation, desertification, geoinformation analysis, pastures, landfill, soil, vegetation.

ВВЕДЕНИЕ

Естественные кормовые угодья полупустынной зоны Кизлярских пастбищ занимают территорию полутора миллионов гектаров и имеют важное значение для развития отгонного и стационарного животноводства. Изучение продуктивности растительных сообществ предусматривало учет современного состояния растительного покрова и его соотношения в пространстве с ареалами непродуктивной части поверхности земли. Важное значение придается определению видового состава сообществ, динамики изменения показателей продуктивности по отдельным сезонам и факторам, обуславливающим накопление фитомассы – почвенного покрова, грунтовых вод и климатических условий.

Важной задачей экологических исследований является изучение почвенных условий формирования фитомассы растительных группировок и составляющих ее фракций. В этом отношении растительный покров Дагестана остается практически слабо изученным. Имеющиеся данные по характеристике зеленой массы травостоя (материалы паспортизации 30-х годов) могут быть использованы при определении лишь надземной части фитомассы. Общий потенциал растительных сообществ, распределение их фитомассы по сезонам и количественные параметры, определяющие их состав, оставались вне поля зрения. В связи с этим, необходимо проводить систематические исследования по учету фитомассы, структуры, динамики с определением сезонного диапазона колебаний в показателях почв и почвообразующих пород.

В целом характеризующие типы почвенно-растительного покрова развиваются под влиянием зональных климатических условий и высокой пастбищной нагрузки при практическом отсутствии влияния дополнительного увлажнения.

Современное состояние пастбищных угодий Ногайских степей характеризуется интенсивным нарастанием антропогенной нагрузки – вторжение объектов техногенного воздействия и рост численности отгонного животноводства. Формируются качественно-количественные изменения в территориальных размерах пастбищ и в соотношениях компонентов химического состава.

Вопросы учета и восстановления почвенно-растительного покрова приобретает очень серьезное значение с точки зрения повышения продуктивности растительных сообществ, увеличения общей биомассы ландшафтов и в целях создания условий нормального функционирования биосферы [1].

В настоящее время деградация почвенного и растительного покрова аридных регионов Республики Дагестан приводит к быстрому изменению облика ландшафтов. Причинами таких динамичных процессов послужил планетарный тренд климатического потепления, снижение уровня Каспийского моря и, как следствие, снижение уровня грунтовых вод, уменьшение атмосферных осадков, ненормированные и нерегулируемые антропогенные нагрузки [2].

Геоинформационный анализ пастбищ, подверженных процессам деградации и опустынивания, позволяет определить современное состояние территорий, установить пространственное размещение участков опустынивания и выявить факторы, негативно влияющие на состояние пастбищ [3]. Геоинформационный анализ пространственно-временного развития

опустынивания ландшафтов является современным инструментом сбора координатно-определенной (геокодированной) информации о площади и скорости такого процесса [4].

Цель исследования – анализ экологического состояния пастбищ полупустынной зоны юга-запада Ногайского района подверженных процессам деградации и опустынивания с использованием геоинформационных технологий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является полупустынная зона в юго-западной части Ногайского района Терско-Кумской подпровинции. Полевые исследования проведены в 2022–2024 гг. на тестовом полигоне одного из участка, расположенного в юго-западной части в 10 км от с. Червлённые Буруны (44.109509 N, 45.555195 E), представленный в основном песками со спецификой процессов опустынивания и аридной деградации пастбищ. Учетные точки заложены по основным типам растительного покрова с охватом территории проявления процессов опустынивания в целях дальнейшей территориальной интерполяции, в пределах границ растительных контуров.

В зоне обследованного полигона (не менее 5 % площади) выделен тестовый участок с охватом площади опустынивания – 592,5 га с географическими координатными точками: северная 1 (44.123081, 45.550174); восточная 2 (44.110942, 45.575751); южная 3 (44.094178, 45.566224); западная 4 (44.106875, 45.532492), собраны совокупные данные за вегетационный период года по состоянию почв (морфологическое строение, гранулометрический состав, химический анализ, анализ водной вытяжки), геоботаническому описанию растительности (включая видовое разнообразие), эталону степени деградации почв и растительности, общие сведения о полигоне (мониторинг опустынивания, географическая, ландшафтная и климато-метеорологическая характеристика) для фотоэталонирования с применением современных технологий [5]. Используются единые методические подходы таких исследований, которые осуществляются на основании предварительного изучения аэроснимков и материалов космической съемки деградированных агроландшафтов [6–8]. С помощью метода ортогональной (панорамной) съемки и определением спектров отраженного излучения по эталонам снимка получен фотоэталон исследуемого участка. Источниками геоинформационного анализа являлись аэрокосмические снимки различных спутников (WorldView 3 и 4, Landsat-8 и 9, Sentinel 2 Канопус 2) и материалы компьютерной обработки (MapInfo, NextGIS QGIS).

Методика взятия почвенных образцов – по ГОСТ Р 58595-2019. Методом тестового участка (полигона) проводились исследования территории с типичными видами растительных сообществ и с характерными элементами рельефа, почв и других компонентов физико-географической среды, а также использование определителя растений [9–12] и использования пособий [13].

Характеристику классификация растительных сообществ для песчаных сред Терско-Кумской низменности проводили по Л.Г. Раменскому [14].

Степень деградации почвы – сравнительный уровень выраженности деградации почвы в целом к фиксированному моменту времени.

исследования проводятся эталонирование, составляются идентификационные таблицы полигона, в которые заносятся данные по геоботаническому описанию растительности, географической и ландшафтной характеристике, климатической характеристике, состоянию и степени деградации почв и растительности [3]. Поэтому в ходе нашего полевого исследования были изучены общие сведения современного состояния одного из полигонов «Червлённые Буруны» по Ногайскому району, в котором было сделано подробное описание (табл. 1–3).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современное состояние растительного покрова Кизлярских пастбищ, влияние техногенных объектов на продуктивность почв, растений, животного мира и на характер пространственного перераспределения ареалов экологически приспособленных видов растений остаются слабоизученными. По объекту

Таблица 1. Общие сведения о полигоне мониторинга опустынивания

Table 1. General information about the desertification monitoring site

№	Требуемые характеристики Characteristics Required	Характеристики участков полигонов Characteristics of Polygon Sections
	Географические координаты тестового полигона опустынивания Geographical coordinates of the desertification test site	Северная 1 (44.123081, 45.550174) Восточная 2 (44.110942, 45.575751) Южная 3 (44.094178, 45.566224) Западная 4 (44.106875, 45.532492) North 1 (44.123081, 45.550174) Vostochnaya 2 (44.110942, 45.575751) Yuzhnaya 3 (44.094178, 45.566224) West 4 (44.106875, 45.532492)
	Площадь тестового полигона опустынивания, (га) Area of the desertification test site, (ha)	592,5 га / ha
	Высота над уровнем моря и перепад высот тестового полигона опустынивания, (м) Altitude above sea level and elevation differences of the desertification test site, (m)	Высота над уровнем моря – min: 57 м, max: 95 м, перепад 38 м Altitude above sea level – min: 57 m, max: 95 m, 38 m difference
	Описание инженерной инфраструктуры тестового полигона опустынивания Description of the engineering infrastructure of the desertification test site	Грунтовых дорог нет, до ближайшей 3210 м, населённые пункты Ферма №1 – 2950 м и Червлённые Буруны – 7770 м от географического координата There are no dirt roads, the nearest one is 3,210 m away, the settlements of Farm No. 1 are 2950 m and Chervlenye Buruny are 7770 m from the geographical coordinate
	Описание объектов капитального строительства на территории полигона (здания, лабораторные корпуса) Description of capital construction facilities on the territory of the landfill (buildings, laboratory buildings)	-
	Описание плавательных средств, используемых (планируемых для использования) на тестовом полигоне опустынивания Description of watercraft facilities used (planned for use) at the desertification test site	-
	Кадастровые номера участков земли, используемых для целей организации тестового полигона опустынивания (при наличии) Cadastral numbers of land plots used for the purposes of organising a desertification test site (if available)	№ 05:03:000000:555
	Правообладатель земельных участков, используемых для целей организации тестового полигона опустынивания The right holder of the land plots used for the purposes of the organisation of the test site of desertification	Российская Федерация, Республика Дагестан, Ногайский район Nogai district, Dagestan, Russia
	Вид, номер и дата государственной регистрации права на земельные участки, используемые для целей организации тестового полигона опустынивания Type, number and date of state registration of the right to land plots used for the purposes of organising a test site for desertification	-
	Виды разрешенного использования земельных участков, используемых для целей организации	Категория земель: не указано Виды разрешенного использования:

тестового полигона опустынивания Types of permitted use of land plots used for the purposes of organising a test site for desertification	для научно-исследовательских работ, для объектов общественно-делового значения Land category: not specified Types of permitted use: for scientific research, for objects of public and business importance
Наличие ограничений прав и обременений земельных участков, используемых для целей организации тестового полигона опустынивания, их принадлежность к особо охраняемым природным территориям The existence of restrictions on the rights and encumbrances of land plots used for the purposes of organising a test site for desertification in specially protected natural territories	-
Наличие на полигоне опытной площадки с нетронутой экосистемой для мониторинга опустынивания Availability of an experimental site with an intact ecosystem for monitoring desertification at the landfill	Опытные участки мониторинга опустынивания – дефляция Experimental areas for monitoring desertification – deflation

Таблица 2. Общие географическая и ландшафтная характеристики тестового полигона опустынивания
Table 2. General geographical and landscape characteristics of the desertification test site

№ Общегеографические и ландшафтные характеристики земельных участков, используемых для целей организации тестового полигона опустынивания General geographical and landscape characteristics of the land plots used for the purposes of the organization of the test site of desertification	Характеристики участков полигона мониторинга опустынивания Characteristics of the sites of the desertification monitoring site
Основной и дополнительные типы ландшафта, характеристики микроландшафтов Main and other types of landscape, characteristics of microlandscapes	Полигон расположен в Терско-Кумской подпровинции, Ногайского района, полупустынной зоны, золово-аллювиальная равнина. Ландшафтный район – район Терских бугристо-грядовых и барханных развеваемых песков, представлены древнезоловыми, грядовыми песками и супесями расположено в северной части общего Терского песчаного массива Уклон участка – min: -8° или -14 %; max: 7° или 12 %. The landfill is located in the Tersko-Kuma sub-province, Nogai district, semi-desert zone, Eolian-alluvial plain. The landscape area is that of the Terek hummocky-ridge and sand dunes, represented by ancient Cretaceous ridge sands and sandy loams located in the northern part of the general Tersk sand massif. Slope of the site – min: -8° or -14 %; max: 7° or 12 %
Структура и типы растительности (лесная, луговая, болотная, водная) Vegetation structure and types (forest, meadow, swamp and aquatic)	Степная и пионернопесчаная растительность: песчаные степи разнотравнокубанковые (<i>Agropyron sibiricum</i> + псаммофитное разнотравье) в сочетании с песчаноковильными (<i>Stipa joannis</i>) или типчаково-прутняково-тырсовыми степями Доминант на участке – Люцерна голубая (28 %) Steppe and pioneer-sandy vegetation: sandy steppes of mixed grasses (<i>Agropyron sibiricum</i> + psammophytic grasses) in combination with sand feather grass (<i>Stipa joannis</i>) or tipchak-prutniak-tyrsa steppes The dominant species on the site is blue alfalfa (28 %)
Вид с/х деятельности для культурного ландшафта Type of agricultural activity in the cultural landscape	На территории полигона с/х деятельность не производится Agricultural activities are not carried out on the territory of the landfill
Наличие, типы и характеристики водных объектов Presence, types and characteristics of water bodies	Артезианская скважина производительностью 70–100 л/мин (2 км от географического координата), колодец – Яр-Бараккую – 2,2 км и Афанасьевский – 4,0 км) Artesian well with a capacity of 70–100 liters/min (2 km from the geographical coordinate), well – Yar-Barakkuyu – 2.2 km and Afanasievsky – 4.0 km)

<p>Тип(ы) и микротипы почвы, агрохимические данные по почвам полигона Soil type(s) and microtypes, agrochemical data on landfill soils</p>	<p>Почва: пески закрепленные, песчаные. Почвообразующая порода: пески золотые и морские. Содержание в 0,50 м слое почвы: гумуса – очень низкое (0,31 %), подвижного фосфора – низкое (1,5 мг/100 г почвы) и обменного калия – низкое (13,2 мг/100 г почвы) Почва: светло-каштановая, среднесуглинистая. Почвообразующая порода: мелкоземлистые и карбонатные осадочные породы, преобладают лессы, лессовидные суглинки и супеси. Содержание в 0,50 м слое почвы: гумуса – очень низкое (0,52 %), подвижного фосфора – низкое (1,5 мг/100 г почвы) и обменного калия – низкое (12,5 мг/100 г почвы) Soil: fixed sands, sandy. Soil-forming rock: Aeolian and marine sands. Content of the 0.50 m soil layer: humus is very low (0.31 %), mobile phosphorus is low (1.5 mg/100 g of soil) and exchangeable potassium is low (13.2 mg/100 g of soil) Soil: light chestnut, medium loamy. Soil-forming rock: fine-earth and carbonate sedimentary rocks, dominated by loess, loess-like loam and sandy loam. Content of the 0.50 m soil layer: humus is very low (0.52 %), mobile phosphorus is low (1.5 mg/100 g of soil) and exchangeable potassium is low (12.5 mg/100 g of soil)</p>
--	--

Таблица 3. Климато-метеорологические характеристики тестового полигона опустынивания по метеостанции Терекли-Мектеб)
Climatic and meteorological characteristics of the desertification test site (according to the Terekli-Mekteb weather station)

№	<p>Основные климатические характеристики земельных участков, используемых для целей организации тестового полигона опустынивания Main climatic characteristics of the land plots used for the purposes of the organisation of the test site of desertification</p>	<p>Характеристики участков полигона мониторинга опустынивания (за 2002–2022 гг.) Characteristics of the sites of the desertification monitoring site (for 2002–2022)</p>
<p>Среднегодовые температуры и влажности воздуха и почвы и характеристики сезонного хода Annual average temperatures and humidity of air and soil and seasonal characteristics</p>	<p>Средняя температура воздуха на полигоне составляет – 12,5 °С Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца – 89,4 % Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца – 51,2 % The average air temperature at the landfill is – 12.5 °C The average monthly relative humidity of the coldest month is 89.4 % The average monthly relative humidity of the warmest month is 51.2 %</p>	
<p>Годовое количество осадков и характеристики сезонного хода Annual precipitation and seasonal characteristics</p>	<p>Количество осадков за апрель-октябрь – 182,7 мм Количество осадков за ноябрь-март – 101,0 мм Precipitation in April-October – 182.7 mm Precipitation in November-March – 101.0 mm</p>	
<p>Характеристики максимальных и минимальных среднесуточных температур, и осадков Characteristics of maximum and minimum average daily temperatures and precipitation</p>	<p>Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца – 7,0 °С Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца – 18,0 °С Суточный максимум осадков – 22,1 мм The average daily amplitude of the air temperature in the coldest month is 7.0 °C The average daily amplitude of the air temperature in the warmest month is 18.0 °C The daily maximum precipitation is 22.1 mm</p>	
<p>Преобладающее направление и скорость ветра в летний и зимний период Prevailing wind direction and speed in summer and winter</p>	<p>Преобладающее направление ветра – восточный (17,7 %) Усредненный показатель скорости ветра в течение года составляет 3,4 м/с Нежный покров неустойчивый 9,4 см, образуется в декабре, январе, феврале и марте, продолжительность 15 дней The prevailing wind direction is east (17.7 %) The average wind speed during the year is 3.4 m/s</p>	

Характеристики снежного покрова (при наличии) Snow cover characteristics (if available)	Delicate cover is unstable (9.4 cm): it forms in December, January, February and March and lasts for 15 days
Наличие и мощность сезонного и постоянного слоев промерзания (при наличии) Availability and capacity of seasonal and permanent freezing layers (if available)	Нет данных No data available
Суммарная солнечная радиация, радиационный баланс (при наличии) Total solar radiation, radiation balance (if available)	Часы дневного света – 146,6 часов Суммарная среднесуточная коротковолновая солнечная энергия на 1 м ² – 50,5 кВт•ч Среднесуточная коротковолновая солнечная энергия на 1 м ² за год – 4,21 кВт•ч Daylight hours – 146.6 hours Total average daily shortwave solar energy per 1 m ² is 50.5 kWh Average daily shortwave solar energy per 1 m ² per year is 4.21 kWh
Дополнительные характеристики Additional features	Тестовый полигон проектируется вдали от крупных населённых пунктов Расстояние от с. Терекли-Мектеб (население 6728 человек) – 30 км (от географического координата), с. Червленые Буруны (население 1107 человек) – 7,3 км, ферма №1 (совхоза Червленые Буруны) – 2,9 км The test site was designed to be away from large populated areas. Terekli-Mekteb (population 6,728 people) – 30 km (from the geographical coordinate), Chervlenye Buruny village (population 1,107 people) – 7.3 km, farm No. 1 (Chervlenye Buruny state farm) – 2.9 km

Абсолютная максимальная высота рельефа тестового участка – 95 м, минимальная – 57 м, перепад между ними составляет – 38 м; профиль крутизны (в градусах) или уклона (в %) рельефа участка – min: –8° или 14 %, max: 7° или 12 %. Ландшафт тестового участка имеет

бугристо-грядовую поверхность с развеваемыми песками, представлен древнеэоловыми, грядовыми песками и супесями расположено в северной части общего Терского песчаного массива (рис. 1).

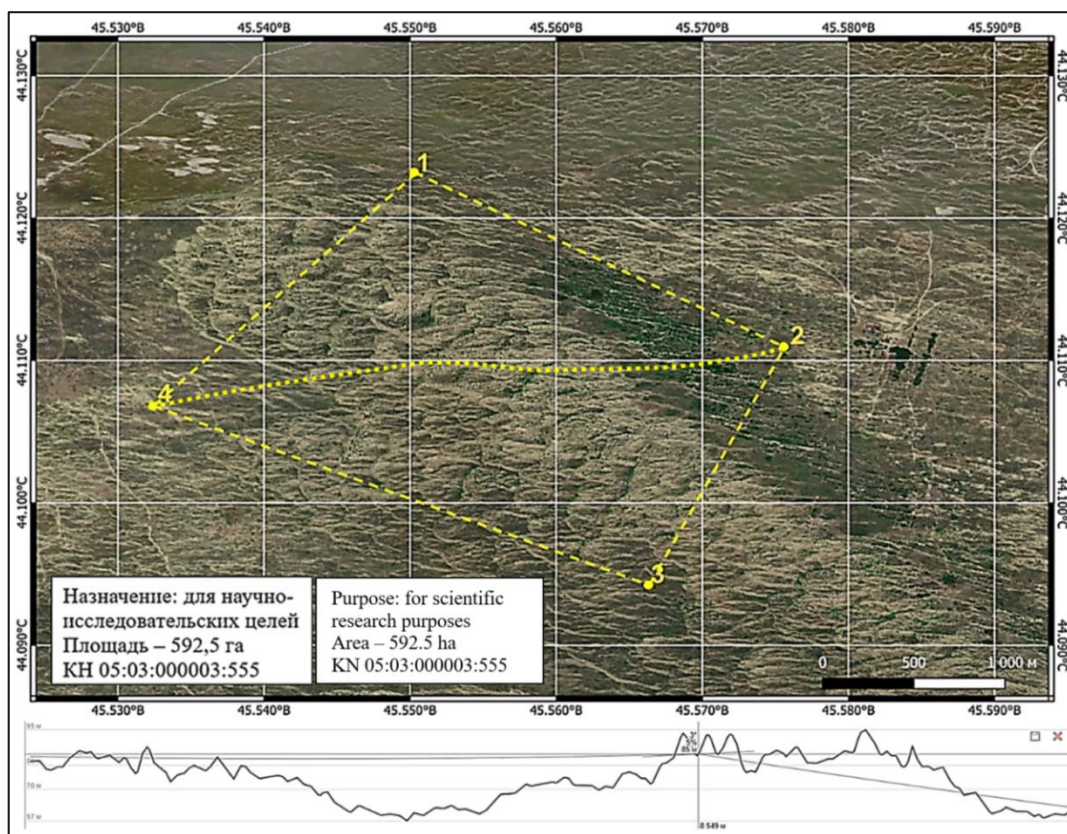


Рисунок 1. Профиль высот, уклонов и видимости рельефа тестового участка №1 (с. Червлённые Буруны, Ногайский район)

Figure 1. Profile of heights, slopes and visibility of the relief of test site No. 1 (village of Chervlenye Buruny, Nogai district)

В пределах исследуемой территории Терско-Кумской полупустыни почвенный покров представлен бугристо-грядовыми и барханными развеваемыми песками, которые имеют желтоватый цвет, в механическом составе преобладает фракция мелкого песка (0,25–0,05). Пески глубоководно-солончаковые. Лабораторными анализами подтверждено, что почва, на которой формируется степная и пионерпесчаная растительность, является песчаной с хлоридно-сульфатным засолением. Песчаные почвы характеризуются легким механическим составом с высоким содержанием фракции мелкого песка: при 0,05–0,01 мм – 3,3 % и в при <0,01 мм – 6,2 %. Содержание фракции физического песка – 92,2 %, физической глины – 6,2 %.

Показатели солевого режима и засоленности песчаных почв на глубине 0,50 см по годам и сезонам года изменялись незначительно, в среднем величина плотного остатка в водной вытяжке составляла – 0,030 %, сумма вредных солей – 0,47 мг-экв/100 г

почвы. Почвенный раствор – сильнощелочной (рН – 8,6). По содержанию гумуса в заросших песках количество его достигает больше 1,28 %, в полузасоленных – 0,77 %. На тестовом участке содержание гумуса на (глубине 0,50 см) весьма низкие – 0,31 %, подвижные формы фосфора, калия, обеспечены очень слабо – 1,5 и 13,2 мг/100 г почвы соответственно. По характеру состоянию деградированности песчаных почв, исследуемый тестовый участок относится – к дефляционному (рис. 2, а).

Согласно работам З.Г. Залибекова [15; 16], П.Д. Гунина [17] и К.Н. Кулика [7] определяющим почвенным фактором стадии опустынивания является физический песок (92,2 %) и сухой остаток (0,030 %), которая на основании общепринятой классификации градаций стадии опустынивания [18; 19] относит ее к стадии очень сильного опустынивания и классу литогенных, образуя массивы движущихся песков.

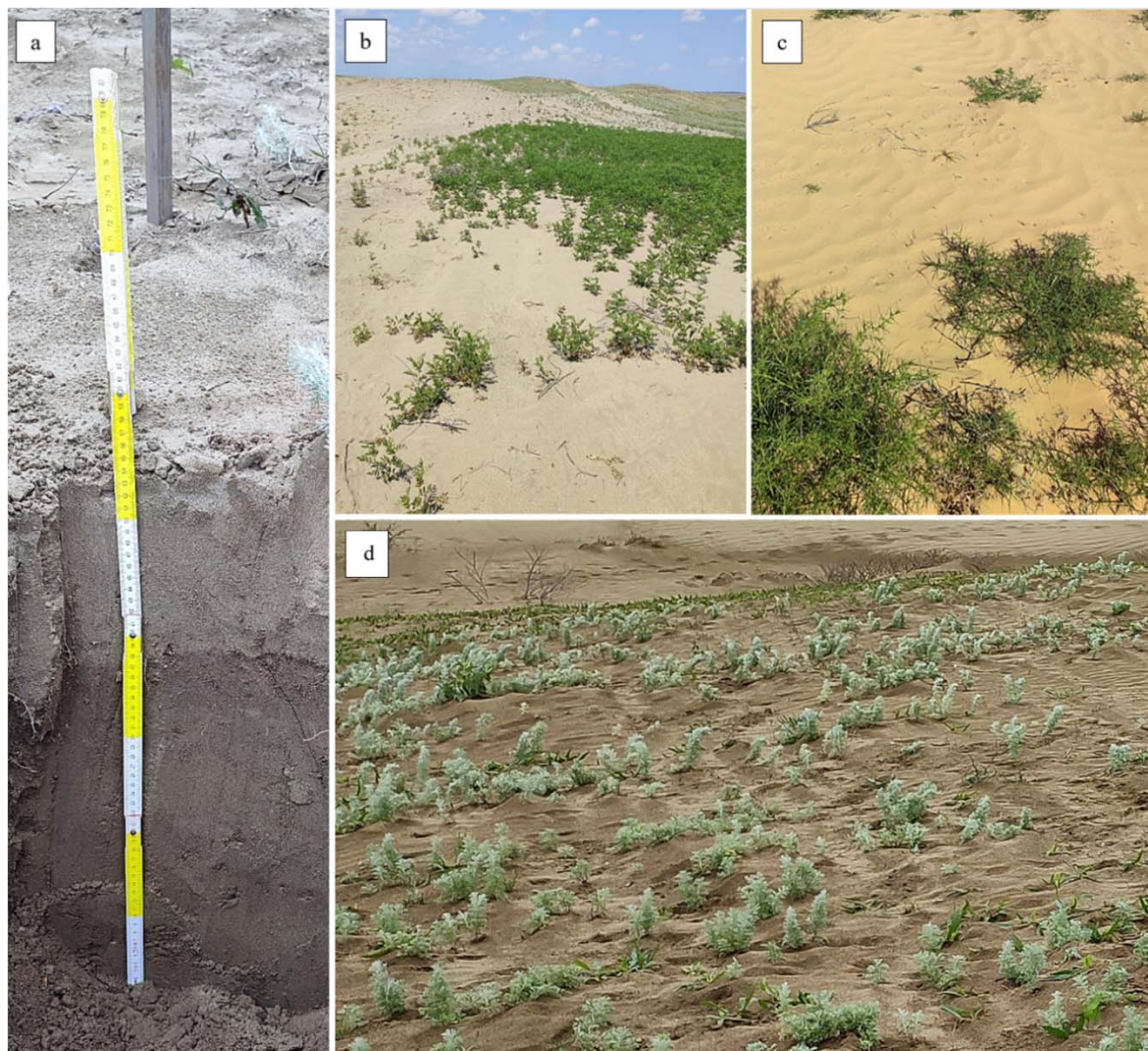


Рисунок 2. Фотоснимки тестового участка: морфологического строения горизонта в песчаных пустынных почвах, на глубине 0–50 см (а) и состав растительности (b, c, d)

Figure 2. Photographs of the test site: morphological structure of the horizon in sandy desert soils at a depth of 0–50 cm (a) and vegetation composition (b, c, d)

Видовой состав растительности относится к разнотравно-кубанковые (*Agropyron sibiricum* + псаммофитное разнотравье) в сочетании с песчано-

ковыльными (*Stipa joannis*) или типчаково-прутняково-тырсовыми степями. Растительный состав на грядово-бугристых песках слабозаросшие и заросшие

растительностью, в составе которой наиболее распространены с проектным покрытием 13–28 %, а местами – с уменьшением до 9–10 %: полынь песчаная (*Artemisia arenaria*) – 25 %, шалфей пустынный (*Salvia deserta*) – 9 %, верблюжья колючка (яндак) (*Alhagi Gagnebin*) – 13 %, житняк сибирский (*Agropyron fragile* (Roth) Candargy) – 15 %, люцерна голубая (*Medicago cerulean* Les.) – 28 %, прутняк (*Kochia prostrata* (L.) Schrad) – 10 %. Разнотравье так же принимает небольшое участие, всего за вегетационный период в ассоциации отмечено 13 видов растений. Основные растения-доминанты – люцерна голубая и полынь песчаная, выделенные нами в укосах как самостоятельные фракции (рис. 2, b, c, d). Высокие бугры зачастую лишены растительности. Пионерами зарастания являются кумарчик растопыренный, или песчаный (*Agriophyllum squarrosum*) и верблюжья колючка, встречающиеся как на крупнозернистых, так и на мелкозернистых развеваемых песках.

Все песчаные массивы на территории исследования используются в качестве зимних пастбищ отгонного животноводства. Однако перегрузка приводит к образованию развеваемых песков. Поэтому для сохранения этих ценных песчаных массивов необходимо применять надлежащие меры предосторожности: исключать из пастбищеоборота сильносбитые участки и проводить коренное улучшение их; практиковать подсев трав и облесение массивов, регулировать пастьбу скота.

На выбранной территории участка полигона нами сделан фотоэталон ландшафта и после компьютерной обработки материалов получена её гистограмма. Выявление распределения пикселей в режиме «Цвета» по гистограмме идентифицирует диапазон фототона и соотносит с объектом, отображая на снимке (рис. 3). Гистограмма с распределением энергии по спектральным каналам позволяет выявить величину отраженной электромагнитной энергии, а также установить и ее распределение в растре [20].

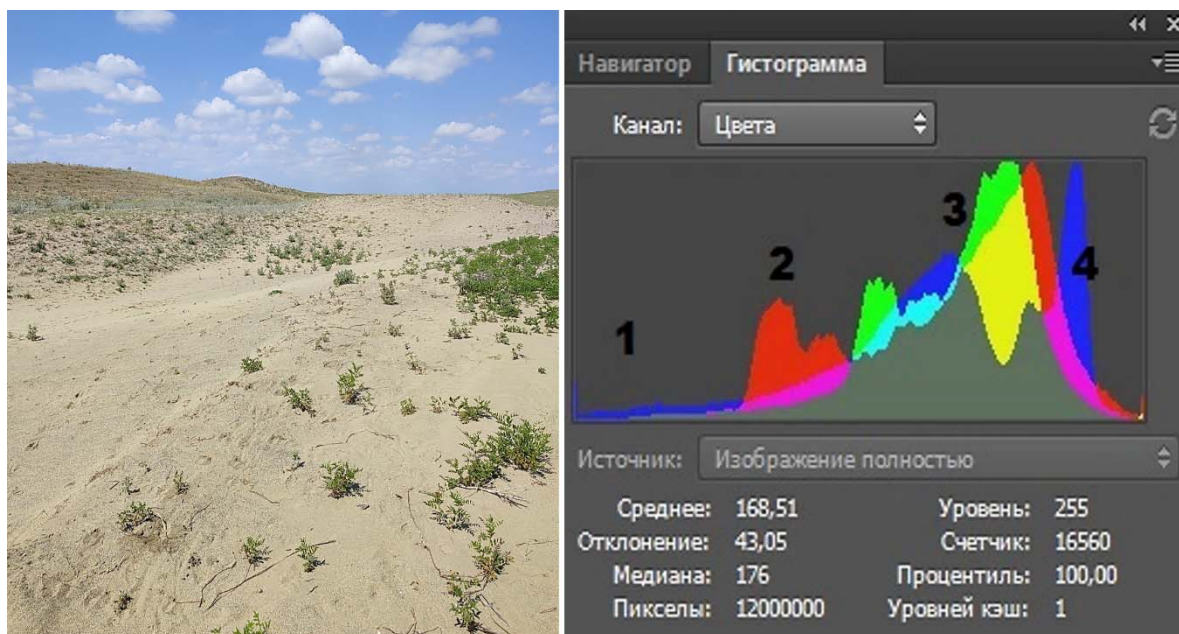


Рисунок 3. Фотоэталон тестового полигона участка «Червлённые Буруны», Ногайский район.

Гистограмма распределения пикселей на фотоэталоне в режиме «Цвета»:

1 – диапазон фототона горизонта; 2 – диапазон фототона растительности; 3 – диапазон фототона песчаного массива; 4 – диапазон фототона неба с облаками

Figure 3. Photographic reference image of the Chervlenye Buruny test site, Nogai district.

Histogram of the pixel distribution on photo reference in the Colors mode: 1 – range of the phototone of the horizon;

2 – range of the phototone of vegetation; 3 – range of the phototone of the sandy massif;

4 – range of the phototone of the sky with clouds

Таким образом, применение современных технологий (компьютерная обработка, дистанционные спутники, цифровые камеры, GPS навигации) позволяет получить фотоэталон об объекте исследования, которые будут использованы в качестве идентификатора деградации пастбищ. Полученные при проведении геоинформационного анализа данные о степени деградации пастбищных угодий могут быть использованы для поиска новых способов восстановления пастбищ на территории Республики Дагестан [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты исследований почвенно-растительного состава тестового участка расположено в

северной части общего Терского песчаного массива юга-запада Ногайского района, можно сделать выводы.

1. Почвенный покров находится в неразрывной связи с зонально-климатическими факторами и особенностью дельтового почвообразовательного процесса. Песчаные почвы тестового участка характеризуются в основном легким механическим составом (при фракциях 0,05–0,01 мм – 3,3 % и <0,01 мм – 6,2 %), очень слабым содержанием подвижных форм (P_2O_5 – 1,5 мг/100 г почвы и K_2O – 13,2 мг/100 г почвы), реакцией почвенного раствора – до сильнощелочной (рН – 8,6), по виду деградированности – дефляционные. Почвенно-геохимическая природа, в основном хлоридно-сульфатного засоления.

2. По видовому растительному составу относится к разнотравно-кубанковые (*Agropyron sibiricum* + псаммофитное разнотравье) в сочетании с песчано-кочкарными (*Stipa joannis*) или типчаково-прусняково-тырсовыми степями преобладает степная и пионерпесчаная растительность. В вегетационный период доминирующая роль здесь играет люцерна голубая (28 %) и полынь песчаная (25 %).

3. Почвенно-растительный покров исследуемой территории развивается под влиянием зональных климатических условий и пастбищной нагрузки при практическом отсутствии влияния дополнительного увлажнения.

4. Важным источником получения пастбищного корма и сена являются естественные кормовые угодья, на котором необходимо разработать мероприятия, в каждом конкретном случае, по рациональному использованию сенокосов и пастбищ на почвах Терско-Кумской низменности.

5. Фотоэталон применим в качестве идентификатора деградации пастбищных угодий, позволяющий рекомендовать по улучшению агроэкологической ситуации полупустынной зоны Дагестана. Исследование подчёркивает необходимость применения этого методологического подхода к изучению изменений ландшафта.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ рамках Государственного задания ФГБНУ «ФАНЦ РД» (тема № 125042805540-4 FNMN-2025-0009).

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Task of the FSBSI Federal Agricultural Research Center of the Republic of Dagestan» (topic No. 125042805540-4 FNMN-2025-0009).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Шварц С.С. Экология и биосфера // Сборник статей «Проблемы биогеоценологии, геоботаники и ботанической географии». Ленинград: Наука. Ленингр. отделение, 1973. 307 с.
- Биарсланов А.Б., Шинкаренко С.С., Гаджиев И.Р. Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. N 1. С. 160–175.
- Теймуров С.А., Казиев М-Р.А., Ибрагимов К.М. Оценка современного состояния опустыненных земель Кизлярских пастбищ // Научно-агрономический журнал. 2024. N 2(125). С. 37–44.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В. Г. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. N 3(56). С. 87–94.
- Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А. С., Бакурова К.Б. Способ определения состояния пастбищ, подверженных деградации. Заявитель ГНУ ВНИАЛМИ Россельхозакадемии. N 2006112379/28. Бюллетень. 2008. N 17. 3 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в

- агроландшафтах Юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2009. N 4. С. 12–25.
- Кулик К.Н., Петров В.И. История и современность «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Труды института геологии ДНЦ РАН. 2016. N 67. С. 94–97.
 - Юферев В.Г., Беляев А.И., Синельникова К.П. Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. N 4(68). С. 465–473.
 - Львов П.Л. Определитель растений Дагестана / Дагест. гос. ун-т им. В. И. Ленина. Махачкала, 1960. 422 с.
 - Гроссгейм А.А. Определитель растений Кавказа. М.: Советская наука, 1949. 747 с.
 - Галушко А.И. Флора Северного Кавказа: определитель. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978-1980. Т. 1. 328 с., Т. 2. 352 с., Т. 3. 320 с.
 - Красная книга Республики Дагестан (растения) / отв. Г.М. Абдурахманов. Махачкала, 1998. 329 с.
 - Полевая геоботаника / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. Ленинград: Наука. Ленинградское отделение, 1972. Т. 4. 336 с.
 - Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
 - Залибеков З.Г., Гаджиева А.М. Вопросы классификации и картографии процессов опустынивания земель Терско-Кумской низменности // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. N 5.С. 98–102.
 - Залибеков З.Г., Гамзатова Х.М. Типы опустынивания почв и критерии оценки деградационных процессов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. N 2. С. 50–56.
 - Гунин П.Д., Панкова Е.И. История формирования и основные понятия концепции опустынивания в отечественной науке // Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием. Махачкала-Волгоград, 2016. С. 15–20.
 - Бабаев А.Г., Байрамов С.Б. Актуальные проблемы сохранения и рационального использования экосистем средней зоны // Проблемы освоения пустынь. 1985. N 4. С. 14–20.
 - Бананова В.А. Карта антропогенного опустынивания Калмыцкой АССР и ее природоохранное значение // Комплексный мониторинг и прогнозы состояния природной среды. М.: АН СССР, 1991. С. 187–190.
 - Pernar R., Klobucar D. Estimating stand density and condition with the use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos // Annales experimentis silvarum culturae provehendis. Zagreb: Universitas studiorum Zagrebiensis, Facultas forestalis. 2003. V. 40. P. 81–111.

REFERENCES

- Schwartz S.S. *Ehkologiya i biosfera* [Ecology and the biosphere]. In: [Problems of biogeocenology, geobotany and botanical geography]. Leningrad, Nauka. Leningr. department Publ., 1973, 307 p. (In Russian)
- Biarslanov A.B., Shinkarenko S.S., Gadzhiev I.R. Mapping and analysis of seasonal dynamics of desertification areas in the north of Dagestan using monthly Sentinel-2 composites.

- Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2023, no. 1, pp. 160–175. (In Russian)
3. Teymurov S.A., Kaziev M.R.A., Ibragimov K.M. Assessment of the current state of the deserted lands of the Kizlyar pastures. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and agronomic journal]. 2024, no. 2(125), pp. 37–44. (In Russian)
4. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Geoinformation analysis of desertification foci in the Astrakhan region. *Aridnyye ehkositemy* [Arid ecosystems]. 2013, vol. 19, no. 3(56), pp. 87–94. (In Russian)
5. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Bakurova K.B. A method for determining the condition of pastures subject to degradation. The applicant is GNU VNIALMI of the Russian Agricultural Academy. No. 2006112379/28. *Byulleten'* [Bulletin]. 2008, no. 17, 3 p. (In Russian)
6. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Remote cartographic assessment of degradation processes in agrolandscapes of Southern Russia. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. [Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: science and higher professional education]. 2009, no. 4, pp. 12–25. (In Russian)
7. Kulik K.N., Petrov V.I. [History and modernity of the "General Scheme for combating desertification of Black lands and Kizlyar pastures"]. In: *Trudy instituta geologii DNC RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016, no. 67, pp. 94–97. (In Russian)
8. Yuferev V.G., Belyaev A.I., Sinelnikova K.P. Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2022, no. 4(68), pp. 465–473. (In Russian)
9. Lvov P.L. *Opredelitel' rastenii Dagestana* [Determinant of plants of Dagestan]. Makhachkala, 1960, 422 p. (In Russian)
10. Grosheim A.A. *Opredelitel' rastenii Kavkaza* [Determinant of plants of the Caucasus]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1949, 747 p. (In Russian)
11. Galushko A.I. *Flora Severnogo Kavkaza: opredelitel'* [Flora of the North Caucasus: a determinant]. Rostov-on-Don, Russian State University of Economics Publ., 1978–1980. Vol. 1. 328 p., Vol. 2. 352 p., Vol. 3. 320 p. (In Russian)
12. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan (rasteniya)* [The Red Book of the Republic of Dagestan (plants)]. Makhachkala, 1998, 329 p. (In Russian)
13. Lavrenko E.M., Korchagin A.A. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad, Nauka, Leningrad Branch Publ., 1972, vol. 4, 336 p. (In Russian)
14. Ramenskiy L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. *Ehkologicheskaya otsenka kormovykh ugodii po rastitel'nomu pokrovu* [Ecological assessment of forage lands by vegetation cover]. Moscow, Selkhozgiz Pub., 1956, 472 p. (In Russian)
15. Zalibekov Z.G., Gadzhieva A.M. Classification and cartography of desertification processes in the Tersko-Kuma lowland. *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennyye nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences]. 2010, no. 5, pp. 98–102. (In Russian)
16. Zalibekov Z.G., Gamzatova H.M. Types of soil desertification and criteria for assessing degradation processes. *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennyye nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences]. 2017, no. 2, pp. 50–56. (In Russian)
17. Gunin P.D., Pankova E.I. The history of the formation and basic concepts of the concept of desertification in Russian science. In: *Prirodnye i antropogennyye izmeneniya aridnykh ehkositem i bor'ba s opustynivaniem* [Natural and anthropogenic changes in arid ecosystems and the fight against desertification]. Makhachkala-Volgograd, 2016, pp. 15–20. (In Russian)
18. Babaev A.G., Bayramov S.B. Actual problems of conservation and rational use of ecosystems in the middle zone. *Problemy osvoiniya pustyn'* [Problems of desert development]. 1985, no. 4, pp. 14–20. (In Russian)
19. Bananova V.A. Map of anthropogenic desertification of the Kalmyk ASSR and its environmental significance. *Kompleksnyy monitoring i prognozy sostoyaniya prirodnoy sredy* [Comprehensive monitoring and forecasts of the state of the natural environment]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1991, pp. 187–190. (In Russian)
20. Pernar R., Klobucar D. Estimating stand density and condition with the use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos. *Annales experimentis silvarum culturae provehendis*. Zagreb, Universitas studiorum Zagrebensis, Facultas forestalis. 2003, vol. 40, pp. 81–111.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Самир А. Теймуров, Магомед-Расул А. Казиев, Абдумеджид А. Багомаев проанализировали данные, представили фактический материал и корректировали рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Samir A. Teymurov, Magomed-Rasul A. Kaziev and Abdulmedjid A. Bagomaev analysed the data, presented factual material and corrected the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Самир А. Теймуров / Samir A. Teymurov <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>
 Магомед-Расул А. Казиев / Magomed-Rasul A. Kaziev <https://orcid.org/0000-0002-6929-9034>
 Абдумеджид А. Багомаев / Abdulmedjid A. Bagomaev <https://orcid.org/0009-0000-6721-3180>

Оригинальная статья / Original article

УДК 913:338.483

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-11



Обоснование бассейнового подхода для реализации мероприятий по экологической оптимизации ландшафтов на примере муниципальных образований Оренбургской области

Юрий А. Падалко, Александр А. Чибилёв, Юрий А. Гулянов, Руслан Р. СадертдиновИнститут степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение
ФГБУН Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия**Контактное лицо**

Юрий А. Падалко, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; 460040 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.

Тел. +73532774432

Email yapadalko@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>**Формат цитирования**

Падалко Ю.А., Чибилёв А.А., Гулянов Ю.А., Садертдинов Р.Р. Обоснование бассейнового подхода для реализации мероприятий по экологической оптимизации ландшафтов на примере муниципальных образований Оренбургской области // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 127-137.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-11

Получена 31 октября 2025 г.

Прошла рецензирование 16 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью является обоснование мероприятий по экологической оптимизации ландшафтов на примере двух районов Оренбургской области: Первомайского и Светлинского с использованием бассейновой концепции.

Речной и озёрно-речной бассейны, в значительной степени совпадающие с границами муниципальных образований, рассматриваются как единая природно-хозяйственная система с взаимосвязанными компонентами. В рамках исследования современной структуры землепользования был осуществлен комплексный анализ официальных статистических данных, отражающих распределение земельных ресурсов по категориям и видам разрешенного использования.

Выполнена физико-географическая характеристика двух муниципальных районов Оренбургской области, с акцентом на морфометрические параметры речных и озёрных бассейнов. Анализ распределения земельного фонда позволил выявить как существенные сходства в подходах к организации землепользования, так и значительные структурные различия, указывающие на особенности кадастрового учёта и хозяйственного освоения земель и свидетельствующие о наличии серьёзных проблем в природопользовании.

Бассейновый подход к планированию экологической оптимизации степных ландшафтов позволяет эффективно реализовывать проекты по мелиорации и охране водоёмов. Сохранение проточности рек в межень требует ограничений по регулированию стока и оптимального функционирования водопропускных сооружений. В бассейнах малых и средних рек целесообразно создавать ландшафтно-гидрологические особо охраняемые природные территории (ООПТ) для охраны выходов подземных вод и участков повышенного биоразнообразия. Существующие водоохранные зоны не обеспечивают защиту от деградации ландшафтов, приуроченных к гидрографической сети.

Ключевые слова

Бассейновый подход, Оренбургская область, структура землепользования, территориальное планирование, экологическая оптимизация ландшафтов, водоохранные зоны.

Justification of the basin approach for implementing measures for environmental optimization of landscapes using the example of municipalities in the Orenburg region of Russia

Yuriy A. Padalko, Alexander A. Chibilev, Yuriy A. Gulyanov and Ruslan R. Sadertdinov

Steppe Institute, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact

Yuriy A. Padalko, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Steppe Institute, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pioneerskaya St, Orenburg, Russia 460040.
Tel. +73532774432
Email yapadalko@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>

How to cite this article

Padalko Yu.A., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Sadertdinov R.R. Justification of the basin approach for implementing measures for environmental optimization of landscapes using the example of municipalities in the Orenburg region of Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):127-137. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-11

Received 31 October 2025

Revised 16 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The aim of this study was the justification of measures for ecological optimisation of landscapes: a case study of Pervomaisky and Svetlinsky districts of Orenburg region using the basin concept.

River and lake-river basins, which largely coincide with the boundaries of municipal entities, are considered as unified natural-economic systems with interconnected components. Within the framework of the study of the current land-use structure, a comprehensive analysis was conducted of official statistical data reflecting the distribution of land resources by categories and types of permitted use.

The physical-geographical characterization of two municipal districts in Orenburg region was carried out, with a focus on morphometric parameters of river and lake basins. The analysis of land fund distribution in the compared districts revealed both significant similarities in land use and considerable structural differences, which indicate specific features of their cadastral registration and economic development. This enabled the identification of issues in natural resource management.

The basin-based approach to planning ecological optimisation of steppe landscapes enables the effective implementation of projects related to land reclamation and water body protection. Maintaining river flow continuity during low-water periods (low flow seasons) requires restrictions aimed at runoff regulation and optimal functioning of water-release structures. In the basins of small and medium-sized rivers, it is advisable to establish landscape-hydrological protected areas (PA, Protected Areas) to safeguard springs and zones of enhanced biodiversity. Existing water protection zones do not ensure protection against the degradation of landscapes associated with the hydrographic network.

Key Words

Basin approach, Orenburg region, land use structure, territorial planning, ecological optimisation of landscapes, water protection zones.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция речного бассейна, рассматриваемого в виде целостной природной системы, представляет собой одну из фундаментальных основ отечественной физической географии. Ее становление и развитие отражает эволюцию научного мышления от описательного подхода к системному функциональному анализу. Изначально, на рубеже XIX и XX веков, бассейн воспринимался преимущественно в рамках геоморфологических представлений. Так, Р. Хортон и А.А. Вирский в начале 1930-х годов трактовали его как эрозионное образование, возникшее в результате денудационных процессов. Этот подход, фокусирующийся на морфологических аспектах, оставался доминирующим на раннем этапе развития концепции.

Определённый ключевой сдвиг в понимании бассейна впервые наметился в работах Ю.П. Бялловича, который в 1938 году предложил радикально новую трактовку, определяя бассейн как «функциональный комплекс» или «функциональную совокупность». Эта идея ознаменовала переход от рассмотрения бассейна как статической формы к пониманию его как динамичной, взаимосвязанной системы [1]. Согласно Бялловичу, различные компоненты бассейна – гидрологические, геохимические, биологические – образуют единое целое, где их взаимодействие является непременным условием его существования и функционирования. Предложенная трактовка предвосхитила становление системного подхода в географии, заложив основу для анализа взаимозависимостей внутри природных комплексов.

В 1951 году А. М. Смирнов поднял вопрос о том, является ли ландшафт «объективно существующим» или это лишь результат мыслительной деятельности исследователя. Эта дискуссия имела прямое отношение к статусу бассейна, который, в связи с этим, должен был быть либо произвольно выделяемой единицей, либо фундаментальным структурным элементом ландшафтной сферы. В конечном итоге, бассейн стал восприниматься как единое природное образование, что придало концепции необходимую научную легитимность. При этом на протяжении десятилетий сохранялись разногласия относительно выделения границ бассейнов, особенно в условиях слабо расчлененного рельефа, где водоразделы не всегда очевидны. Это подчеркивает не только геоморфологическую, но и методологическую сложность выделения природных комплексов [1].

Возрождение интереса к бассейновой концепции в 1970-х годах было обусловлено появлением новых методологических подходов, в первую очередь, системного анализа и математического моделирования. Идеи, высказанные ранее, получили инструментарий для своего эмпирического подтверждения. Бассейн стал рассматриваться как «геосистема» или «ландшафт», обладающий функциональным единством и свойством интеграции. Благодаря работам А.Ю. Ретеюма, бассейн стал объектом детального изучения балансов вещества и энергии, воспринимаемым в виде кибернетической системы, регулирующей внутренние потоки [1].

Особую роль в процессе развития понятия о бассейне как геосистеме сыграли работы В.Б. Сочавы, А.Н. Антипова, Л.М. Корытного. В их представлении бассейн стал рассматриваться как «динамическая высокоинтегрированная иерархическая система». Этот

подход позволил объяснить, каким образом относительно небольшие бассейны могут быть частью более крупных систем и выявить особенности развития бассейна во времени. Также получили развитие балансовые описания бассейновых геосистем, что стало основой для их моделирования [2].

В развитие концепции внес свой вклад и Ф.Н. Мильков [3]. Он отмечал, что, хотя в признании бассейна природным комплексом не было сомнений, остаётся не до конца ясным вопрос о механизмах его функционирования. Мильков подчеркивал, что спецификой речных бассейнов является наличие "парагенетической" системы, характеризующейся однонаправленным перемещением вещества и энергии, в частности, стоком воды и твердых частиц. Помимо этого, он указывал на существование и других форм "парагенетических" связей – например, трофических, которые проявляются в суточных и сезонных миграциях животных между водоразделами и поймами в поисках пищи. Таким образом, если ранние исследователи создали абстрактную идею функционального единства бассейна, то в 1970-е годы эта идея была трансформирована в конкретный, измеримый и пригодный для моделирования объект исследования. Сформировавшись как фундаментальная теоретическая концепция, бассейн нашел широкое прикладное применение в области ландшафтно-экологических и мелиоративных исследований. Бассейновый подход зарекомендовал себя как эффективный инструмент для изучения территорий, подверженных существенному антропогенному воздействию. Он позволяет проводить объективную «экологическую дифференциацию» ландшафтов, выделяя единицы, идеально подходящие для оценки состояния окружающей среды и разработки мероприятий по рациональному природопользованию [1; 3].

Наибольшее распространение бассейновый подход получил в контексте анализа «антропогенных геосистем» – аграрных, горнопромышленных, урбанизированных ландшафтов, где изучение взаимодействия природных и техногенных потоков особенно актуально [1; 2]. В практических исследованиях, основными объектами изучения, как правило, выбираются малые и средние речные бассейны. Это объясняется их более простой внутренней структурой и ограниченными размерами, что облегчает сбор данных и целенаправленное управление.

Речные бассейны представляют собой сложные природно-хозяйственные системы, играющие ключевую роль в поддержании экологического баланса и обеспечении социально-экономического развития территорий. Однако интенсивная хозяйственная деятельность, разворачивающаяся в пределах речных бассейнов, оказывает существенное и многогранное воздействие на их состояние. Среди наиболее значимых антропогенных факторов выделяются трансформация ландшафтов сельскохозяйственной деятельностью и нарушение естественного гидрологического режима регулированием стока рек прудами и водохранилищами, сопряженное с риском загрязнения вод и расширение селитебных территорий.

Границы муниципальных образований в субъектах РФ очень редко совпадают с контурами объективно существующих природных территорий на

уровне физико-географических районов или бассейнов рек и озерных систем. В этом отношении удобной моделью для разработки схем территориального планирования являются административные районы, имеющие границы, совпадающие с бассейнами рек или озер. В пределах Оренбургской области в качестве объектов для исследования выбраны два достаточно крупных района – Первомайский (5100 км²) и Светлинский (5600 км²). Первый из них почти целиком расположен в бассейне правого притока Урала – реки Чаган, второй охватывает значительную часть Шалкар-Жетыколь-Айкенской бессточной озерно-равнинной впадины. Оба этих муниципальных образований выбраны в качестве ключевых для разработки типовых схем районного планирования мероприятий по экологической реабилитации степных ландшафтов.

Актуальность исследования воздействия различных видов хозяйственной деятельности на территории речных бассейнов обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных подходов к устойчивому управлению водными ресурсами и минимизации негативных экологических последствий. В связи с этим целью данной работы является комплексный анализ природной составляющей и характера использования водосборной территории, в том числе водоохранных зон, регулирования стока и проявления экстремальных гидрологических ситуаций в бассейнах на примере двух районов Оренбургской области Первомайского и Светлинского. Полученные данные могут быть использованы для объективной оценки перспектив экологической оптимизации ландшафтов муниципальных образований, территориально принадлежащих определенным бассейнам: речного р. Чаган и озерного Жетыколь-Шалкарского, соответственно на крайнем западе и крайнем востоке Оренбургской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейновая концепция в природопользовании – это подход, который рассматривает речной бассейн как единую природно-хозяйственную систему, где все компоненты взаимосвязаны и взаимозависимы. Это означает, что управление водными ресурсами, земельными угодьями, лесами и другими природными объектами осуществляется не по административным границам, а в пределах естественных границ водосбора.

С этой целью нами в пределах муниципальных образований был проведен геоинформационный анализ статистических данных, характеризующих распределение современных земельных ресурсов по категориям и видам разрешенного использования в программе QGIS 3.32. Материалами для исследования послужили открытые источники: Федеральная государственная информационная система «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» [4], а также действующие схемы территориального планирования администраций Первомайского и Светлинского районов. Для более подробного исследования использовались архивные картографические материалы и разновременные спутниковые снимки, позволившие получить более полное и детализированное представление об использовании территории водосборов и водоохранных зон, а также зон затопления [5]. На

заключительном этапе проводились полевые исследования ключевых территорий и верификация.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первомайский район – один из немногих муниципальных районов, большая часть территории которого расположена в пределах одного речного бассейна, и границы совпадают с водоразделами бассейна правого притока р. Чаган.

В верхней и средней части своего течения она протекает по территории России, тогда как нижняя часть бассейна и его устье находятся в Казахстане. Территориально бассейн реки Чаган приурочен к юго-восточной окраине Восточно-Европейской равнины. Верховье р. Чаган расположено на южных склонах Общего Сырта. Правые притоки (р. Балабанка, р. Таловая) среднего течения дренируют восточные склоны Синего Сырта. Высота истока р. Чаган составляет 233,1 м над уровнем моря, наибольшая максимальная отметка в среднем течении на истоке р. Башкирка – 245 м, а в верховьях р. Деркул – 259 м.

В бассейне р. Чаган можно выделить три высотно-ландшафтных ступени: верхнюю (сыртовую-увалистую с отметками 150–245 м), среднюю (плакорную и склоновую с высотами 140–230 м), и нижнюю (долинно-речную с 40–160 м). В литологическом составе верхняя ступень территории сложена верхнеюрскими и нижнетриасовыми песчаниками, песками и мергелями с алевролитами. Средняя ступень, включающая долину р. Чаган от истока до среднего течения, сложена отложениями меловой системы. В нижней высотно-ландшафтной ступени распространены аккумулятивные морские и озерно-аллювиальные отложения неоген-антропогенного возраста [6; 7].

Длина реки Чаган, измеряемая от истока до места впадения в основную водную артерию, составляет 264 км. Наиболее значительными притоками являются: Деркул (90 км), Таловая (65 км) и Башкирка (42 км). Водосборный бассейн реки площадью 7,5 тыс. км² разделен пополам между Российской Федерацией (49,1 %) и Республикой Казахстан (50,9 %).

В ходе морфометрического анализа рельефа бассейна реки Чаган были детализированы характеристики склоновых уклонов и их экспозиционной ориентации. Установлено, что усреднённый показатель крутизны склонов в пределах бассейна достигает приблизительно 1°. Максимальные значения уклонов (более 5°) зафиксированы в приводораздельных зонах Общего Сырта, в верховьях реки Чаган и её северных притоков. Минимальные уклоны, варьирующиеся в диапазоне 1–2°, наблюдаются на водоразделе рек Чаган и Урал, а также в припойменной зоне нижней части водосборного бассейна. Выявлена асимметричность береговых склонов бассейна реки с доминированием правобережной части. Данная особенность коррелирует с различиями в параметрах уклона: левобережные склоны характеризуются меньшей крутизной по сравнению с протяжёнными и более крутыми правобережными склонами, что является типичной чертой всего бассейна. В водосборном бассейне реки Деркул отмечается преобладание левобережных склонов, крутизна которых находится в интервале 1–3°.

В результате анализа продольного профиля реки установлено дифференцированное распределение

величин падения по её течению, рассчитанное на основании отметок уреза воды:

- в верхнем течении – 0,7 м/км;
- в среднем течении (на участке от устья р. Башкирка до устья р. Таловая) – 0,3 м/км;
- в нижнем течении (от устья р. Таловая до устья р. Чаган) около 0,1 м/км.

При этом отмечено, что уклоны водной поверхности на притоках превышают соответствующие показатели основного русла. В частности, для реки Башкирка величина падения достигает 0,97 м/км, а для реки Деркул – 0,5 м/км.

В бассейне реки Чаган доминируют склоны, ориентированные в юго-восточном, южном и юго-западном направлениях. Морфологические характеристики бассейна – в частности, средняя абсолютная высота и диапазон перепадов высот – обуславливают потенциал аккумуляции атмосферных осадков в холодный сезон. Градиент крутизны склонов оказывает существенное влияние на время добега водных потоков (включая дождевые и талые воды) до замыкающего створа и интенсивность развития процессов плоскостной водной эрозии в пределах бассейна.

На некоторых участках бассейна р. Чаган отмечена высокая антропогенная нагрузка, связанная с распашкой и интенсивным выпасом скота на крутых склонах, что увеличивает вероятность развития плоскостной эрозии и интенсивность нарастания уровня воды на водотоках во время половодья. В пашню зачастую оказываются вовлечёнными мало пригодные к обработке участки, включая склоновые, эрозионно нарушенные, с неустойчивой почвой.

Морфометрические параметры речных бассейнов выступают значимым фактором формирования экстремальных водноэкологических ситуаций, включая периоды маловодья и весенние половодья. В бассейне реки Чаган наличие участков с повышенной крутизной склонов обуславливает ускоренный поверхностный сток, что приводит к быстрому росту уровня воды и вероятности возникновения заторных явлений в период половодья на водотоках. Преобладание склонов южной экспозиции усиливает скорость снеготаяния за счёт повышенной инсоляции. По данным наблюдений максимальную интенсивность подъёма уровня воды на реке Чаган отмечали в районе посёлка Каменный – 459 см/сутки (1962 г.), что является рекордом среди притоков среднего течения реки Урал. Анализ гидрологического режима за многолетний период выявил следующие характеристики прохождения половодья на реке Чаган у села Каменное:

- максимальная средняя высота подъёма уровня воды – 558 см;
- продолжительность затопления пойменной зоны – в диапазоне 20–38 суток;
- повторяемость затопления – свыше 90 % [8].

Приведённые количественные показатели подтверждают высокую степень подверженности данного участка экстремальным гидрологическим явлениям, что напрямую коррелирует с особенностями морфометрии бассейна.

Статистика последствий прохождения половодья за многолетний период показывает существенную угрозу для населённых пунктов в бассейне реки Чаган. В зоне потенциального

затопления в период весеннего половодья находится 15 населённых пунктов, при этом половина из них за последние годы неоднократно подвергалась негативному воздействию вод. При детализации структуры ущерба, формируемого негативным действием вод, выявляются следующие категории поражаемых объектов: селитебные территории, инфраструктура и сельскохозяйственные угодья. Селитебные территории наиболее уязвимы вследствие высокой концентрации застройки на пойменных территориях и водоохраных зонах рек. Данная категория лидирует по частоте и масштабам повреждений. Объекты инфраструктуры, включают: автомобильные дороги; низководные мостовые сооружения (характеризующиеся минимальной высотой пролётных строений над меженным уровнем); инженерные коммуникационные системы (водопроводные, канализационные) др. Сельскохозяйственные угодья – третья значимая категория, испытывающая существенный урон от паводковых вод. Затоплению подвергаются пашни, сенокосы и пастбища, что приводит к нарушению сроков проведения агротехнических мероприятий и частичной или полной потере урожая на подтопленных участках. В структуре ущерба преобладающую долю составляют косвенные потери, обусловленные затоплением объектов транспортной инфраструктуры. Данное явление провоцирует следующие последствия: прерывание транспортного сообщения между населёнными пунктами и районными центрами, что ограничивает доступность социально значимых объектов (медицинских учреждений, образовательных организаций), затрудняет доставку продовольственных и материальных ресурсов и затрудняет общую мобильность населения. Рост экономических издержек на проведение аварийно-восстановительных работ и организацию временных альтернативных маршрутов. Снижение производственного потенциала из-за временного приостановления или сокращения мощностей предприятий, расположенных в зоне затопления.

Таким образом, паводковые явления в бассейне реки Чаган формируют многокомпонентный ущерб, затрагивающий жилые зоны, инфраструктурные объекты и аграрный сектор, что требует учёта зон затопления/подтопления в территориальном планировании и их соблюдении.

Экологические последствия весеннего половодья, как правило, не имеют значительного масштаба. Однако в отдельных локациях наблюдается ухудшение качества питьевой воды, что требует принятия мер по подвозу воды населению и санации системы водоснабжения. К сожалению, отсутствуют исследования по экологическим последствиям для водных объектов последствий смыва с затопленных селитебных и промышленных территорий загрязнителей и отходов производства и потребления в водные объекты.

В бассейне реки Чаган наряду с периодами повышенной водности регулярно наблюдаются явления маловодья. В летне-осенний период фиксируется временное прекращение стока, средняя продолжительность которого составляет 55 суток. В зимний период отмечается промерзание водотоков, в контрольном створе у села Каменное длительность данного явления достигает 49 суток [8]. Маловодье и

его последствия минимизируются за счет значительного фонда прудов и водохранилищ (более ста). В ряде населенных пунктов на юге Первомайского района из-за несоответствия качества воды нормативам осуществляется подвоз воды для населения для хозяйственно-питьевых нужд.

Крупные пруды и водохранилища, такие как на балке Красная (Мичуринская плотина) и р. Балабанка 1-я нуждаются в ремонте и модернизации функциональности дополнительной инфраструктуры для целей орошения и обводнения. Выявлено складирование отходов жизнедеятельности КРС. Водопой скота осуществляется повсеместно на всех прудах и водохранилищах. На небольших притоках р. Чаган первого и второго порядка созданы каскады сезонных прудов как в черте населенных пунктов, так и за их пределами. Небольшие пруды на этих притоках создаются в основном для водопоя на период выпаса домашнего скота. Из-за высоких потерь на испарение и инфильтрацию, и отсутствия запорной арматуры для регулирования сброса, сток в таких водотоках прекращается в меженный период.

Около половины прудов находятся на сельскохозяйственных землях, служат для рыбозаведения и рекреации. Большая часть небольших и средних прудов находится в аренде. Передача в аренду крупных водохранилищ сдерживается высокой стоимостью реконструкции ГЭС. Пруды и водохранилища являются популярным необорудованным местом отдыха местных жителей, вследствие чего несут значительную рекреационную нагрузку.

В структуре земель в разрезе крупных бассейнов Первомайского района преобладают земли сельскохозяйственного назначения по кадастровым данным (рисунок 1 и 2). Из всех земель

сельскохозяйственного назначения только около четверти имеют сведения по разрешенному использованию: выпас скота и скотоводство (пастбища), сенокосы, пашня, земли под замкнутыми водоемами и т.д. Отдельную категорию составляют неразграниченные государственные земли, т.е. не поставленные на кадастровый учёт. Они представлены не только балками, оврагами, частями речных долин с крутыми склонами и различными неудобьями, но и бывшими сельскохозяйственными землями, на которых, судя по анализу разновременных спутниковых снимков, (продолжается) сельскохозяйственная деятельность (пашня, сенокосы). Такие земли преобладают в бассейнах притоков р. Урал в приграничной зоне. Земли с неустановленной категорией учтены в кадастровых сведениях, но вид разрешенного использования и категория их не обозначены.

Земли лесного фонда Первомайского лесничества занимают около 3 % территории района, только 2 % которых заняты лесом. Леса Первомайского района разнообразны и представлены различными типами. На сыртах (северной части района преобладают водораздельные леса с дубом черешчатым и осиной обыкновенной. Экспозиционные леса, состоящие из осины и березы повислой, растут на склонах и образовались благодаря поздневесенним снежникам. Байрачные леса, также с преобладанием осины и березы, расположены по оврагам и балкам. Пойменные и галерейные леса встречаются вдоль рек Чаган, Башкирка, Таловая и Балабанка-1 и их притоков, и включают иву белую и клен ясенелистный. Искусственные насаждения, занимающие значительную часть территории района, представлены полесажными и придорожными лесополосами, компенсационными и лесами, посаженными в рамках исполнения Киотского протокола, селитебными.

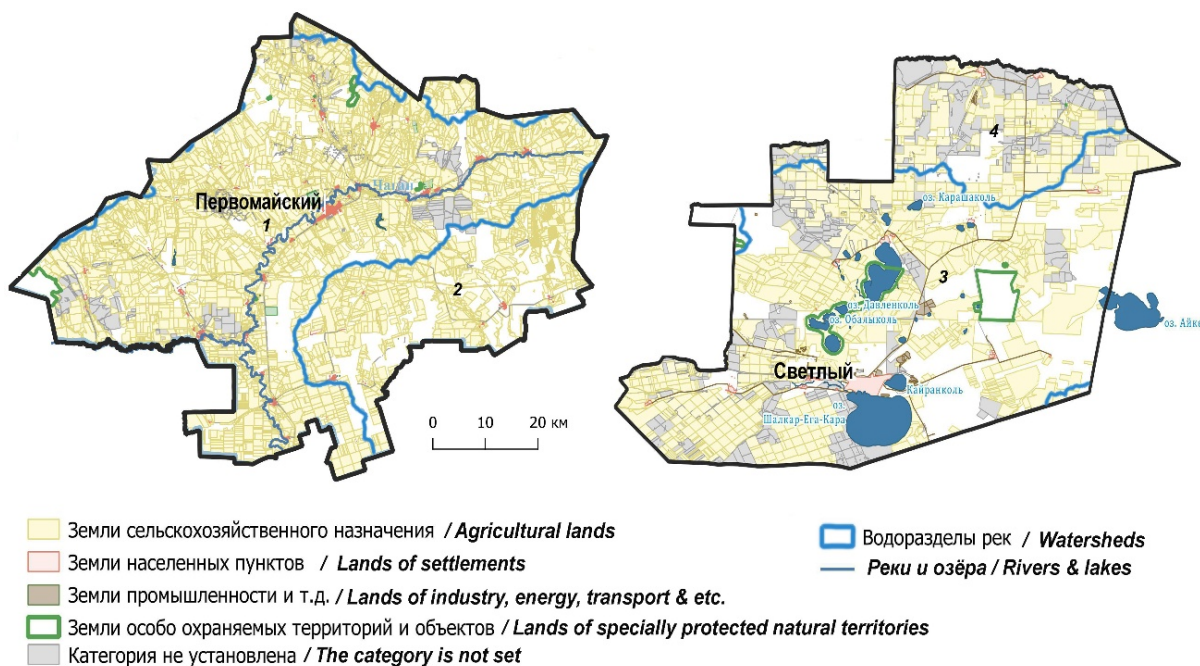


Рисунок 1. Картосхемы структуры земель по категориям в бассейнах рек Первомайского и Светлинского районов Оренбургской области

Цифрами обозначены: 1. Бассейн р. Чаган; 2. Бассейны притоков р. Урал; 3. Бессточная озёрная область; 4. Бассейн р. Тобол

Figure 1. Cartography of land structure by category in the basins of the Pervomaisky and Svetlinsky districts of the Orenburg region

The numbers indicate: 1. The basin of the Chagan River; 2. The basins of the tributaries of the Ural River; 3. The endorheic lake region; 4. The basin of the Tobol River

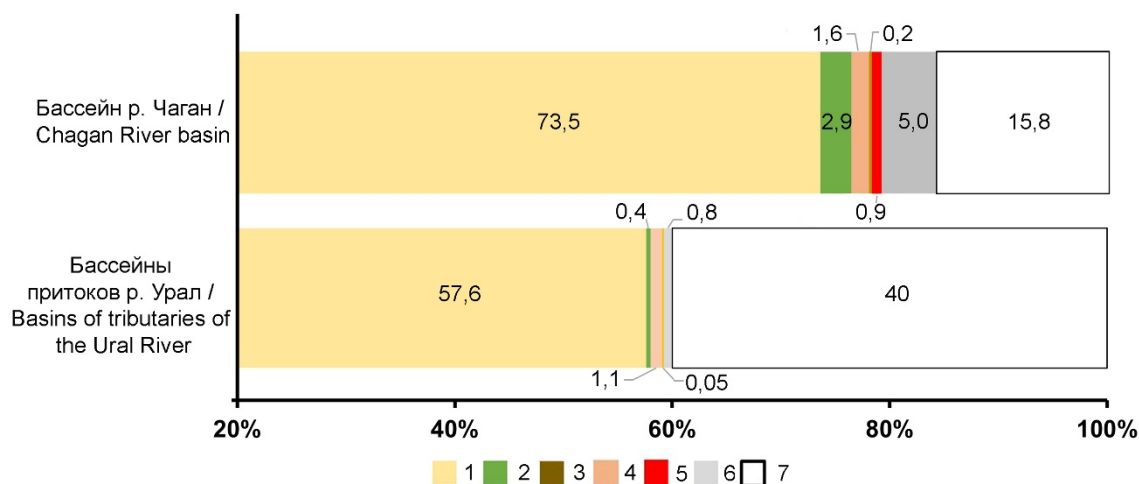


Рисунок 2. Кадастровые данные о структуре земель по категориям в бассейнах рек Первомайского района
Цифрами обозначены: 1. Земли сельскохозяйственного назначения; 2. Лесные земли, в том числе леса, не поставленные на кадастровый учёт; 3. Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи; 4. Земли населенных пунктов; 5. Земли особо охраняемых природных территорий; 6. Земли не установленной категории; 7. Нераспределенные государственные земли

Figure 2. Cadastral data on the structure of lands by category in the basins of the Pervomaisky district rivers
The numbers indicate: 1. Agricultural lands; 2. Forest fund, including forests that have not been registered on the cadastral register; 3. Lands of industry, energy, transport, communications; 4. Lands of settlements; 5. Lands of specially protected natural territories; 6. The category is not set. 7. Undivided state lands

Полезационные лесополосы состоят преимущественно из вяза мелколистного, березы повислой, сосны обыкновенной и в отдельных случаях лиственницы. Массивные насаждения с линейной структурой включают вяз мелколистный, сосну обыкновенную, клен ясенелистный, ясень пенсильванский и дуб черешчатый. «Киотские леса» состоят из сосны обыкновенной, ясеня пенсильванского и вяза мелколистного. Компенсационные леса из вяза мелколистного в настоящее время не сформированы. Придорожные лесополосы состоят из вяза мелколистного, клена ясенелистного и березы повислой. На берегах прудов и водохранилищ растут тополь и ива. Севернее поселка Первомайского расположены садовые насаждения, находящиеся в настоящее время в крайне неудовлетворительном состоянии. Селитебные насаждения повсеместно приурочены к населенным пунктам.

Селитебные территории 58 населенных пунктов Первомайского района занимают площадь около 71 км², большая их часть (50 населенных пунктов) расположена в бассейне р. Чаган. Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи включают развитую транспортную сеть автодорог, месторождения добычи нефти и газа и терминалов по их подготовке для транспортировки по обширной сети нефтегазопроводов за пределы района.

Земли особо охраняемых природных территорий включают участок государственного заповедника «Оренбургский» – «Таловская степь» площадью 3200 га, расположенного в верховьях р. Таловая, правого притока р. Чаган и 6 памятников природы. Проектируется памятник природы «Верховья Чагана» площадью около 100 га. Территории, расположенные у истоков р. Чаган, характеризуются высоким биологическим и ландшафтным разнообразием естественно сформировавшихся природных сообществ [9–12].

Светлинский район, согласно водохозяйственному районированию РФ, располагается в Уральском и Иртышском бассейновых округах [8]. Его большая часть представляет собой бессточную озёрную область, входящую в водохозяйственный участок р. Урал. Северная часть района занята бассейном р. Тобол (притока р. Иртыш.). Доля бессточной озёрной области составляет 79 %, а бассейна р. Тобол 18 % от площади района.

Бессточную озёрную область составляют водосборы оз. Айке и группы озер, известных как Светлинские. Озёра представляют собой совокупность обширных водоемов с плоским дном, находящихся в изолированной бессточной области на восточной границе Зауральского пенеппена. Эта область соответствует обширной аккумулятивной равнине.

Площадь водосбора группы Светлинских озёр составляет 3050 км², что составляет более 50 % территории района. По своим гидрологическим характеристикам и размерам, озера дифференцируются на следующие категории: крупные озера с площадью более 50 км²: Шалкар-Ега-Кара (96,6 км²) и Жетыколь (50,26 км²); средние озера, имеющие площадь от 1 до 10 км²: Кайранколь, Караколь, Обальколь, Средний Обальколь, Давленколь, Кудайколь (Суходол), Карашаколь (Каменное), Западный и Восточный Косколь, Малый Кайранколь; малые озера, площадь которых варьируется от 0,5 до 1 км²: Батпакты, Малый Жетыколь (Горелое), Карамола (Сухое), Восточный и Западный (Заповедный) Журманколь, Талдыша, Биктас, Малый Караколь, Естыкопа, Тастыколь [7].

Большая часть озера Айке расположена в Республике Казахстан, в маловодные годы снижение уровня воды приводит к отходу береговой линии за пределы территории Российской Федерации. Площадь оренбургского плёса составляет до 1,3 тыс. га при урезе воды в озере на отметке 246 м.

Уровень воды в озерах Жетыколь-Шалкарской группы относительно стабилен. Для крупных и средних

водоемов этот показатель составляет 298–310 метров над уровнем моря, для малых озер – 315–330 метров. Большинство озер этой группы имеют береговые террасы высотой от 2 до 4 метров, к которым вода подходит только в периоды высокой водности. Многие водоемы имеют округлые или овальные контуры береговой линии, за исключением озера Жетыколь. У этого озера восточный берег плавно закруглен, в то время как на западе расположены три крупных залива, разделенных полуостровом и длинной песчаной косой [7].

Наполнение озёр, зависящее преимущественно от весенних талых вод, способствует значительным колебаниям их площади как в многолетнем, так и в сезонном масштабах. Континентальный климат с недостаточным увлажнением обуславливает низкие среднегодовое нормы стока, не превышающие 0,5 л/с·км². Флуктуации водного режима озер являются индикатором климатических изменений. За период с 1985 по 2015 годы наблюдается циклическая динамика наполнения озерных котловин. Выделяются два маловодных периода: 1984–1992 годы и 2012–2015 годы. В промежутке между ними, в 1993–1995 и 2005–2006 годах, зафиксированы периоды повышенного наполнения, когда уровень воды превышал среднегодовое на 2 метра, что приводило к затоплению прибрежных территорий [13].

В многоводные годы Светлинские озера функционируют как единая гидрологическая система, связанная сетью ложбин стока, обеспечивающих переток воды из северных озер в Шалкар-Ега-Кара. Это приводит к сезонным изменениям структуры водосборных бассейнов отдельных озер. По данным спутниковых наблюдений и гидрологических измерений определены абсолютные отметки уровня воды, при достижении которых происходит объединение озер в единый водоем. Для озера Шалкар-Ега-Кара эта отметка составляет 301 метр. Многоводные периоды могут наносить ущерб прибрежной инфраструктуре, вызывая затопление и долгосрочные негативные последствия для сельского хозяйства.

Светлинские озёра являются ключевой орнитологической территорией российского и мирового значения на юго-востоке России. Здесь гнездятся, мигрируют или останавливаются на кочёвках 145 видов птиц, включая 6 видов, занесённых в Красную книгу России. Озёра расположены на важнейшем трансконтинентальном миграционном пути и служат местом массовой концентрации и линьки гусеобразных. Весной здесь скапливается до 50 тыс. гусей, 0,7 тыс. лебедей, 150–180 тыс. уток и до 80 тыс. гусей, более 1 тыс. лебедей и до 200 тыс. уток осенью. Встречаются и редкие виды – розовый фламинго, кудрявый пеликан, большой баклан, большая белая цапля и другие. На биоразнообразии региона и сохранение популяций мигрирующих пернатых существенно влияют оказывают колебания площади водно-болотных угодий. Часть Светлинских озер находится под охраной в биологическом заказнике областного значения «Светлинский» на площади 9262,6 га [14; 15].

Биологическое разнообразие территории Светлинского района используется различными охотхозяйствами. Пять наиболее крупных охотничьих угодий: «Айке», «Буруктальское», «Степное», «Колос», «Прод Ника 2», принадлежащих двум учредителям, в

общей сложности занимают более 90 % площади района.

Флуктуации уровня Светлинских озер оказывают значительное влияние на экосистемы и социально-экономическую ситуацию в регионе. Пересыхание озер не наносит прямого ущерба населению и хозяйству, так как вода в них имеет высокую минерализацию и не служит источником питьевого водоснабжения. В тоже время изменения гидрологического режима приводят к трансформации водных и прибрежных ландшафтов, а также оказывают заметное влияние на локальный микроклимат [6–7].

В фонд гидротехнических сооружений входят порядка десяти малых водохранилищ объёмом от 1 до 3,5 млн м³ и около 20 прудов, а также пруд-испаритель очистных сооружений п. Светлый и водоочистные сооружения Буруктальского никелевого завода.

В участке бассейна реки Тобол и бессточной озёрной области абсолютно доминируют земли сельскохозяйственного назначения, занимающие 50,7 % и 51,9 % их площади соответственно. Такая высокая доля сельскохозяйственных земель подтверждает выраженную аграрную направленность хозяйственного использования территорий. Доли земель, отведенных под инфраструктуру (населенные пункты и промышленность, энергетика, транспорт, связь), минимальна и не превышают 1,4 %, что характерно для слабозаселённых территорий. На землях промышленности необходимо отметить нарушенные ландшафты, где осуществляется добыча полезных ископаемых открытым способом. На территории района расположено несколько карьеров по их добыче: никель-кобальтовых руд (Буруктальское месторождение), хромовых руд (Аккаргинское месторождение), начата разработка месторождений элювиальных каолинов «Ковыльное» и «Коскольское».

В бессточной озёрной области зафиксирована значительная доля земель особо охраняемых природных территорий (3,7 %), так как здесь расположена большая часть особо охраняемых природных территорий района (участок «Ащисайская степь» Оренбургского государственного природного заповедника, биологического заказника областного значения "Светлинский" и памятник природы "Озеро Карамола") и земель водного фонда (4,8 %), что логически согласуется с ее статусом, характеризующимся высокой концентрацией озерных систем.

В участке бассейна реки Тобол почти половина территории (48,8 %) приходится на земли не установленной категории (25,8 %) и неразграниченные государственные земли (23,0 %). В бессточной озёрной области доля неразграниченных земель также высока (29,4 %), хотя доля земель с не установленной категорией существенно ниже (8,8 %) (таблица 1).

Пространственный анализ землепользования в двух районах Оренбургской области показал различия в его структуре. Они обусловлены особенностями природных условий и уровнем антропогенного воздействия. Исследование структуры землепользования базировалось на официальных кадастровых данных в пределах природных границ речных и озёрных бассейнов. Это позволило выявить закономерности и противоречия в освоении водосборных территорий, что является основой для планирования и принятия управленческих решений с учетом бассейнового подхода. Анализ распределения

земельного фонда в сравниваемых районах выявил как существенные сходства в землепользовании, так и значительные структурные различия, указывающие на

особенности их кадастрового учета и хозяйственного освоения.

Таблица 1. Структура землепользования в разрезе водосборов Светлинского района (в км²)

Table 1. The structure of land use in the context of the catchment areas of the Svetlinsky district (in square kilometers)

Категория земель Category of land use	Бассейн р. Тобол Tobol River basin	Бессточная озёрная область Endorheic lake region
Земли сельскохозяйственного назначения Agricultural lands	524	2319
Земли населенных пунктов Lands of settlements	2	41,5
Земли водного фонда (озёра) Water fund lands (lakes)		216,5
Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи Lands of industry, energy, transport, communications	3,15	21,5
Земли особо охраняемых природных территорий Lands of specially protected natural territories	0,01	164,4
Категория не установлена The category is not set	267	394,5
Неразграниченные государственные земли Undivided state lands	237,8	1314,5

В структуре земель Первомайского района абсолютно преобладают земли сельскохозяйственного назначения, которые, согласно кадастровым данным для бассейна реки Чаган, составляют 73,5 % территории. Значительную долю также занимают неразграниченные государственные земли (15,8 %), которые распространены повсеместно и включают балки, овраги, части речных долин и неудобья, но также и бывшие сельхозземли, на которых ведётся сельскохозяйственная деятельность. Около четверти сельхозземель имеют сведения о разрешенном использовании (пашня, пастбища, сенокосы и т.д.). Земли лесного фонда составляют около 3 %, а земли населенных пунктов – 1,6 %. При этом большая часть из 58 населенных пунктов расположена в бассейне реки Чаган. Особо охраняемые природные территории минимальны (0,9 %) и включают участок заповедника «Оренбургский» – «Таловская степь».

В Светлинском районе, так же, как и в Первомайском, земли сельскохозяйственного назначения абсолютно доминируют как на участке бассейна реки Тобол, так и в бессточной озерной области. Эта доля подтверждает выраженную аграрную направленность использования территорий. Однако, в отличие от Первомайского, в Светлинском районе наблюдается очень высокая доля земель с неустановленной категорией и неразграниченных государственных земель, которые вместе составляют почти половину территории (48,8 %) в участке бассейна реки Тобол и значительную долю в бессточной озерной области. Также в Светлинском районе, особенно в бессточной озерной области, более высокая доля особо охраняемых природных территорий (3,7 %) и земель водного фонда (4,8 %), что связано с высокой концентрацией озерных систем и расположением ООПТ района (участок «Ащисайская степь», заказник «Светлинский» и др.). Доля земель под инфраструктуру (населенные пункты и промышленность, энергетика, транспорт, связь) в Светлинском районе минимальна и

не превышает 1,4 %, что характерно для слабозаселенных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Бассейновый подход к планированию мероприятий по экологической оптимизации степных ландшафтов позволяет дифференцировано осуществлять реализацию проектов по лесомелиорации, рациональному регулированию поверхностного стока, созданию водоохраных зон, обеспечивающих защиту основных водотоков от антропогенных загрязнений и заилиения.
2. Важнейшим показателем сохранения экологической устойчивости бассейна малой и средней реки является проточность ее основного русла не только в период половодья, но и во время летней и зимней межени, что должно обеспечиваться ограничениями регулирования стока и функционированием водопропускных сооружений, которые должны быть предусмотрены планированием водопользования в пределах одного или нескольких муниципальных образований по соответствующему регламенту.
3. В бассейне малой и средней реки, по площади сопоставимой с территорией одного или нескольких муниципальных образований, целесообразно создавать ландшафтно-гидрологические ООПТ, обеспечивающие охрану выходов родниковых вод, а также наиболее ценных в экологическом отношении участков речных долин с повышенным биологическим разнообразием. Подобные «заповедные участки долин рек» могут создаваться в категории ландшафтных памятников природы либо заказников.
4. Бассейновый подход к территориальному планированию природопользования целесообразно осуществить как в пределах одного муниципального образования (совпадающего с бассейном реки), так и для смежных территорий, занимающих верхние, средние, нижние или боковые звенья единой водосборной площади.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 25-17-00020,
<https://rscf.ru/project/25-17-00020/>

ACKNOWLEDGEMENT

The study was supported by the Russian Science
Foundation grant No. 25-17-00020,
<https://rscf.ru/project/25-17-00020/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Отв. ред. В.А. Снытко. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. 161 с.
2. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. 319 с.
3. Мильков Ф.Н. Ландшафтная география и вопросы практики. Москва: Мысль, 1966. 255 с.
4. Портал пространственных данных Национальная система пространственных данных. URL: <https://nspd.gov.ru> (дата обращения: 20.08.2025)
5. Zhai K., Wu X., Qin Y., Du P. Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations // *Geospatial Information Science*. 2015. V. 18. N 1. P. 32–42. DOI: 10.1080/10095020.2015.1017911
6. Чибилёв А.А., Вельмовский П.В. Первомайский район Оренбургской области. Краеведческий атлас. Оренбург: ООО «Союз-реклама», 2008. 46 с.
7. Чибилёв А.А. Природное наследие Оренбургской области. Учебное пособие. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1996. 384 с.
8. Нижне-Волжское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов. URL: <http://www.nvbvu.ru/> (дата обращения: 20.07.2025)
9. Чибилёв А.А. Река Урал. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 168 с.
10. Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология / отв. ред. Ж.Т. Сивохип, О.А. Грошева. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.
11. Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 172 с.
12. Чибилёв А.А., Дебело П.В. Рыбы Урало-Каспийского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 227 с.
13. Падалко Ю.А., Павлейчик В.М. Выявление сезонных и многолетних вариаций площади озер Южного Зауралья на основе спутниковых изображений Landsat (предварительные результаты исследования) // Материалы V Междунар. Конф. молодых ученых «Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика)» (5–8 сентября 2016 г.) / Отв. ред. Д.А. Субетто и др. Т. 1. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. С. 60–66.
14. Чибилёв А.А. Перспективы развития непрерывной сети ключевых природных резерватов в степной зоне Европейской России на основе сопряженного анализа современной структуры ландшафтов // Вопросы степеведения. 2018. N 14. С. 36–44. <https://doi.org/10.2441/9999-006A-2018-00001>
15. Доклад о состоянии и использовании земель в Оренбургской области в 2023 году. URL: <https://rosreestr.gov.ru> (дата обращения: 23.08.2025)

REFERENCES

1. Korytnyi L.M. *Basseinovaya kontseptsiya v prirodopol'zovanii* [Basin concept in nature management].

- Irkutsk, Institute of Geography SB RAS Publ., 2001, 161 p. (In Russian)
2. Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* [Introduction to the Study of Geosystems]. Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otделение Publ., 1978, 319 p. (In Russian)
3. Mil'kov F.N. *Landshaftnaya geografiya i voprosy praktiki* [Landscape geography and practical issues]. Moscow, Mysl' Publ., 1966, 255 p. (In Russian)
4. *Portal prostranstvennykh dannykh Natsional'naya sistema prostranstvennykh dannykh* [Spatial Data Portal of the National Spatial Data System]. Available at: <https://nspd.gov.ru> (accessed 20.08.2025)
5. Zhai K., Wu X., Qin Y., Du P. Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations. *Geospatial Information Science*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 32–42. doi: 10.1080/10095020.2015.1017911
6. Chibilev A.A., Vel'movskii P.V. *Pervomaiskii raion Orenburgskoi oblasti. Kraevedcheskii atlas* [Pervomaisky district of the Orenburg region. Local history atlas]. Orenburg, Soyuz-reklama Publ., 2008, 46 p. (In Russian)
7. Chibilev A.A. *Prirodnoe nasledie Orenburgskoi oblasti* [Natural heritage of the Orenburg region]. Orenburg, Orenburg Book Publ., 1996, 384 p. (In Russian)
8. *Nizhne-Volzhskoe basseinovoe vodnoe upravlenie Federal'nogo agentstva vodnykh resursov* [Lower Volga Basin Water Administration of the Federal Agency for Water Resources]. Available at: <http://www.nvbvu.ru/> (accessed 20.07.2025)
9. Chibilev A.A. *Bassein Urala: istoriya, geografiya, ekologiya* [The Ural Basin: history, geography, ecology]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2008, 312 p. (In Russian)
10. Chibilev A.A. *Reka Ural* [The Ural River]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 168 p. (In Russian)
11. Chibilyov A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov* [Ecological Optimization of Steppe Landscapes]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 1992, 172 p. (In Russian)
12. Chibilev A.A., Debelo P.V. *Ryby Uralo-Kaspiiskogo regiona* [Fish of the Ural-Caspian region]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2009, 227 p. (In Russian)
13. Padalko Yu.A., Pavleichik V.M. Vyyavlenie sezonnykh i mnogoletnikh variatsii ploshchadi ozer Yuzhnogo Zaural'ya na osnove sputnikovyykh izobrazhenii Landsat (predvaritel'nye rezul'taty issledovaniya) [Identification of seasonal and long-term variations in the area of lakes in the Southern Trans-Urals based on Landsat satellite imagery (preliminary research results)]. *Materialy V Mezhdunar. Konf. molodykh uchenykh «Vodnye resursy: izuchenie i upravlenie (limnologicheskaya shkola-praktika)» Petrozavodsk, (5–8 sentyabrya 2016 g.)* [Proceedings of the V Intern. Conf. of young scientists "Water Resources: Study and Management (Limnological School-Practice)", Petrozavodsk, 5–8 September, 2016]. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi tsentr RAN Publ., 2016, vol. 1, pp. 60–66. (In Russian)
14. Chibilyov A.A. Prospects for the development of a continuous network of key natural reserves in the steppe zone of European Russia based on the conjugate analysis of the modern landscape structure. *Problems of Steppe Management*, 2018, no. 14, pp. 36–44. (In Russian) <https://doi.org/10.2441/9999-006A-2018-00001>
15. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Orenburgskoi oblasti v 2023 godu* [Report on the Status and Use of Lands in the Orenburg Region in 2023]. Available at: <https://rosreestr.gov.ru> (accessed 23.08.2025)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий А. Падалко сделал обзор развития бассейновой концепции, обработал и проанализировал статистические и пространственные данные, составил картосхемы. Александр А. Чибилёв руководил исследованием, составил план работ, откорректировал материалы. Юрий А. Гулянов обработал статистические данные по сельскохозяйственному землепользованию. Руслан Р. Садертдинов собрал материалы и описал лесной фонд. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yuriy A. Padalko carried out an overview of the basin concept development, processing of statistical and spatial data and creation of map schematics. Alexander A. Chibilev undertook scientific supervision of the study, development of the work plan and revision of materials. Yuriy A. Gulyanov undertook statistical data processing for agricultural land use. Ruslan R. Sadertdinov undertook collection of materials and description of the forest fund. All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Юрий А. Падалко / Yuriy A. Padalko <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>

Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilev <http://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Юрий А. Гулянов / Yuriy A. Gulyanov <http://orcid.org/0000-0002-5883-349X>

Руслан Р. Садертдинов / Ruslan R. Sadertdinov <https://orcid.org/0009-0006-8761-3046>

Оригинальная статья / Original article

УДК553.4:915.46

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-12



Классификация типов подземных вод в районе Пакокку в центральной части Мьянмы

Мин О. Со¹, Людмила В. Боронина², Константин В. Белов¹, Нухкади И. Рабазанов^{3,4},
Аркадий Ф. Сокольский⁵, Валерий Р. Волошин¹

¹Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

³Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

⁴Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

⁵Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Астрахань, Россия

Контактное лицо

Мин О. Со, аспирант, гидрогеологический факультет, Российский государственный геологоразведочный университет; 117485 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. Тел. +79855210116

Email minnoaksoe95@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0009-0000-6252-9880>

Формат цитирования

Со М.О., Боронина Л.В., Белов К.В., Рабазанов Н.И., Сокольский А.Ф., Волошин В.Р. Классификация типов подземных вод в районе Пакокку в центральной части Мьянмы // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 138-154. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-12

Получена 3 октября 2025 г.

Прошла рецензирование 17 ноября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью исследования было проведение гидрогеологической и гидрохимической оценки подземных вод в районе Пакокку (Центральная Мьянма) для классификации их типов и определения пригодности для орошения сельскохозяйственных земель.

Проанализированы пробы подземных вод из 17 буровых скважин, приуроченных к аллювиальным и ирравадийским водоносным горизонтам. Полевые параметры (рН, температура, электропроводность (ЕС), общее содержание растворённых веществ (TDS)) измерялись *in situ*, а концентрации основных ионов определялись стандартными лабораторными методами. Гидрохимические фации интерпретировались с использованием диаграмм Пайпера и Чадхи, тогда как пригодность для орошения оценивалась на основе индексов (SAR, SSP, RSBC, MAR, PS, KR, PI), а также диаграмм Ричардса и Уилкокса.

Выявлены два водоносных горизонта: аллювиальный и ирравадийский. Преобладает тип воды Ca-Mg-Cl-SO₄ (82 % проб), с небольшими примесями Ca-Mg-HCO₃ и Ca-Mg-SO₄, что подтверждает жесткость воды и отсутствие остаточного карбоната натрия, что благоприятно для орошения. Электропроводность воды (ЕС) варьируется от 480 до 1100 мкСм/см, а коэффициент адсорбции натрия (SAR) составляет 0,99–2,04. По диаграммам Ричардса вода в основном относится к категориям C2-S1 и C3-S1, что указывает на низкий риск натриевой опасности, но на среднюю или высокую соленость. Оценка других параметров (SSP, RSBC, MAR, PS, KR, PI) показала, что 14 из 17 проб пригодны для орошения. Три пробы (РПК-3, РПК-9, РПК-17) признаны непригодными из-за высоких показателей солености и магния.

Подземные воды региона преимущественно пресные, с умеренной минерализацией, подходят для сельского хозяйства при контроле за минерализацией и выборе солеустойчивых культур.

Ключевые слова

Классификация подземных вод, гидрогеохимия, качество подземной воды; диаграмма Пайпера, диаграмма Чадха, коэффициент адсорбции натрия (SAR), индекс проницаемости (PI), коэффициент адсорбции магния (MAR), потенциальная соленость (PS), центральная Мьянма, район Пакокку, формация Иравади, аллювиальный водоносный горизонт.

Classification of groundwater types in Pakokku district in central Myanmar

Min O. Soe¹, Liudmila V. Boronina², Konstantin V. Belov¹, Nukhadi I. Rabazanov^{3,4},
Arkady F. Sokolsky⁵ and Valery R. Voloshin¹

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

³Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan State University, Makhachkala, Russia

⁵Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia

Principal contact

Min O. Soe, PhD student, Hydrogeological Faculty,
Russian State Geological Exploration University;
23 Miklukho-Maklaya St, Moscow, Russia 117485.
Tel. +79855210116

Email minnoaksoe95@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0009-0000-6252-9880>

How to cite this article

Soe M.O., Boronina L.V., Belov K.V., Rabazanov N.I.,
Sokolsky A.F., Voloshin V.R. Classification of
groundwater types in Pakokku district in central
Myanmar. *South of Russia: ecology, development*.
2026; 21(1):138-154. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-12

Received 3 October 2025

Revised 17 November 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

This study aimed to undertake a comprehensive hydrogeological and hydrochemical assessment of groundwater in the Pakokku area, Central Myanmar, to classify water types, identify dominant hydrochemical facies and evaluate suitability for irrigation under arid conditions.

Groundwater samples from 17 bore wells, representing alluvial and Irrawaddy aquifers, were analysed. Field parameters (pH, temperature, EC, TDS) were measured in situ, and major ions were determined using standard laboratory methods. Hydrochemical facies were interpreted using Piper and Chadha diagrams, while irrigation suitability was assessed through indices (SAR, SSP, RSBC, MAR, PS, KR, PI) and Richards and Wilcox diagrams.

Results indicate two dominant facies: Ca–Mg–Cl–SO₄ and Ca–Mg–HCO₃, with 82% of samples belonging to the former, reflecting carbonate and silicate weathering. EC ranges from 480–1100 µS/cm and TDS from 310–715 ppm, indicating fresh to slightly mineralised water. SAR values (0.99–2.04) and SSP (<40%) classify most samples as excellent to good. Most waters fall within C2–S1 and C3–S1 fields, showing moderate salinity and low sodium hazard.

Overall, the groundwater of 14 of 17 samples is suitable for irrigation, while three show elevated salinity or magnesium hazard. Groundwater in general is assessed as fresh, stable and suitable for sustainable agricultural use with proper salinity management.

Key Words

Groundwater classification, hydrogeochemistry, irrigation water quality; Piper diagram, Chadha diagram, sodium adsorption coefficient (SAR), permeability index (PI), magnesium adsorption coefficient (MAR), potential salinity (PS), central Myanmar, Pakokku, Irrawaddy Formation, alluvial aquifer.

ВВЕДЕНИЕ

Мьянма является крупнейшей материковой страной в Юго-Восточной Азии, ее общая площадь составляет 676 557 км². Соседними странами являются Китай, Индия, Таиланд, Лаос и Бангладеш. Мьянма обладает богатыми водными ресурсами, которые испытывают минимальную нехватку воды. Как правило, среднегодовое количество осадков в Мьянме колеблется в пределах 1000–1500 мм и варьируется в зависимости от различных районов или областей [1].

Таким образом, объем подпитки подземных вод осадками также варьируется в зависимости от конкретного местоположения. В Мьянме есть четыре основные речные системы: Айяравади, Танлвин, Чиндуин и Ситтаунг. Кроме того, около 90 % территории страны разделено на восемь речных бассейнов, которые подпитывают подземные воды, что дает общий потенциал подземных вод в размере ~ 495 км³/год (Рис. 1).



Рисунок 1. Карта расположения Мьянмы
Figure 1. Myanmar location map

Наиболее продуктивной является дельтовая часть реки Айяравади и прилегающие к ней территории. На бытовые нужды используют 60 % от всех запасов воды. В этом районе питание подземных вод осуществляется, в основном, за счет осадков и инфильтрация поверхностных вод.

Регион Мьянмы можно разделить на четыре линейных геоморфологических пояса, расположенных с севера на юг. А именно, Восточное нагорье, Центральная низменность, Западные хребты и прибрежная равнина Ракхайн. Эти пояса являются простым отражением лежащей в их основе стратиграфии и структуры, поскольку каждый из них содержит литологические и структурно связанные группы горных пород [2]. Таким образом, они также рассматривали как отдельные геотектонические провинции блок Шан-Танинтари, Центральные кайнозойские пояса, Западный складчатый пояс и прибрежный пояс Ракхайн [2].

Центральный кайнозойский пояс подчеркнут различными упорядоченными последовательностями кайнозойских осадочных толщ. Встречаются некоторые

магматические и метаморфические породы. Кайнозойские породы можно разделить на эоценовую группу, олигоцен-миоценовую группу (группа Пега), миоцен-плиоценовую (формация Иравади) [2]. Региональные геологические условия исследования приведены в таблице 1.

Территория в целом относится к Центральному кайнозойскому поясу. В частности, она расположена в бассейне Минбу, в котором залегают третичные обломочные отложения большой мощности. Эта область в основном покрыта слоями песчаника, алевролита и сланца формации Иравади «мио-плиоцен», гравийными отложениями и террасами «плейстоцен», а также недавними аллювиальными отложениями, состоящими в основном из рыхлого песчаного грунта, илистой почвы и илстых или мергелистых отложений [3]. Региональная геологическая карта, взятая из миллионной геологической карты Мьянмы, также показана на рисунке 2. Горные породы на исследуемой территории можно разделить на аллювий, иравадийскую формацию и группу Перу [3].

Таблица 1. Региональная стратиграфия района

Table 1. Regional stratigraphy of the area

	Серия систем System Series	Стратиграфические Stratigraphic Unit	Литология Lithology	Выставленный в исследуемой зоне Exposed in study area
ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ / QUATERNARY	Недавний Recent	Более молодой аллювий Younger alluvium	Желтая аллювиальная глина, ил, песок и гравий (в некоторых местах темно-серая почва) Yellow Alluvial clay, silt, sand, and gravel (in some place dark grey soil)	Рядом с Каммой Near Kamma
	Плейстоцен Pleistocene	Более древний аллювий Older alluvium	Темно-коричневая среднеилистая почва, илисто-глинистая почва до красновато-коричневой илистой почвы и гравия Dark brown medium silty soil, silty clay soil to reddish brown silty soil and gravel	Рядом с пагодой Лея Таунгу Near Leya Taungoo Pagoda
ТРЕТИЧНЫЙ / TERTIARY	От верхнего миоцена до нижнего плейстоцена Upper Miocene to Lower Pleistocene	Формирования Иравади Irrawaddy Formation	Плохо укрепленный песчаник желтоватого цвета с прослоями песка и гальки, а также небольшими слоями песчаной глины и сланца Poorly consolidated buff colour sandstone interbedded with gritty and pebbly beds and minor sandy clay and shale layers	Рядом с пагодой Лея Таунгу Near Leya Taungoo Pagoda
	Верхний олигоцен Upper Oligocene	Группа Пегу Pegu Group	Массивные глинистые и конгломератные песчаники бурого цвета с примесью песчаных сланцев и твердых ракушечниковых известняков Buff-coloured, massive, argillaceous and conglomeratic sandstone with sandy shales and hard shelly limestones	Недалеко от деревни Кюн Чаунг Near Kyun Chaung Village

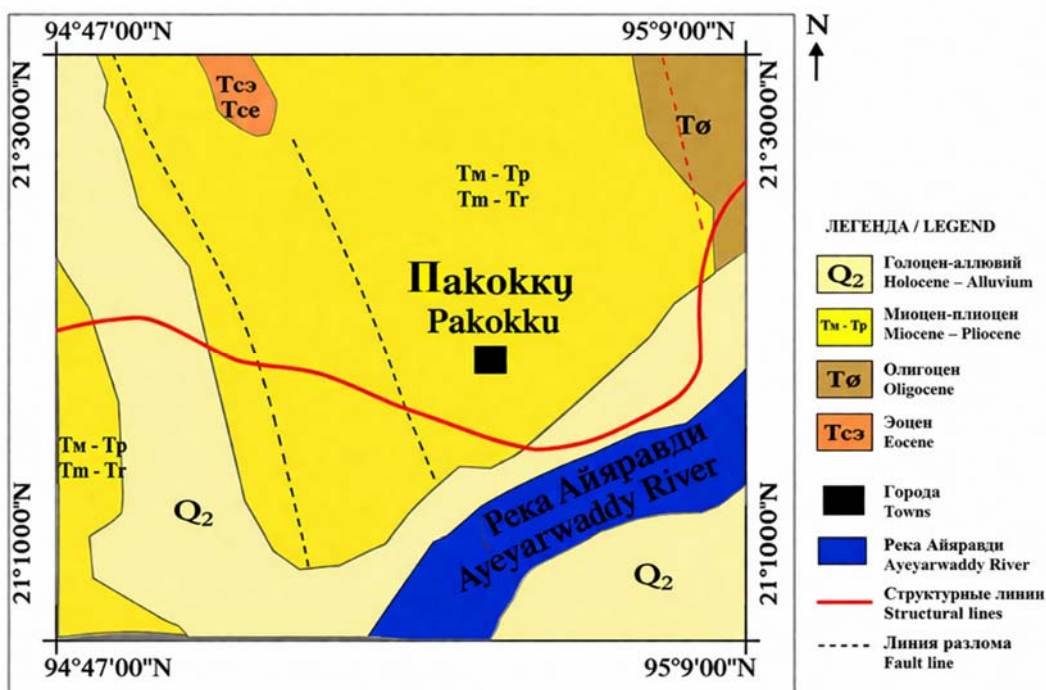


Рисунок 2. Геологическая карта района Пакокке

Figure 2. Geological map of Pakokku district

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Типы подземных вод классифицируются по диаграммам Пайпера и Чадха. Классификация воды по диаграмме Пайпера основана на процентном содержании эквивалента на миллион и представлена на трехлинейной диаграмме отдельно для катионов и

анионов. Согласно классификации метода Пайпера, в пробах воды из водоносного горизонта отмечен тип $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$ и тип $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$. Водный разрез типа HCO_3^- доминирующий $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}$ и Cl^- доминирующий $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^- \text{-HCO}_3^-$ тип. Это показано на рисунке 3 и 4.

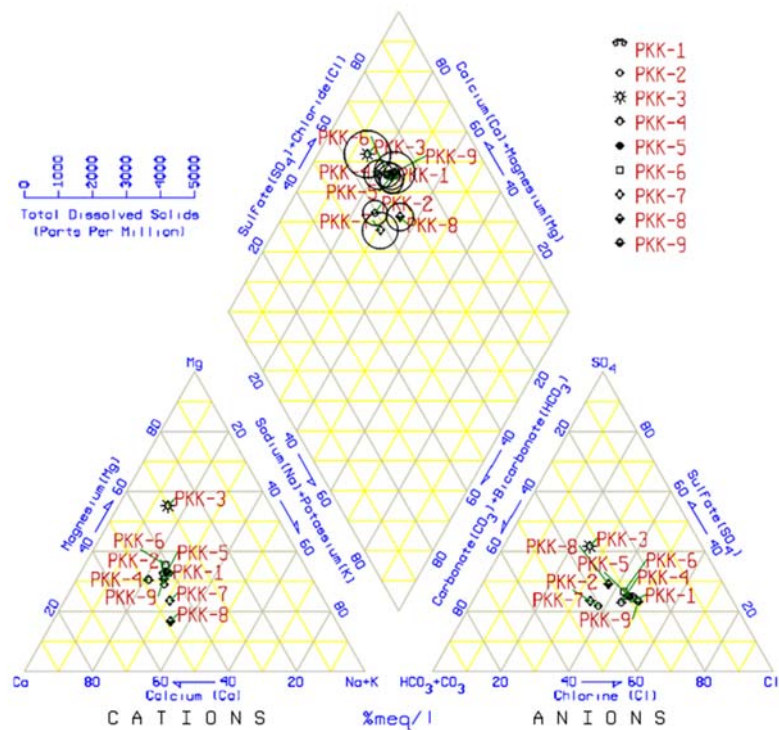


Рисунок 3. Схема для подземных вод в районе Пакоку 1
Figure 3. Scheme for groundwater in Pakokku area 1

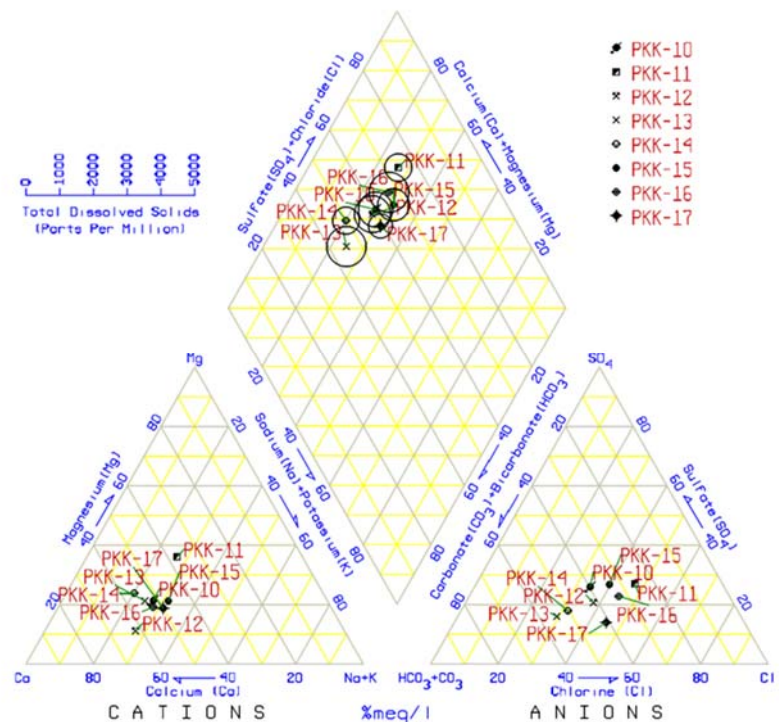


Рисунок 4. Схема для подземных вод в районе Пакоку 2
Figure 4. Scheme for groundwater in Pakokku area 2

Анализ диаграмм Пайпера (рисунки 3 и 4) показывают, что подземные воды в районе Пакокку характеризуются смешанным катионным составом с преобладанием кальция и магния, в то время как анионный состав варьируется между бикарбонатным и хлоридным типами, что указывает на взаимодействие воды с карбонатными и силикатными породами, а также на возможное влияние испарения или антропогенного загрязнения в определенных зонах водоносного горизонта.

Чтобы систематизировать и наглядно представить гидрохимический состав подземных вод на исследуемой территории, они были классифицированы по методу Пайпера, результаты которого представлены в таблице 2. Эта таблица позволяет нам определить преобладающие гидрохимические типы вод и их пространственное распределение по скважинам, что является основой для оценки генезиса минерализации и потенциальной пригодности вод для различных видов использования.

Таблица 2. Химическая классификация типа подземных вод по методу Пайпера Региональная стратиграфия района
Table 2. Chemical classification of groundwater type by Piper's method – Regional stratigraphy of the area

Номер No	Номер скважины Well No	Тип Type	Тип воды по методу Пайпера Water Type by Piper Method
1	ПКК – 1/ РКК – 1	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
2	ПКК – 2/ РКК – 2	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
3	ПКК – 3/ РКК – 3	V	Ca-Mg-SO ₄
4	ПКК – 4/ РКК – 4	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
5	ПКК – 5/ РКК – 5	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
6	ПКК – 6/ РКК – 6	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
7	ПКК – 7/ РКК – 7	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
8	ПКК – 8/ РКК – 8	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
9	ПКК – 9/ РКК – 9	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
10	ПКК – 10/ РКК -10	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
11	ПКК – 11/ РКК – 11	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
12	ПКК – 12/ РКК – 12	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
13	ПКК – 13/ РКК – 13	I	Ca-Mg-HCO ₃
14	ПКК – 14/ РКК – 14	I - IV	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄
15	ПКК – 15/ РКК – 15	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
16	ПКК – 16/ РКК – 16	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄
17	ПКК – 17/ РКК – 17	IV	Ca-Mg-Cl-SO ₄

Абсолютное большинство проб (14 из 17, что составляет около 82 %) относятся к типу IV по классификации Пайпера с химической формулой Ca-Mg-Cl-SO₄. Это указывает на то, что подземные воды в основном обладают смешанным катионным (кальциево-магниевым) и смешанным анионным (хлоридно-сульфатным) составом.

Классификация воды по диаграмме Чадха основана на разнице в миллиэквивалентных процентах между щелочноземельными (кальций плюс магний) и щелочными металлами (натрий плюс калий),

выраженной в процентах от значений реакции, нанесенных на ось X, и разнице в миллиэквивалентных процентах между слабокислыми анионами (карбонат плюс бикарбонат) и сильноокислыми анионами (хлорид плюс сульфат) нанесены на ось Y. Результирующая область исследования представляет собой квадрат или прямоугольник, в зависимости от размера шкал, выбранных для координат X и Y. Согласно диаграмме Чадха, тип воды в более молодом аллювиальном водоносном горизонте относится к типу Ca-Mg-Cl. Это показано на рисунках 5 и 6.

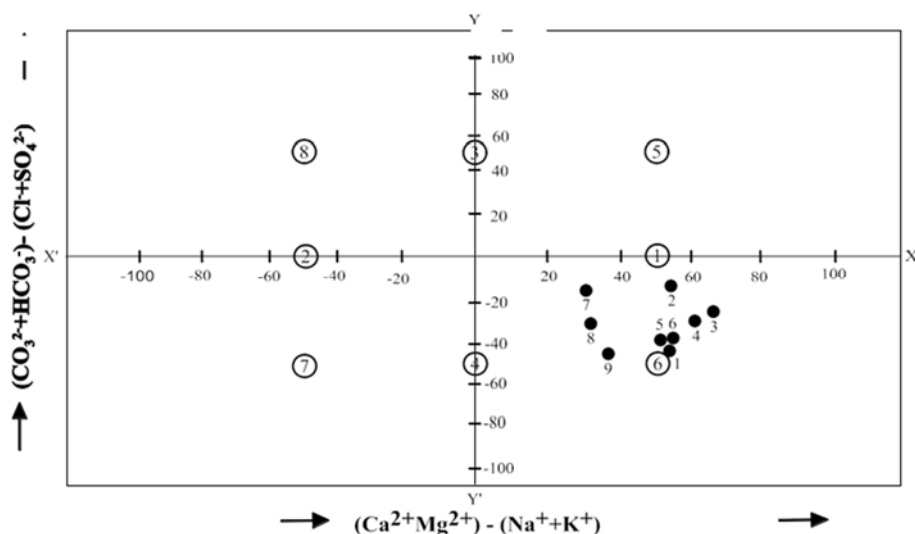


Рисунок 5. Классификация типов воды по диаграмме Чадха в водоносном горизонте 1
Figure 5. Classification of water types according to the Chadha diagram in the aquifer 1

Щелочноземельные металлы превосходят щелочные металлы, а сильнокислые анионы превосходят слабокислые анионы. Такая вода обладает постоянной жесткостью и не образует остаточного карбоната натрия

при орошении. Положения точек данных на предложенной диаграмме соответствуют Ca²⁺ - Mg²⁺ - Cl⁻ типу, Ca²⁺ - Mg²⁺ воды доминирующего Cl⁻ типа, или Cl⁻ воды доминирующего Ca²⁺ - Mg²⁺ типа.

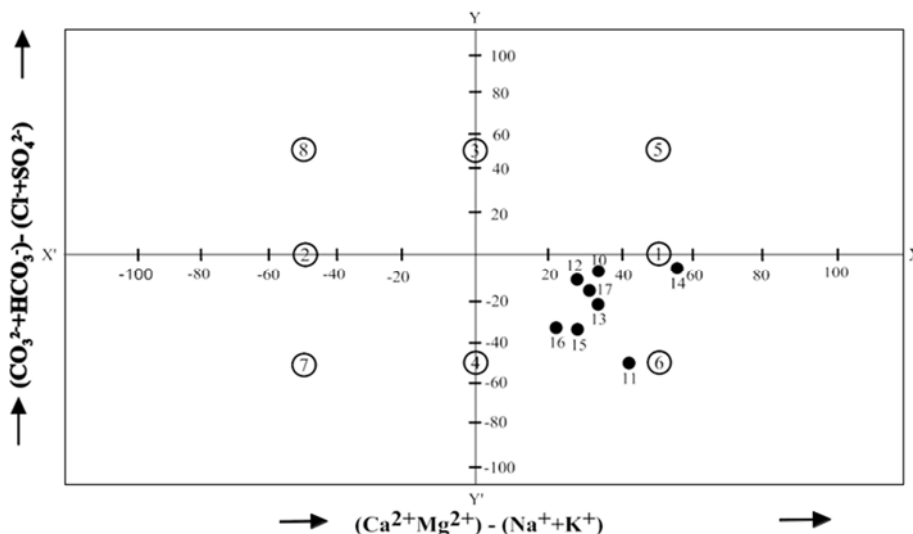


Рисунок 6. Классификация типов воды по диаграмме Чадха в водоносном горизонте 2
Figure 6. Classification of water types according to the Chadha diagram in the aquifer 2

На основании диаграммы Чадха установлено, что подземные воды аллювиального горизонта относятся к кальциево-магниевому-хлоридному типу (Ca-Mg-Cl), что характеризуется преобладанием щелочноземельных металлов над щелочными и сильнокислых анионов над слабокислыми; такая вода обладает постоянной жесткостью и, что критически важно для сельского хозяйства, не образует остаточного карбоната натрия при орошении, что предотвращает засоление и деградацию почв.

Критерии качества оросительной воды зависят от типа растений, количества используемой оросительной воды, почвы и климата, поскольку некоторые растения очень чувствительны к определенной концентрации того или иного элемента в оросительной воде. Количество воды, доступное для промывки орошаемой почвы, имеет решающее значение для появления побочных эффектов, таких как увеличение содержания нежелательных соединений в верхнем слое почвы [6]. Состояние почвы и климата в конечном счете определяют степень опасности неблагоприятных последствий. Высокое испарение и низкая проницаемость почвы приводят к плохому дренажу и опасному накоплению соленой почвенной влаги. В этом случае потребуется большое количество воды для промывки [6].

При оценке качества воды для орошения натрия является важным фактором. Высокое содержание Na в воде по отношению к Ca + Mg приводит к нарушению структуры почвы, и она становится более пластичной, что ограничивает движение воды. Возникнут проблемы с дренажем, и в конечном счете культивация станет невозможной. Карта расположения скважин на исследуемой территории приведена на рисунке 7.

Классификация по коэффициенту адсорбции натрия «SAR»; Соотношение Na основано на коэффициенте адсорбции натрия «S.A.R» почвенным раствором и определяется по формуле 1

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Для скважин № 1 «S.A.R» составил,

$$= \frac{1.3}{\sqrt{\frac{2.3 + 7.5}{2}}} = 1.35 \text{ мэкв/л}$$

Диаграмма Ричардса является стандартным инструментом для комплексной диаграмме оценки качества оросительной воды, одновременно учитывающим риск засоления почвы (с точки зрения удельной электропроводности – ЕС) и риск засоления из-за воздействия натрия (с точки зрения коэффициента адсорбции натрия – SAR). Размещение данных о воде на этой диаграмме позволяет отнести ее к одному из классов, определяющих потенциальную опасность для почв и растений и, соответственно, необходимые агрономические мероприятия и представил в таблице 3.

Вода с низкой соленостью «C1» может использоваться для орошения большинства сельскохозяйственных культур на большинстве почв, где вероятность засоления почвы невелика. Требуется некоторое промывание, но это происходит при обычном орошении, за исключением почв с чрезвычайно низкой водопроницаемостью.

Вода средней солености «C2» может использоваться при умеренном вымывании. Растения с умеренной солеустойчивостью в большинстве случаев можно выращивать без специальных мер по контролю солености.

Вода с высокой соленостью «C3» нельзя использовать на почвах с ограниченным дренажем. Даже при достаточном дренаже может потребоваться специальный уход для контроля засоления и следует выбирать растения с хорошей солеустойчивостью.

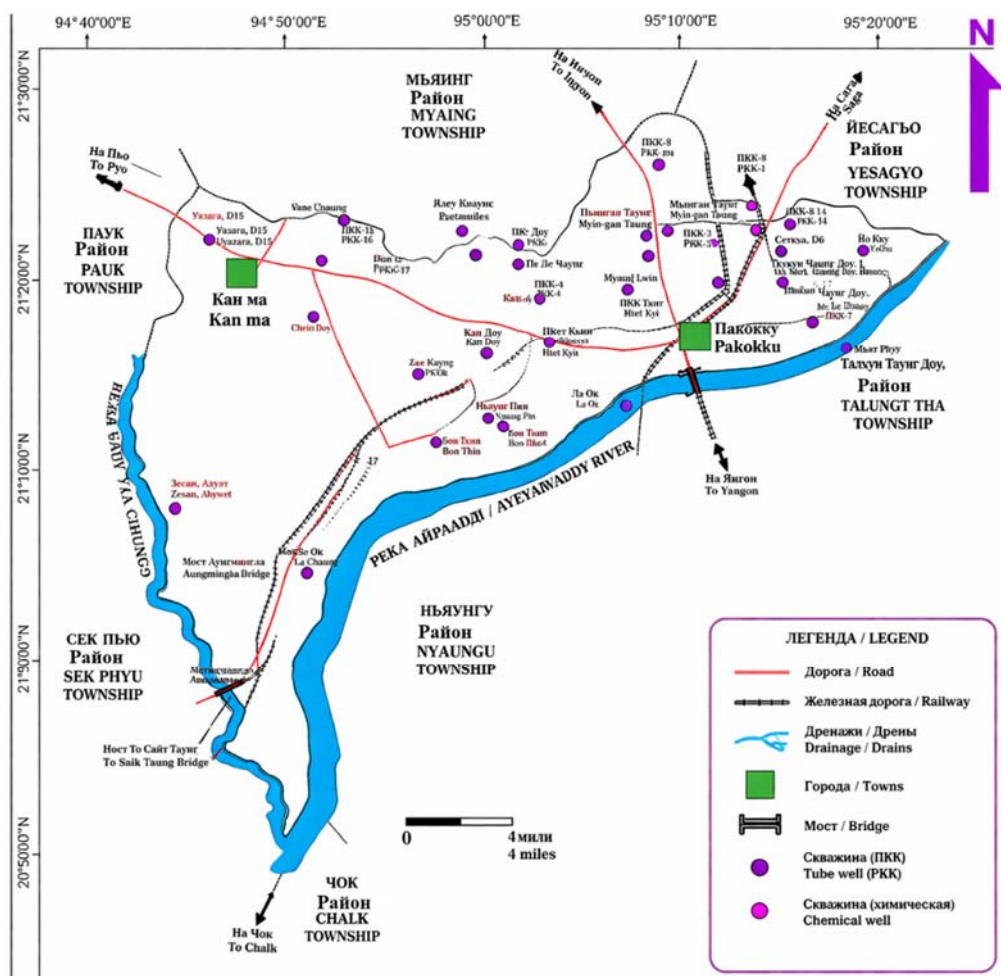


Рисунок 7. Карта расположения скважин на исследуемой территории
 Figure 7. Map of the location of wells in the study area

Вода с очень высокой соленостью «С4» не подходит для орошения в обычных условиях, но может использоваться время от времени при особых обстоятельствах. Почва должна быть водопроницаемой, дренаж должен быть достаточным, поливная вода должна подаваться в избытке, чтобы обеспечить значительное промывание, и следует

выбирать культуры, обладающие высокой солеустойчивостью.

Исходя из SAR, поливную воду можно разделить на четыре категории в зависимости от щелочного эффекта. Классификация подземных вод приведена в таблице 3.

Таблица 3. Классификация подземных вод на основе Na %
 Table 3. Classification of groundwater based on Na %

Классификация воды по содержанию натрия Classification of water by sodium content	(Na %) Процентное содержание натрия (Na %) Percentage of sodium	Категории подземных вод по содержанию натрия Categories of groundwater by sodium content
S1	<20	Отлично / Excellent
S2	20–40	Хорошо / Good
S3	40–60	Допустимый / Permissible
S4	60–80	Сомнительный / Doubtful
	>80	Неподходящий / Unsuitable

Вода с низким содержанием натрия «S1» может использоваться для орошения практически на всех почвах с небольшим риском образования вредных концентраций натрия.

Среда-натриевая вода «S2» может вызвать проблемы с подщелачиванием в почвах с тонкой структурой в условиях слабого выщелачивания. Может использоваться на почвах с грубой структурой и хорошей проницаемостью.

Вода с высоким содержанием натрия «S3» может вызвать проблемы со щелочностью. Такая вода требует особого ухода за почвой, такого как хороший дренаж, интенсивное промывание и использование химических добавок, таких как гипс.

Вода с очень высоким содержанием натрия «S4» обычно не подходит для орошения. Это может привести к проблемам со щелочностью.

Анализ данных о процентном содержании натрия (Na %) в соответствии с классификацией, приведенной в таблице 3, показал, что все исследованные подземные воды относятся к категориям "отличные" (Na % < 20) и "хорошие" (Na% = 20–40), что указывает на низкое содержание натрия и, как следствие, в результате существует минимальный риск ухудшения физических свойств почв, таких как снижение водопроницаемости и образование корки, что делает эти воды в целом благоприятными для использования в орошаемом земледелии.

Степень минерализации подземных вод можно определить по значению электропроводности (ЕС). Допустимый предел составляет 1500 мг/л. В районе проведения исследований значение ЕС колеблется от 480 мкмоль/см³ в деревне Маджикоепин до 1100 мкмоль/см³ в деревне Пантаингчоне. Значения всех образцов находятся в допустимых пределах. Распределение электропроводности и коэффициента адсорбции натрия по скважинам, представлены на рисунке 8.

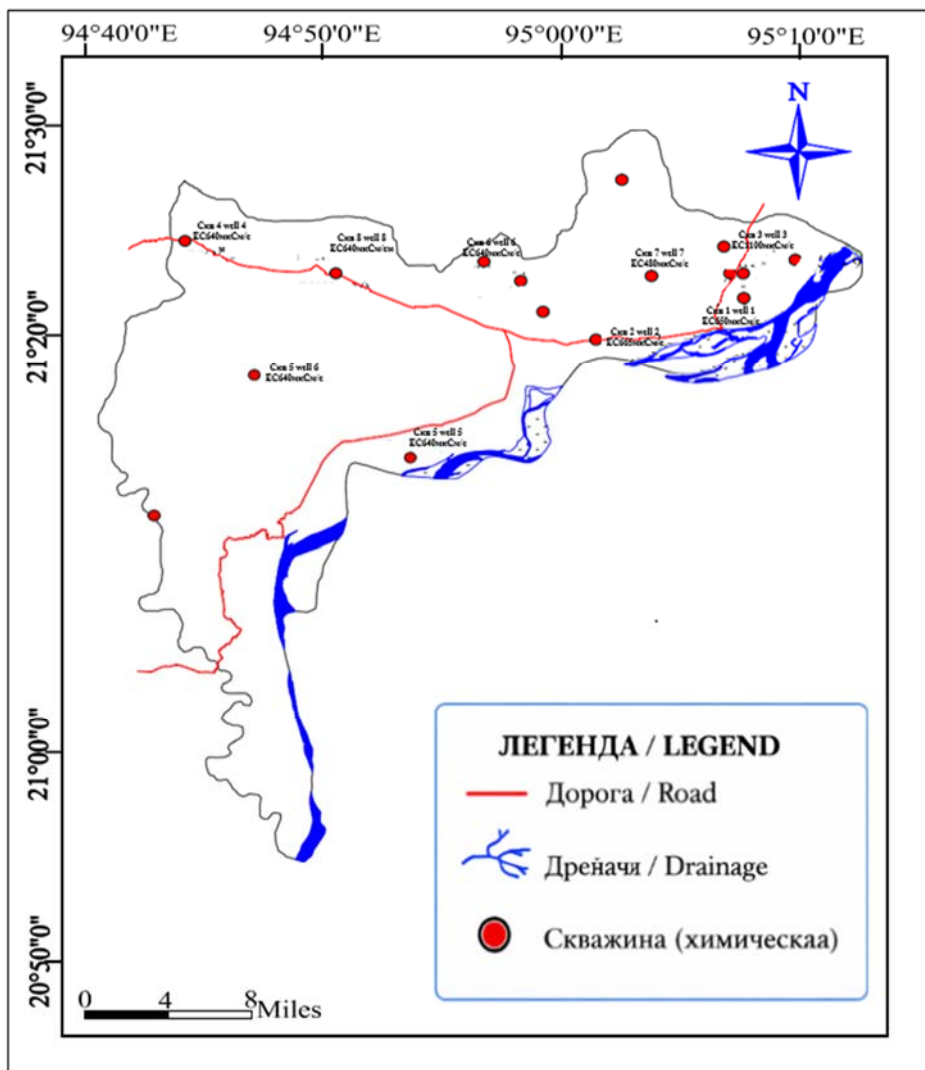


Рисунок 8. Распределение электропроводности подземных вод на исследуемой территории
Figure 8. Electrical conductivity distribution of groundwater in the study area

Значение и интерпретация оценок класса качества на диаграмме представлены следующим образом. На основе ЕС вода для орошения может быть разделена на четыре категории в зависимости от солевого эффекта. Соотношение между удельной электропроводностью и коэффициентом адсорбции натрия на исследуемой территории представлены в таблице 4.

Анализ данных, приведенных в таблице 4, показывает, что все значения коэффициента адсорбции натрия (SAR) для исследуемых скважин находятся в низком диапазоне от 0,99 до 2,04, что соответствует классу S1 (вода с низким содержанием натрия) и указывает на минимальный риск засоления почвы, что в совокупности позволяет рекомендовать эти воды для

орошения большинства сельскохозяйственных культур при условии контроля общей минерализации в районах с самыми высокими значениями ЕС.

Однако, все пробы подземных вод относятся к областям C2-S1 и C3-S1, что указывает на воду со средней и высокой соленостью, но с низким риском воздействия натрия. Это означает, что основным ограничивающим фактором при использовании этих вод для орошения является общая минерализация, а не риск засоления, и устойчивое сельское хозяйство потребует от умеренной до интенсивной промывки почвы, а также выбора солеустойчивых культур, особенно для скважин с классификацией C3, то к ним относятся скважины №№ 3, 9 и 17. (см. рис. 7)

Таблица 4 Соотношение между удельной электропроводностью и коэффициентом адсорбции натрия в исследуемой области

Table 4 Relationship between the specific electrical conductivity and the coefficient of sodium adsorption in the study area

Номер No	Номер скважины Well No	Удельная электропроводность (ЕС), мкСм/см Electrical Conductivity(ЕС) μ S/cm	Коэффициент адсорбции натрия (SAR), (ммоль/л) ^{0.5} Sodium Adsorption Ratio (SAR) (mmol/L) ^{0.5}
1	ПКК – 1/ РКК – 1	650	1,35
2	ПКК – 2/ РКК – 2	665	1,43
3	ПКК – 3/ РКК – 3	1100	0,99
4	ПКК – 4/ РКК – 4	640	1,20
5	ПКК – 5/ РКК – 5	645	1,36
6	ПКК – 6/ РКК – 6	640	1,24
7	ПКК – 7/ РКК – 7	480	2,00
8	ПКК – 8/ РКК – 8	700	2,04
9	ПКК – 9/ РКК – 9	980	1,79
10	ПКК – 10/ РКК – 10	780	1,77
11	ПКК – 11/ РКК – 11	650	1,52
12	ПКК – 12/ РКК – 12	790	1,75
13	ПКК – 13/ РКК – 13	800	1,68
14	ПКК – 14/ РКК – 14	500	1,12
15	ПКК – 15/ РКК – 15	800	2,02
16	ПКК – 16/ РКК – 16	700	1,99
17	ПКК – 17/ РКК – 17	1050	1,72

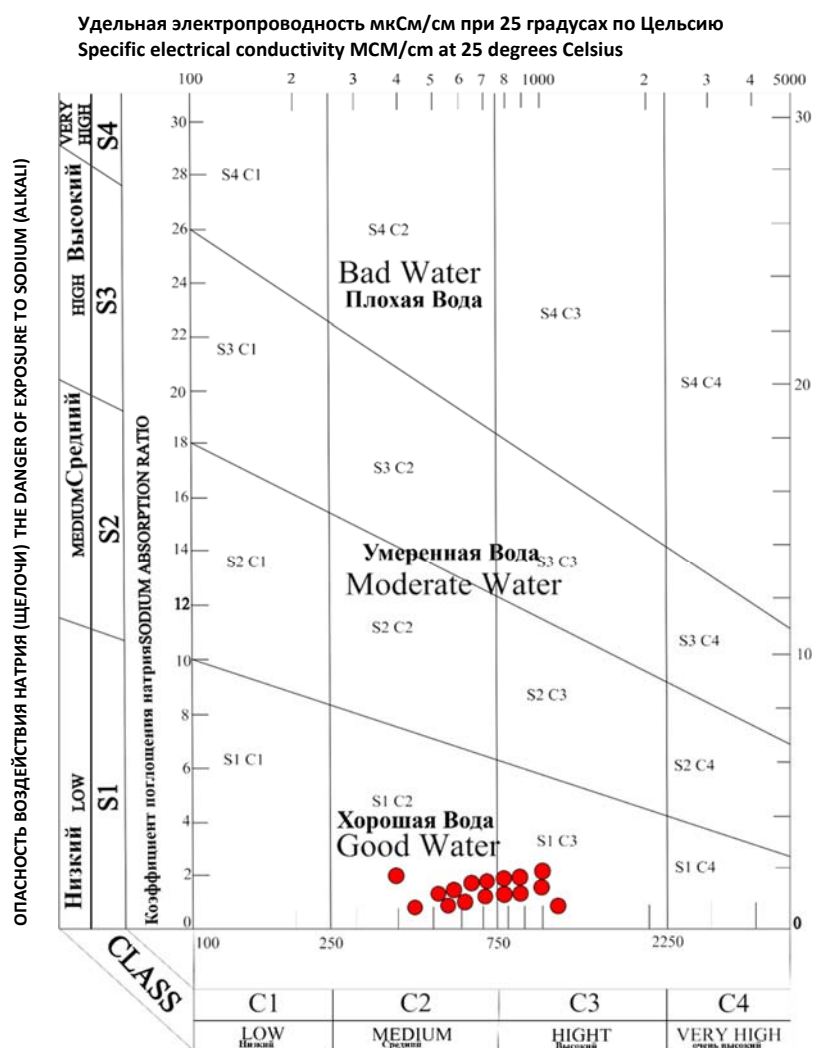


Рисунок 9. Оценка проб воды в зависимости от солёности и опасности содержания натрия в водоносном горизонте
Figure 9. Assessment of water samples depending on salinity and the danger of sodium content in the aquifer [after Richards]

Процент растворимого натрия «S.S.P»; Концентрация натрия играет важную роль в оценке качества грунтовых вод для орошения, поскольку натрий повышает твердость почвы, а также снижает ее проницаемость. Процентное содержание натрия (Na %) рассчитывается по формуле 2,

$$SSP = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$$

Для скважин № 1 процентное содержание натрия составил,

$$= \frac{(1.348 + 0.067)}{2.320 + 1.658 + 1.348 + 0.067} \times 100 = 26\%$$

Пригодность подземных вод в зависимости от содержания Na в процентах классифицируется путем сопоставления содержания Na в процентах с общей концентрацией мэкв/л на диаграмме Уилкокса [8]. Согласно диаграмме Уилкокса, большинство проб воды из водоносного горизонта оцениваются как отличные, так и хорошие, а также как допустимые (рис. 9).

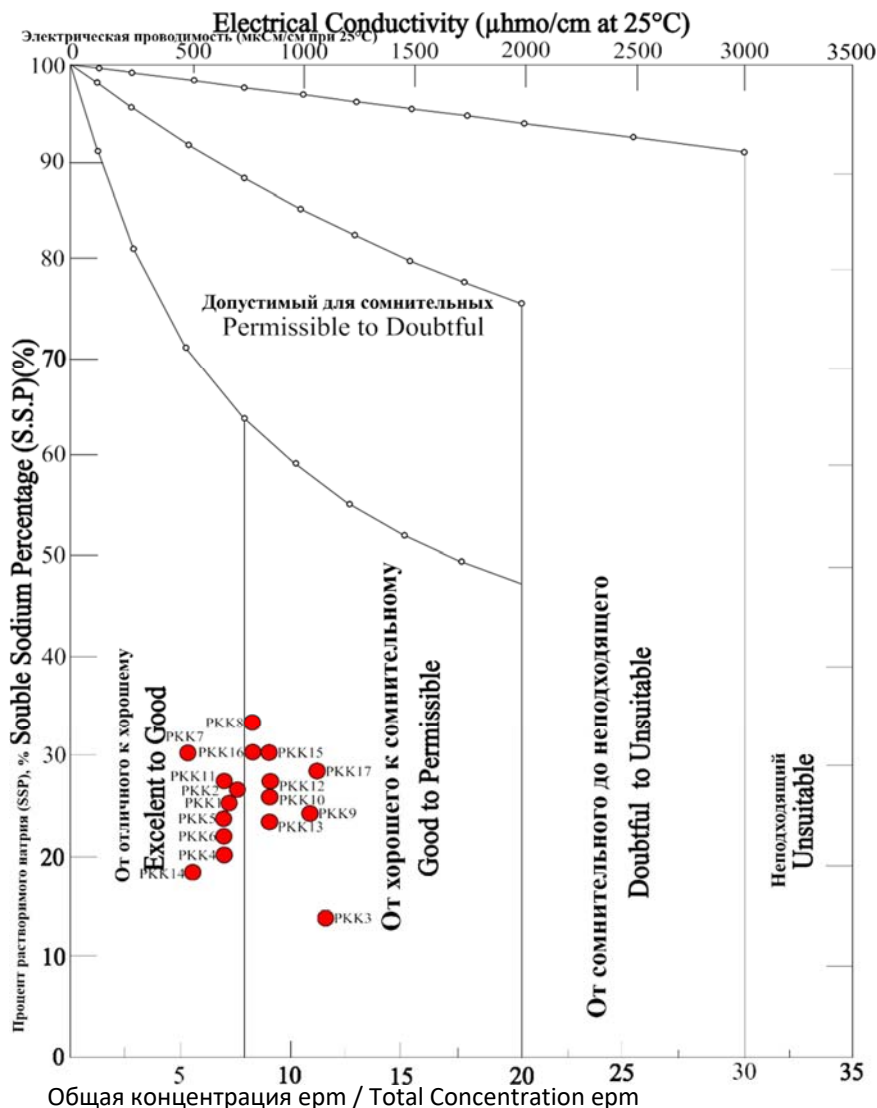


Рисунок 10. Анализ оросительной воды по электропроводности «ЕС» и процентному содержанию растворимого натрия «SSP» в водоносном горизонте «по диаграмме Уилкоксу»
Figure 10. Analysis of irrigation water by electrical conductivity "EC" and the percentage of soluble sodium "SSP" in the aquifer "according to the Wilcox diagram"

Согласно диаграмме Уилкокса (рис. 10), большинство проб подземных вод из исследуемого водоносного горизонта попадают в зоны, классифицируемые как "отличные" и "хорошие" по качеству для орошения, что указывает на благоприятное соотношение электропроводности (ЕС) и процентного содержания растворимого натрия (SSP), а также на наличие некоторых образцов в категории "приемлемые" указывается на необходимость выбора соответствующих культур и почвенных условий для их успешного использования в сельском хозяйстве.

Остаточный бикарбонат натрия «RSBC»; Концентрация бикарбоната и карбонатной кислоты влияет на пригодность воды для орошения. Таким образом, вода с высоким содержанием «RSBC» имеет высокий уровень Са; орошение земель такой водой становится неплодородным из-за отложения карбоната натрия.

Содержание остаточного карбоната натрия в пробах воды из водоносного горизонта «RSBC» составляет от -4,217 до -0,983 мэкв/л. Пробы воды из

этого водоносного горизонта безопасны для орошения и определяется по формуле 3.

$$RSBC = HCO_3^- + Ca^{2+} \text{ (мэкв/л)}$$

Для скважин № 1 содержание остаточного бикарбоната натрия составил,

$$= 1.115 - 2.320$$

$$= -1.206 \text{ мэкв/л}$$

Классификация Eaton, основанная на остаточном содержании бикарбоната натрия, приведена в таблице 5.

Таблица 5. Классификация, основанная на остаточном содержании бикарбоната натрия

Table 5. Classification based on the residual content of sodium bicarbonate

Остаточный бикарбонат натрия «мэкв/л» Residual Sodium bicarbonate (meq / L)	Классификация Classification
<1,25	Отлично / Excellent
1,25–2,5	Хорошо / Good
2,5–3	Справедливый / Fair
>3	Бедный / Poor

Согласно классификации Eaton, все пробы грунтовых вод с отрицательными значениями остаточного содержания бикарбоната натрия (RSBC) в диапазоне от -4,217 до -0,983 классифицируются как "отличные", что указывает на отсутствие риска отложения карбоната натрия в почве и подтверждает высокую пригодность этих вод для орошения без риска ухудшения физических свойств и плодородия почвы.

Коэффициент адсорбции магния «MAR»;

Содержание магния в воде считается одним из наиболее важных критериев качества воды для орошения. Как правило, кальций и магний поддерживают равновесие в большинстве водных ресурсов. Увеличение содержания магния в воде отрицательно сказывается на урожайности

сельскохозяйственных культур, поскольку почва становится более засоленной. Значение коэффициента адсорбции магния в водоносном горизонте колеблется от 1,1 % до 7,9 %. Допустимый предел коэффициента адсорбции магния составляет 50 % и рассчитывается по формуле 4. По всем скважинам все расчеты по растворимости сведены в таблице 6.

$$MAR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100\%$$

Для скважин № 1 коэффициент адсорбцию магния составляет,

$$= \frac{1.658}{2.320 + 1.658} \times 100\% = 42\%$$

Таблица 6. Классификация качества подземных вод для орошения на основе стандартов SSP, RSBC и M.A.R

Table 6. Classification of groundwater quality for irrigation based on SSP, RSBC and M.A.R standards

Номер скважины Well No	Остаточный бикарбонат натрия «R.S.B.C», мэкв/л		Коэффициент адсорбции магния «M.A.R», %		Примечания (*) не подходят Remarks (*) not suitable		
	Процент Растворимого натрия «S.S.P», % Soluble Sodium Percentage (S.S.P), %		Residual Sodium Bicarbonate (R.S.B.C), mEq/L			Magnesium Adsorption Ratio (M.A.R), %	
	Допустимая единица измерения / Allowable unit						
	Мини Min	Макси Max	Мини Min	Макси Max	Мини Min	Макси Max	
	<20	80	<1,25	2,5	7,97	50	
ПКК – 1/ РКК – 1	26%		-1,206		42%	Подходит Suitable	
ПКК – 2/ РКК – 2	27%		-1,453		39%	Подходит Suitable	
ПКК – 3/ РКК – 3	15%		-1,059		*65%	Не подходит Not Suitable	
ПКК – 4/ РКК – 4	21%		-1,944		39%	Подходит Suitable	
ПКК – 5/ РКК – 5	25%		-1,000		44%	Подходит Suitable	
ПКК – 6/ РКК – 6	24%		-0,983		47%	Подходит Suitable	
ПКК – 7/ РКК – 7	31%		-0,478		34%	Подходит Suitable	
ПКК – 8/ РКК – 8	35%		-1,689		25%	Подходит Suitable	
ПКК – 9/ РКК – 9	26%		-3,115		41%	Подходит Suitable	
ПКК – 10/ РКК – 10	27%		-2,904		29%	Подходит Suitable	
ПКК – 11/ РКК – 11	27%		-1,089		49%	Подходит Suitable	

ПКК – 12/ РКК – 12	27%	-3,168	15%	Подходит Suitable
ПКК – 13/ РКК – 13	25%	-3,168	28%	Подходит Suitable
ПКК – 14/ РКК – 14	20%	-2,883	30%	Подходит Suitable
ПКК – 15/ РКК – 15	32%	-2,486	31%	Подходит Suitable
ПКК – 16/ РКК – 16	28%	-4,217	27%	Подходит Suitable
ПКК – 17/ РКК – 17	31%	-1,660	27%	Подходит Suitable

Согласно всесторонней оценке трех ключевых параметров, представленных в таблице 5, подавляющее большинство проб грунтовых вод (16 из 17) пригодны для орошения, поскольку процентное содержание растворимого натрия (SSP) и остаточного бикарбоната натрия (RSBC) находятся в допустимых или превосходных пределах, и единственная неподходящая проба (РПК-3) дисквалифицирован. из-за превышения допустимого предела коэффициента адсорбции магния (MAR), который составляет 65 % при норме до 50 %, что указывает на потенциальный риск засоления почвы для данной конкретной скважины.

Донин Индекс проницаемости «PI»; Высокое содержание натрия в оросительной воде может привести к серьезным проблемам с проницаемостью почвы. На проницаемость почвы влияет длительное использование оросительной воды, например, на рисовых полях. На это влияет содержание натрия, кальция, магния и бикарбоната в почве. Донин разработал критерии оценки пригодности воды для орошения на основе индекса проницаемости «PI», рассчитываемого по формуле 5

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100\%$$

Для скважин № 1 на основе индекса проницаемости «PI» составляет,

$$= \frac{1.348 + \sqrt{1.115}}{2.320 + 1.658 + 1.348} \times 100\% = 45\%$$

Согласно диаграмме Донины, пробы воды можно разделить на I, II и III классы по порядку. Пробы воды, относящиеся к I и II классам, классифицируются как пригодные для орошения, а вода III класса непригодна. Значения индекса проницаемости водоносного горизонта варьируются от 27,2 % до 84,2 %. Классификация подземных вод для орошения на основе PI [12] показана на рисунке 11.

Согласно классификации Донины, показанной на рисунке 10, большинство образцов подземных вод относятся к классам I и II, что свидетельствует об их хорошей и удовлетворительной пригодности для орошения с точки зрения индекса проницаемости и не создает риска ухудшения физических свойств почвы.

Потенциальная солёность «PS»; Нерастворимая соль выпадает в осадок и накапливается в тех местах почвы, где концентрация соли значительно повышена. Потенциальная минерализация водоносного горизонта

колеблется от 2,78 мэкв/л до 19,466 мэкв/л. Если солёность воды ниже 1,5 мэкв/л, её качество считается отличным для орошения. Однако если показатель превышает 5 мэкв/л, такая вода непригодна для ирригации. Потенциальная солёность «PS» рассчитывался по формуле 6,

$$PS = CL + \frac{1}{2} \times SO_4$$

Для скважин № 1 потенциальная солёность составляет,

$$= 2.538 + \frac{1}{2} \times 1.259 = 3.168 \text{ мэкв/л}$$

Коэффициент Келли «KR»; На основе коэффициента Келли [13] грунтовые воды классифицировались для целей орошения. Коэффициент Келли больше 1 указывал на избыточное содержание натрия в воде, поэтому вода с коэффициентом Келли меньше 1 считалась пригодной для орошения. В данном исследовании значения KR находились в пределах допустимого предела (1,0) и были признаны подходящими для орошения. Значения коэффициента Келли в водоносном горизонте варьировались от 1,356 мг-экв/л до 6,537 мг-экв/л. Коэффициент Келли рассчитывался по формуле (7). Данные расчеты сведены в таблице 7.

$$KR = \frac{Na}{Ca + Mg}$$

Для скважин № 1 Коэффициент Келли составляет,

$$= \frac{1.348}{2.320 + 1.658} = 0.34 \text{ мэкв/л}$$

Анализ данных, приведенных в таблице 6, показывает, что три образца (РПК-3, РПК-9, РПК-17) непригодны для орошения из-за превышения допустимого порога потенциальной минерализации (PS > 5 мэкв/л), в то время как все остальные скважины соответствуют критериям, а значения коэффициента Келли коэффициент (KR) для всех образцов находится в пределах допустимого диапазона (<1), что указывает на низкий риск засоления.

Комплексный анализ подземных вод по ключевым параметрам, их качество для орошения представлен в таблице 8.

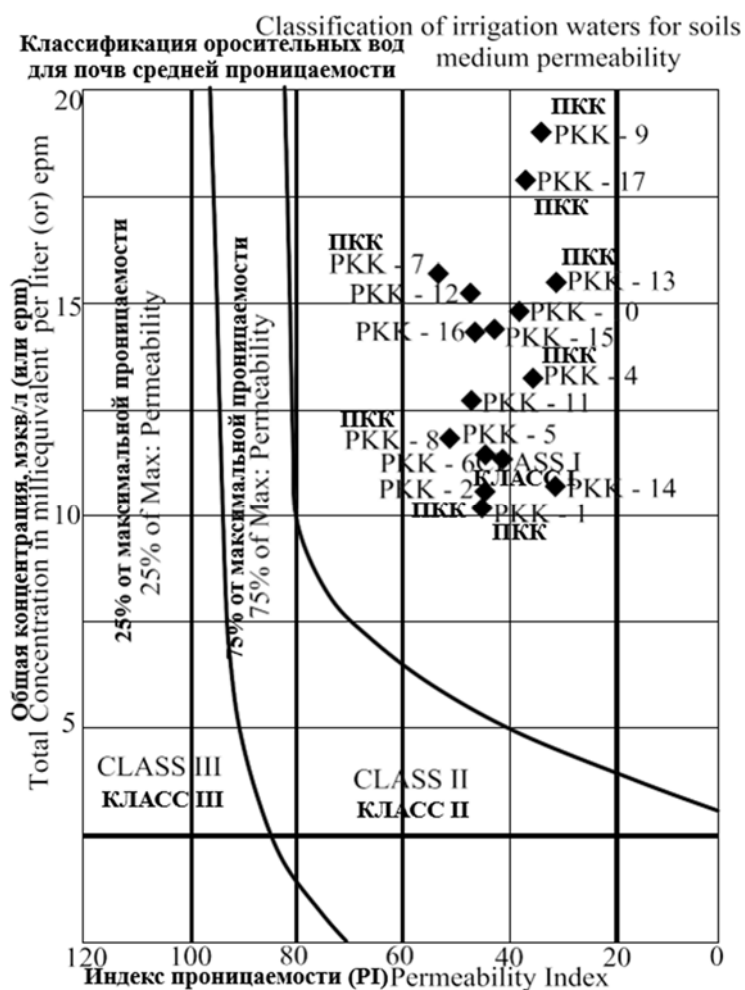


Рисунок 11. Интерпретация результатов анализа оросительной воды по индексу проницаемости «PI» и общей концентрации подземных вод на исследуемой территории

Figure 11. Interpretation of the results of the analysis of irrigation water according to the permeability index "PI" and the total concentration of groundwater in the study area

Таблица 7. Значения потенциальной солёности (PS) и коэффициента Келли (KR) в исследуемом районе

Номер скважины Well No	Потенциальная солёность (PS), мэкв/л Potential Salinity (PS), meq/L		Коэффициент Келли (KR) Kelly's Ratio (KR)		Примечания (*) не подходят Remarks (*) not suitable
	Допустимые единицы измерения / Allowable unit				
	Мини Min	Макси Max	Мини Min	Макси Max	
	0.01	5	0.00	1	
ПКК – 1/ ПКК – 1	3,168		0,34		Подходит/Suitable
ПКК – 2/ ПКК – 2	2,872		0,34		Подходит/Suitable
ПКК – 3/ ПКК – 3	*5,100		0,16		Не подходит/Not Suitable
ПКК – 4/ ПКК – 4	3,840		0,26		Подходит/Suitable
ПКК – 5/ ПКК – 5	3,485		0,32		Подходит/Suitable
ПКК – 6/ ПКК – 6	3,289		0,30		Подходит/Suitable
ПКК – 7/ ПКК – 7	3,590		0,43		Подходит/Suitable
ПКК – 8/ ПКК – 8	3,223		0,51		Подходит/Suitable
ПКК – 9/ ПКК – 9	*6,076		0,33		Не подходит/Not Suitable
ПКК – 10/ ПКК – 10	3,967		0,36		Подходит/Suitable
ПКК – 11/ ПКК – 11	3,958		0,35		Подходит/Suitable
ПКК – 12/ ПКК – 12	4,091		0,35		Подходит/Suitable
ПКК – 13/ ПКК – 13	3,624		0,31		Подходит/Suitable
ПКК – 14/ ПКК – 14	2,787		0,24		Подходит/Suitable
ПКК – 15/ ПКК – 15	4,721		0,44		Подходит/Suitable
ПКК – 16/ ПКК – 16	4,077		0,37		Подходит/Suitable
ПКК – 17/ ПКК – 17	*5,531		0,43		Не подходит/Not Suitable

Таблица 8. Сводная таблица по пригодности воды для орошения
Table 8. Summary table of the suitability of water for irrigation

Номер скважины Well No	«ЕС», мксм/см EC, µS/cm	«SAR», (ммоль/л) ^{0,5} SAR, (mmol/L) ^{0,5}	«S,S,P», % S,S,P, %		«R,S,B,C», мэкв/л RSBC, meq/L		«M,A,R», % M,A,R, %		«PS», мэкв/л PS, meq/l		«KR» KR		Примечания (*) не подходят Remarks (*) not suitable
			Допустимая единица измерения Allowable unit										
			Мини Mini	Макс Maxi	Мини Mini	Макс Maxi	Мини Mini	Макс Maxi	Мини Mini	Макс Maxi	Мини Mini	Макс Maxi	
			<20	80	<1,25	2,5	7,97	50	0,01	5	0,00	1	
ПКК – 1/ РКК – 1	650	1,35	26%		-1,206		42%		3,168		0,34		Подходит Suitable
ПКК - 2/ РКК – 2	665	1,43	27%		-1,453		39%		2,872		0,34		Подходит Suitable
ПКК – 3/ РКК – 3	1100	0,99	15%		-1,059		* 65%		*5,100		0,16		Не подходит Not Suitable
ПКК – 4/ РКК – 4	640	1,20	21%		-1,944		39%		3,840		0,26		Подходит Suitable
ПКК – 5/ РКК – 5	645	1,36	25%		-1,000		44%		3,485		0,32		Подходит Suitable
ПКК - 6/ РКК – 6	640	1,24	24%		-0,983		47%		3,289		0,30		Подходит Suitable
ПКК – 7/ РКК – 7	480	2,00	31%		-0,478		34%		3,590		0,43		Подходит Suitable
ПКК - 8/ РКК – 8	700	2,04	35%		-1,689		25%		3,223		0,51		Подходит Suitable
ПКК – 9/ РКК – 9	980	1,79	26%		-3,115		41%		* 6,076		0,33		Не подходит Not Suitable
ПКК – 10/ РКК -10	780	1,77	27%		-2,904		29%		3,967		0,36		Подходит Suitable
ПКК – 11/ РКК – 11	650	1,52	27%		-1,089		49%		3,958		0,35		Подходит Suitable
ПКК – 12/ РКК – 12	790	1,75	27%		-3,168		15%		4,091		0,35		Подходит Suitable
ПКК - 13/ РКК – 13	800	1,68	25%		-3,168		28%		3,624		0,31		Подходит Suitable
ПКК - 14/ РКК – 14	500	1,12	20%		-2,883		30%		2,787		0,24		Подходит Suitable
ПКК - 15/ РКК – 15	800	2,02	32%		-2,486		31%		4,721		0,44		Подходит Suitable
ПКК - 16/ РКК – 16	700	1,99	28%		-4,217		27%		4,077		0,37		Подходит Suitable
ПКК - 17/ РКК – 17	1050	1,72	31%		-1,660		27%		* 5,531		0,43		Не подходит Not Suitable

На основании комплексного анализа семи ключевых параметров качества воды для орошения, представленных в таблице 8, можно сделать вывод, что большинство проб (14 из 17) являются пригодными для использования в сельском хозяйстве, так как их показатели соответствуют установленным допустимым пределам, в то время как три скважины (ПКК-3, ПКК-9, ПКК-17) признаны непригодными из-за превышения нормативов по коэффициенту адсорбции магния (MAR) и потенциалу засоления (PS), что указывает на риск засоления почв при их использовании для орошения.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учитывая геологию, литологию и морфологию исследуемой территории, можно выделить два типа водоносных горизонтов: подземные воды, содержащиеся в аллювиальных отложениях, и подземные воды в пределах формации Иравади [3].

Аллювиальные отложения располагаются в западной части исследуемой территории. Аллювиальный водоносный горизонт представлен преимущественно желтым мелким песком, желтым крупнозернистым песком, а также желтым крупнозернистым песком с включениями гравия. По данным каротажа скважин, уровень грунтовых вод находится на глубине 4–6 метров от поверхности, изменяясь в зависимости от конкретного участка. Мощность водоносного слоя в пределах аллювиальных отложений составляет от 4 до 6 метров. Глубина залегания водоносного горизонта варьируется от 12 до 36 метров. Дебит воды из трубчатого колодца диаметром 3,81 см достигает 3,22 м³/ч.

Песчинки отличаются хорошей сортировкой и округлой формой. Основу породы составляют голубая глина, голубой глинистый песок, жёлтая глина, голубой глинистый песок с включениями гравия, а также голубой крупнозернистый песок. Согласно результатам

каротажа скважин, уровень грунтовых вод находится на глубине от 8 до 69 метров от поверхности, изменяясь в зависимости от условий залегания. Мощность водоносного горизонта, связанного с формацией Иравади, составляет от 6 до 15 метров, при глубине его залегания от 34 до 106 метров. Дебит воды из скважины диаметром 10 см достигает 15.14 м³/ч. Подземные воды этой формации пригодны как для питьевого водоснабжения, так и для нужд сельского хозяйства.

Рассмотрение классификации вод с использованием диаграмм Пайпера (рисунки 3 и 4) необходимо для визуального определения преобладающих гидрохимических типов подземных вод и процессов, формирующих их состав, что позволяет идентифицировать основные ионы (как в случае с доминирующими типами Ca²⁺-Mg²⁺-Cl⁻ и Ca²⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻), для оценки воздействия водоносных пород и выявления смешивания вод из разных источников, обеспечивая тем самым надежную основу для оценки их происхождения, качества и потенциальной пригодности для хозяйственного использования.

Исследование проводилось в городе Пакокке. Общая площадь, охваченная исследованием, составляет приблизительно 482,177 км².

Испытание на откачку было проведено в трубчатой скважине диаметром 20,5 см в Иравадийском водоносном горизонте в течение 4 часов в Университете Пакокке, городок Пакокке. Испытание на откачку показало, что пропускная способность водоносного горизонта составляет 514 м³/сут.

Значения общего содержания растворённых веществ «TDS» в водоносном горизонте варьируются от 310 до 715 ppm. Электропроводность «EC» колеблется в пределах от 480 до 1100 мкмоль/см. Согласно классификации Горрелла «1958», основанной на общем содержании растворённых веществ «TDS», вся вода в районе исследования относится к категории пресной. Преобладающие типы воды по методу Пайпера — это вода типа Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-Cl-SO₄ и Ca-Mg-SO₄.

Доминирующий тип воды по методу Чадха характеризуется тем, что щелочноземельные металлы «Ca²⁺ и Mg²⁺» преобладают над щелочными металлами «Na⁺ и K⁺», а сильнокислотные анионы «Cl⁻ и SO₄²⁻» преобладают над слабокислотными анионами «HCO₃⁻ и CO₃²⁻». Такая вода обладает постоянной жёсткостью и не образует остаточного натриевого карбоната при использовании в орошении. Положение точек на предлагаемой диаграмме указывает на типы воды Ca²⁺-Mg²⁺-Cl⁻, доминирующий по Ca²⁺-Mg²⁺ с преобладанием Cl⁻, или Cl⁻-доминирующий тип Ca²⁺-Mg²⁺.

В исследуемом районе почти вся вода относится к категории воды с низким содержанием натрия и высокой опасностью засоления. Некоторые трубчатые колодцы относятся к воде с низким содержанием натрия и средней опасностью засоления.

Были проведены дополнительные расчёты, такие как процент растворённого натрия «SSP», коэффициент адсорбции магния «MAR», потенциальная солёность «PS», остаточный натрий бикарбонат «RSBC», коэффициент Келли «KR» и индекс проницаемости «PI». Согласно диаграмме Уилкокса, сравнивающей электропроводность «EC» и «SSP», почти вся вода

относится к типам качества от «превосходного до хорошего» и от «хорошего до допустимого». По результатам расчёта индекса проницаемости «PI», большинство подземных вод в районе исследования попадает в класс I, что указывает на их пригодность для использования в целях орошения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование представляет собой комплексную гидрогеологическую и гидрохимическую оценку подземных вод в районе Пакокке (Центральная Мьянма) с акцентом на их пригодность для орошения. Полученные результаты показывают, что подземные воды преимущественно относятся к типу Ca-Mg-Cl-SO₄, с незначительным распространением фаций Ca-Mg-HCO₃, что отражает влияние процессов выветривания карбонатных и силикатных пород, а также взаимодействия «вода-порода» в пределах аллювиальных водоносных горизонтов и отложений формации Иравади.

Гидрохимический анализ показал, что подземные воды в целом являются пресными или слабоминерализованными, при этом значения удельной электрической проводимости (EC) варьируются от 480 до 1100 мкСм/см. Низкая натриевая опасность подтверждается значениями коэффициента адсорбции натрия (SAR) (0,99–2,04) и показателем SSP (<40 %), тогда как по классификациям Ричардса и Уилкокса большинство проб относится к категориям C2-S1 и C3-S1, что указывает на умеренную минерализацию при низком риске натриевого засоления.

Согласно комплексной оценке с использованием индексов SAR, SSP, RSBC, MAR, PS, KR и PI, около 82 % проб (14 из 17) признаны пригодными для орошения. Однако три пробы (PKK-3, PKK-9 и PKK-17) классифицированы как непригодные вследствие повышенной минерализации и магниевой опасности.

В целом подземные воды исследуемого района характеризуются стабильным химическим составом и представляют собой ценный ресурс для устойчивого развития сельского хозяйства. Тем не менее, для обеспечения долгосрочной продуктивности почв и устойчивости водных ресурсов рекомендуется внедрение эффективных мер управления засолением, обеспечение надлежащего дренажа, а также использование сельскохозяйственных культур, устойчивых к повышенной минерализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Zaw T., Than M.M. Climate change and groundwater resources in Myanmar // *Journal of Groundwater Science and Engineering*. 2017. V. 5(1). P. 59–66. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2017.9280006>
- Chhibber H.L. *The geology of Burma*. London: MacMillan, 1934.
- Cotter G. De P. The geology of parts of the Minbu, Myingyan, Pakokku and lower Chindwin districts // *Memoirs of the Geological Survey of India*. 1938. V. 72(1). 136 p.
- FAO. *Groundwater Management in Myanmar: Challenges and Opportunities*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2020.

5. Assessment of Water Resources and Water Demand by User Sectors in Myanmar. New York: United Nations. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1995. V. 75. 54 p.
6. Win K.T., Aung T.T. Sustainable Water Management Practices in Myanmar: A Review // *Journal of Water Resource Management*. 2020. V. 34(8). P. 2221–2235.
7. WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2011.
8. Ravenscroft P., Brammer H., Richards K. *Arsenic Pollution: A Global Synthesis*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2009. <https://doi.org/10.1002/9781444308785>
9. Smedley P.L., Kinniburgh D.G. A review of the source, behavior, and distribution of arsenic in natural waters // *Applied Geochemistry*. 2002. V. 17(5). P. 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
10. Doneen L.D. *Notes on Water Quality in Agriculture*. Water Science and Engineering Paper 4001. Davis: Department of Water Sciences and Engineering, University of California, 1964.
11. Kelley W.P. Use of Saline Irrigation Water // *Soil Science*. 1963. V. 95. P. 385–391. <https://doi.org/10.1097/00010694-196306000-00003>
12. Pincetti-Zúniga G.P., et al. Major and trace (including arsenic) groundwater chemistry in central and southern Myanmar // *Applied Geochemistry*. 2020. V. 115. Article id: 104535. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104535>
13. Pavelic P., et al. *Integrated Assessment of Groundwater Use for Improving Livelihoods in the Dry Zone of Myanmar*. IWMI Research Report 164. Colombo: International Water Management Institute, 2015. 53 p.

REFERENCES

1. Zaw T., Than M.M. Climate change and groundwater resources in Myanmar. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 2017, vol. 5(1), pp. 59–66. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2017.9280006>
2. Chhibber H.L. *The geology of Burma*. London, MacMillan, 1934.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Людмила В. Боронина, Мин О. Со, Константин В. Белов и Валерий Р. Волошин внесли вклад в разработку концепции статьи, методики и результатов исследования, подготовили текст статьи, окончательно утвердили публикуемую версию статьи. Нухкади И. Рабазанов и Аркадий Ф. Сокольский участвовали в подготовке текста статьи, окончательно утвердили публикуемую версию статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

3. Cotter G. De P. The geology of parts of the Minbu, Myingyan, Pakokku and lower Chindwin districts. *Memoirs of the Geological Survey of India*. 1938, vol. 72(1), 136 p.
4. FAO. *Groundwater Management in Myanmar: Challenges and Opportunities*. Rome, Food and Agriculture Organization, 2020.
5. Assessment of Water Resources and Water Demand by User Sectors in Myanmar. New York: United Nations. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1995, vol. 75, 54 p.
6. Win K.T., Aung T.T. Sustainable Water Management Practices in Myanmar: A Review. *Journal of Water Resource Management*. 2020, vol. 34(8), pp. 2221–2235.
7. WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva, World Health Organization, 2011.
8. Ravenscroft P., Brammer H., Richards K. *Arsenic Pollution: A Global Synthesis*. Chichester, Wiley-Blackwell, 2009. <https://doi.org/10.1002/9781444308785>
9. Smedley P.L., Kinniburgh D.G. A review of the source, behavior, and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 2002, vol. 17(5), pp. 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
10. Doneen L.D. *Notes on Water Quality in Agriculture*. Water Science and Engineering Paper 4001. Davis: Department of Water Sciences and Engineering, University of California, 1964.
11. Kelley W.P. Use of Saline Irrigation Water. *Soil Science*, 1963, vol. 95, pp. 385–391. <https://doi.org/10.1097/00010694-196306000-00003>
12. Pincetti-Zúniga G.P., et al. Major and trace (including arsenic) groundwater chemistry in central and southern Myanmar. *Applied Geochemistry*, 2020, vol. 115, article id: 104535. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104535>
13. Pavelic P., et al. *Integrated Assessment of Groundwater Use for Improving Livelihoods in the Dry Zone of Myanmar*. IWMI Research Report 164. Colombo, International Water Management Institute, 2015, 53 p.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Liudmila V. Boronina, Min O. Soe, Valery R. Voloshin and Konstantin V. Belov contributed to the development of the article's concept, methodology, and research results, prepared the text of the article and finally approved the published version of the article. Nukhkadi I. Rabazanov and Arkady F. Sokolsky participated in the preparation of the article's text and finally approved the published version of the article. All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Мин О. Со / Min O. Soe <https://orcid.org/0009-0000-6252-9880>
 Людмила В. Боронина / Liudmila V. Boronina <https://orcid.org/0000-0002-2442-9050>
 Константин В. Белов / Konstantin V. Belov <https://orcid.org/0009-0009-5105-4627>
 Нухкади И. Рабазанов / Nukhadi I. Rabazanov <https://orcid.org/0009-0001-7664-3852>
 Аркадий Ф. Сокольский / Arkady F. Sokolsky <https://orcid.org/0009-0001-7664-6308>
 Валерий Р. Волошин / Valery R. Voloshin <https://orcid.org/0009-0003-1971-3852>

Оригинальная статья / Original article
УДК: 619.935.1+616.993.192.1:618.17-085
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-13



Эколого-эпидемиологические и клинические особенности токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного возраста с иммунодефицитными состояниями

Тамара В. Царуева, Салидат М. Омарова, Альбина Н. Джалилова, Динара Н. Джалилова, Сурая Ш. Какваева, Салидат М. Мамаева, Патимат С. Саидова, Малика Н. Мехтиева, Эмилия Ш. Абдурахманова

Дагестанский государственный медицинский университет Минздрава России, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Альбина Н. Джалилова, кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии. ВГБОУ ВО Дагестанский государственный медицинский университет; 367000 Россия, г. Махачкала, Ленина, 1. Тел. +79286754517
Email albina.nur102@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>

Формат цитирования

Царуева Т.В., Омарова С.М., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н., Какваева С.Ш., Мамаева С.М., Саидова П.С., Мехтиева М.Н., Абдурахманова Э.Ш. Эколого-эпидемиологические и клинические особенности токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного возраста с иммунодефицитными состояниями // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 155-160. DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-13

Получена 18 августа 2025 г.

Прошла рецензирование 4 ноября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Целью является изучение эколого-эпидемиологических и клинических особенностей токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного возраста с акушерской патологией.

Обследовано на токсоплазмоз 112 женщин репродуктивного возраста (средний возраст 34,5±2,7 года), которые находились на стационарном лечении в отделении гинекологии родильного дома № 2, Махачкала, МЗ РД. Токсоплазмоз диагностирован по результатам лабораторного и клинико-эпидемиологического исследования.

У обследованных женщин акушерский анамнез отягощен (выкидыши, мертворождение, пороки развития плода). Помимо акушерской патологии у обследованных женщин выявлена и гинекологическая патология (цистит, эндометрит, сальпингоофорит, эрозия шейки матки). Клиническая симптоматика была полиморфной – лимфаденопатия (8 чел.), субфебрильная температура (7 чел.), миалгия и артралгия (9 чел.), увеит (3 чел.). Женщинам с токсоплазменной инвазией проводили комплексную антибактериальную терапию с включением в схему лечения иммуномодулятора полиоксидоний (вагинальные свечи 12 мг) и антиоксидантного комплекса «Селцинк-плюс». Клинико-микробиологическая эффективность комплексной антибактериальной терапии составила 78,6 %.

Проведенная терапия способствовала регрессу клинических симптомов заболевания, снижению показателей лабораторного исследования, улучшению качества жизни женщин.

Ключевые слова

Женщины, репродуктивный возраст, токсоплазмоз, отягощенный акушерский анамнез, диагностика, терапия.

Ecological, epidemiological and clinical features of toxoplasma invasion in women of reproductive age with immunodeficiency conditions

Tamara V. Tsarueva, Salidat M. Omarova, Albina N. Dzhililova, Dinara N. Dzhililova, Suraya Sh. Kakvaeva, Salidat M. Mamaeva, Patimat S. Saidova, Malika N. Mekhtieva and Emilia Sh. Abdurakhmanova

Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Principal contact

Albina N. Dzhililova, Ph.D. Medical Sciences, Associate Professor, Department of Obstetrics and Gynecology, Dagestan State Medical University; 1 Lenina St, Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79286754517 Email albina.nur102@mail.ru ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>

How to cite this article

Tsarueva T.V., Omarova S.M., Dzhililova A.N., Dzhililova D.N., Kakvaeva S.Sh., Mamaeva S.M., Saidova P.S., Mekhtieva M.N., Abdurakhmanova E.Sh. Ecological, epidemiological and clinical features of toxoplasma invasion in women of reproductive age with immunodeficiency conditions. *South of Russia: ecology, development*. 2026; 21(1):155-160. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-13

Received 18 August 2025

Revised 4 November 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The aim was to study the ecological, epidemiological and clinical features of toxoplasma invasion in women of reproductive age with obstetric pathology.

112 women of reproductive age (average age 34.5+2.7 years) who were undergoing inpatient treatment at the gynecology department of maternity hospital No 2 of the Ministry of Health of the Republic of Dagestan were examined for toxoplasmosis. Toxoplasmosis was diagnosed based on the results of laboratory, clinical, and epidemiological studies.

The examined women had a complicated obstetric history (miscarriages, stillbirths, fetal malformations). In addition to obstetric pathology, these women also had gynecological pathology (cystitis, endometritis, salpingoophoritis, cervical erosion). The clinical symptoms were polymorphic – lymphadenopathy (8 people), sub-febrile fever (7 people), myalgia and arthralgia (9 people), uveitis (3 people). Women with toxoplasma invasion underwent complex antibacterial therapy with the inclusion of the polyoxidonium immunomodulator (12 mg vaginal suppositories) and the “Selzink-plus” antioxidant complex in the treatment regimen. The clinical and microbiological effectiveness of complex antibacterial therapy was 78.6 %.

The therapy conducted contributed to the regression of clinical symptoms of the disease, a decrease in laboratory parameters and an improvement in the quality of life of the women.

Key Words

Women, reproductive age, toxoplasmosis, burdened obstetric history, diagnosis, therapy.

ВВЕДЕНИЕ

Среди внутриутробных инфекций, вызывающих акушерскую патологию, существенная роль принадлежит токсоплазменной инвазии. Возбудителем заболевания является внутриклеточный паразит *Toxoplasma gondii*. Дикие и домашние млекопитающие являются источником заболевания. Половой цикл размножения токсоплазм происходит в кишечнике кошек (выделяют в окружающую среду ооцисты токсоплазм).

Актуальной проблемой здравоохранения является высокая инвазивность и заболеваемость населения токсоплазмозом, полиморфизм клинических проявлений и большое разнообразие течения заболевания [1; 2].

Проблема распространенности и заболеваемости населения глобально обострилась в связи с неблагоприятной социальной обстановкой, интенсивностью миграционных процессов, социальной неустойчивостью миграции, появления большого количества бездомных собак и кошек. Часто заболевание принимает хроническое латентное течение, способностью к реактивации [3].

Следует отметить, что широкая распространенность токсоплазменной инвазии глобально высока. В странах Африки, Латинской Америки и Южной Америки инвазированность населения токсоплазмами составляет до 90 %. На уровень заражения населения влияют следующие факторы: санитарно-гигиенические условия, особенности питания (употребление в пищу термически слабо обработанных пищевых продуктов – мяса, молока, сушеного мяса, колбасы), экология местности, иммунодефицитные состояния.

Инфицированность токсоплазмами жителей сельской местности выше, чем городского населения, что определяется спецификой рода деятельности (наличие в хозяйстве огородов, животных) [4].

Заболеваемость токсоплазмозом представляет собой потенциальный риск для плода и новорожденного (при кормлении грудью возникает опасность инфицирования новорожденного) и токсоплазмоз включен в диагностику TORCH-комплекса (токсоплазмоз, краснуха, цитомегало-герпесвирусы) [5; 6].

В среднем мировом масштабе инвазированность женщины *Toxoplasma gondii* находится в пределах около 40 %. Эти показатели обусловлены количеством обследованных лиц, принимаемых методов исследования и тестирования – если уровень инфицирования токсоплазмами женщин на Мадагаскаре составляют 85 %, то в Израиле – 22 %.

Для развивающегося плода источником инфекции является только беременная с токсоплазменной инвазией. По срокам беременности растут показатели инфицирования плода, но токсоплазмоза у плода и перинатальная выше в I триместре беременности. Токсоплазмоз передается внутриутробно, начиная с 3-го месяца беременности [7].

Из-за связи заболевания с иммунодефицитными состояниями, токсоплазмоз является СПИД-ассоциированной инфекцией. Токсоплазмоз и ВИЧ-инфекция (вирус иммунодефицита человека) не имеют патогномических черт, но имеют множество схожих клинических форм – токсоплазмозу присущ многоликий портрет [8; 9]. Скрининг ВУИ (внутриутробные

инфекции) имеет важное значение для прогнозирования передачи инфекции плоду.

Учитывая вышеизложенное, нами поставлена цель изучить наличие токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного возраста с акушерской патологией.

Цель исследования: изучить распространенность и клинические особенности токсоплазменной инвазии у женщин репродуктивного возраста с акушерской патологией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под наблюдением находились 112 женщин репродуктивного возраста, болеющих приобретенным токсоплазмозом. Возраст пациенток колебался от 18 до 45 лет (средний возраст $34,5 \pm 2,7$ года). Диагноз заболевания верифицирован клинически (субфебрильная температура, боли в мышцах, суставах, лимфаденопатия, ухудшения зрения, головные боли) и положительными результатами иммунобиологических реакций. Группу сравнения составили 20 женщин репродуктивного возраста, свободных от токсоплазменной инвазии. Пациентки находились на стационарном лечении в родильном доме №2 МЗ РД. В клинике больным проведены клиническо-микробиологическое, иммунологическое и инструментальное (УЗИ органов урогенитального тракта) обследование.

Для определения антител IgM, IgG и IgA использовали серологический метод ИФА (иммуноферментный анализ). При диагностике заболевания использованы тест-системы «ТоксоплаСтрип», «ТоксоплаСтрип М», «Ниармедин плюс» (Москва, Россия), «Вектор Токсо-IgA», «Вектор-Бест» (Новосибирск, Россия). Для верификации токсоплазмоза применяли и РНИФ (реакция непрямой иммунофлюоресценции) с выявлением антител класса IgM с помощью тест-системы «Токсодиагностикум» (Москва, Россия). Трихомонады в биоматериале из влагалища и шейки матки определяли способом световой и люминесцентной микроскопии. Использован набор «Трихоскрин» («Лабдиагностик», Москва). Внутриклеточную микробиоту (хламидии, микоплазмы, уреоплазмы) из клинического материала влагалища и шейки матки определяли методом ПЦР (полимеразноцепная реакция) в режиме реального времени с использованием коммерческих наборов ООО НПФ «ГенТех». Внутриклеточную микробиоту определяли с использованием набора реактивов «Ампли Сенс Chlamydia trachomatis-FL», «Ампли Сенс Mycoplasma».

При проведении статистической обработки результатов исследования использована программа «Биостат-4.03». через среднее значение ($M \pm m$) и стандартных отклонений представлены численные показатели. Статистические критерии проверены с применением t-распределения Стьюдента. Достоверность различий составляют максимально на 5 % ($P < 0,05$).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении анализа результатов исследования у 86,5 % обследованных женщин установлена микстинфекция в сочетании с условно-патогенной микробиотой (УПМ). Был изучен спектр микробиоты в слизи шейки матки. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Спектр микробиоты в слизи шейки матки обследованных пациенток**Table 1.** The specific composition of cervical secretions in the observed patients

Возбудитель / Causative agent	%
<i>Escherichia coli</i>	46,3
<i>Klebsiella</i> spp.	17,4
<i>Serratia marcescens</i>	12,6
<i>Staphylococcus</i> spp.	10,0
<i>Proteus mirabilis</i>	10,2
<i>Candida albicans</i>	9,5

Из результатов, представленных в таблице 1 видна доминирующая роль *E. coli* и *Klebsiella* spp. среди возбудителей семейства Enterobacteriaceae, выделенных из биоматериала шейки матки.

В таблице 2 представлена урогенитальная микробиота у женщин с токсоплазменной инвазией.

Таблица 2. Уровень спектра микробиоты в вагинальном секрете**Table 2.** The level of the microbiota spectrum in vaginal secretions

Возбудитель / Causative agent	%
<i>Chlamydia trachomatis</i>	16,6
<i>Mycoplasma genitalium</i>	12,7
<i>Ureaplasma urealyticum</i>	10,3
<i>Candida albicans</i>	31,8
<i>Trichomonas vaginalis</i>	22,5
<i>Gardnerella vaginalis</i>	20,1

Как свидетельствуют результаты, представленные в таблице 2, процент инфицирования женщин с токсоплазмозом урогенитальной микробиотой значительно выше, чем лиц свободных от токсоплазмоза.

Инфицированность токсоплазменной инвазией обследованных женщин с акушерской патологией установлена методами РИФ, ИФА и ПЦР.

У женщин с отягощенным акушерским анамнезом обнаружены специфические противотоксоплазменные антитела в титре 1:200 и выше. Авидность класса IgA составила $73,8 \pm 1,7$. Титры постановки РИФ находились в пределах от 1:20 до 1:120.

В результате проведенного исследования установлено, что инфицированность токсоплазменной инвазией женщин с отягощенным акушерским анамнезом достоверно выше, чем у женщин с физиологическим течением беременности – 68,4 % и 18,3 % ($P < 0,05$). В 76,4 % и 64,5 % случаев выявлены маркеры цитомегало- и герпетической инфекцией.

Женщинам с токсоплазменной инвазией вне беременности проведена комплексная антибактериальная терапия: назначены антибиотик спирамицин (ровамицин) в табл. – по 3 млн. МЕ три раза в день 2 недели, пробиотик бифиформ по 2 капс. два раза в день – 2 недели, свечи вагинальные по 12 мг №10 с полиоксидонием и антиоксидантный комплекс «Селцинк-плюс» по 1 табл. в день – три недели. Женщины комплексную антибактериальную терапию перенесли хорошо, без побочных эффектов. Проведенная терапия способствовала регрессу клинических симптомов заболевания, снижению исходных показателей лабораторных исследований, улучшению качества жизни пациенток.

Таким образом, токсоплазмоз является СПИД-ассоциированной, протозойной, внутриутробной инфекцией, характеризующейся полиморфной патологией. Миграция, ухудшение социально-экономического положения ряда развивающихся стран,

низкий уровень санитарии способствуют распространению токсоплазмоза и соответственно повышению уровня заболеваемости. В России токсоплазмоз встречается повсеместно. В связи с развитием притока мигрантов, ростом выездного туризма, значительным увеличением зарубежного туризма, уровень инфицированности токсоплазмозом среди населения Российской Федерации значительно возросла. Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что токсоплазменная инвазия в современных условиях не потерял своих специфических симптомов, как в острой, так и в хронической формах заболевания. По отношению к проблеме токсоплазмоза у медицинских работников должна быть большая настороженность с учетом специфики Республики Дагестан, где животноводство является основной отраслью развития народного хозяйства [10].

ВЫВОДЫ

1. Клиническая картина токсоплазменной инвазии неспецифична и во многом зависит от состояния иммунной системы.
2. Наиболее типичными симптомами токсоплазмоза являются субфебрильная температура, поражение органа зрения, лимфаденопатия, боли в мышцах и суставах.
3. При сравнении результатов, полученных на разных тест-системах, статистически достоверных различий не выявили.
4. Для диагностики внутриутробной инфекции, вызванной *Toxoplasma gondii* при выявлении классов IgM и IgG необходимо определить авидность антител к возбудителю.
5. Коррекция имеющегося иммунодефицита у женщин репродуктивного возраста с использованием иммуномодулятора Полиоксидоний позволяет оптимизировать терапию токсоплазмоза.
6. Использование в комплексной терапии женщин с токсоплазменной инвазией иммуномодулятора Полиоксидоний способствует улучшению локального

иммунитета, снижению дисбиотической активности в вагинальной слизи.

7. Для профилактики врожденного токсоплазмоза необходимо всех беременных женщин, впервые обратившихся в женскую консультацию обследовать на TORCH-комплекс.

8. Беременные женщины с отрицательными иммунологическими реакциями (не иммунные) относятся к группе риска. Они подлежат повторному иммунологическому обследованию во 2-м и 3-м триместре беременности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгих Т.И. Токсоплазмоз: возвращение к проблеме // Лаборатория ЛПУ (специальный выпуск). 2014. N4. С. 57–60.
2. Flegr J. How and why toxoplasma makes us crazy // Trends in Parasitology. 2013. V. 29. N 4. P. 156–163. DOI: 10.1016/j.pt.2013.01.007
3. Plot I., Amital H., Barzilai O., Ram M., Bizzaro N., Shoenfeld Y. Infections may have a protective role in the etiopathogenesis of celiac disease // Annals of the New York Academy of Sciences. 2009. V. 1173. P. 670–674. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04814.x
4. Царуева Т.В., Саидов М.С., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н., Саидова Б.М., Саидова З.М., Газиев Г.М. Эколого-эпидемиологические особенности токсоплазмоза в Республике Дагестан // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2013. Т. 8. N 3. С. 79–81.
5. Ahmed M., Sood A., Gupta J. Toxoplasmosis in pregnancy // Eur. J Obstet. Gynecol. Reprod Biol. 2020. V. 255. P. 44–50. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2020.10.003
6. Arranz-Solid D., Mukhopadhyay D., Saej V.P. Toxoplasma Effectors that affect pregnancy Outcome Trends Parasitology. 2021. V. 37. N 4. P. 283–295.
7. Dubey J.P., Murata F.H.A., Cerqueira - Cezar C.K., Knock O.C. Congenital toxoplasmosis in humans: an update at worldwide rate of congenital infection // Parasitology. 2021. V. 148. N 12. P. 1406–1416.
8. Ермак Т.Н., Перегудова А.Б. Катамнез больных ВИЧ-инфекцией, перенесших церебральный токсоплазмоз // Терапевтический архив. 2015. Т. 87. N 11. С. 42–45. DOI: 10.17116/terarkh2015871142-45
9. Nessapatorn V., Lee C., Qvek V.E., Leona C., Leong C.L., Mahmud R., Abdullah K.A. Toxoplasmosis in HIV/Aids patients a current situation. Japanese Journal at Infections disease. 2004. V. 57. N 4. P. 160–165.
10. Царуева Т.В., Саидов М.С., Кормасова М.А., Джалилова А.Н., Аджиева Р.К., Саидова Б.М. К вопросу о связи токсоплазмоза как этиологического фактора акушерской патологии с экологической обстановкой Республики Дагестан // Материалы VIII Республиканской научно-практической конференции

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Альбина Н. Джалилова сформулировала идею, собрала данные, написала текст статьи, проанализировала и интерпретировала результаты исследования. Динара Н. Джалилова и Тамара В. Царуева подготовили обзор литературы, разработали методику исследования, собрали данные, написали текст статьи, проанализировали и интерпретировали результаты. Салидат М. Омарова, Патимат С. Саидова, Малика Н. Мехтиева, Сурая Ш. Какваева, Салидат М. Мамаева,

«Проблемы экологической медицины», Махачкала, 12 октября 2018. С. 199–205.

REFERENCES

1. Dolgikh T.I. Toxoplasmosis: a return to the problem. Laboratoriya LPU [LPU Laboratory]. 2014, no. 4, special issue, pp. 57–60. (In Russian)
2. Flegr J. How and why toxoplasma makes us crazy. *Trends in Parasitology*, 2013, vol. 29, no. 4, pp. 156–163. DOI: 10.1016/j.pt.2013.01.007
3. Plot I., Amital H., Barzilai O., Ram M., Bizzaro N., Shoenfeld Y. Infections may have a protective role in the etiopathogenesis of celiac disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, vol. 1173, pp. 670–674. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04814.x
4. Tsarueva T.V., Saidov M.S., Dzhaliilova A.N., Dzhaliilova D.N., Saidova B. M., Saidova Z. M., Gaziev G.M. Epidemiological features of toxoplasmosis in Dagestan Republic. *Meditsinskiy vestnik Severnogo Kavkaza* [Medical Bulletin of the North Caucasus]. 2013, vol. 8, no. 3, pp. 79–81. (In Russian)
5. Ahmed M., Sood A., Gupta J. Toxoplasmosis in pregnancy. *Eur. J Obstet. Gynecol. Reprod Biol.*, 2020, vol. 255, pp. 44–50. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2020.10.003
6. Arranz-Solid D. Mukhopadhyay D., Saej V.P. Toxoplasma Effectors that affect pregnancy Outcome Trends Parasitology. 2021, vol. 37, no. 4, pp. 283–295.
7. Dubey J.P., Murata F.H.A., Cerqueira - Cezar C.K., Knock O.C. Congenital toxoplasmosis in humans: an update at worldwide rate of congenital infection. *Parasitology*. 2021, vol. 148, no. 12, pp. 1406–1416.
8. Ermak T.N., Peregudova A.B. Follow-up study of HIV-infected patients with prior cerebral toxoplasmosis. *Therapeutic archive*, 2015, vol. 87, no. 11, pp. 42–45. (In Russian) DOI: 10.17116/terarkh2015871142-45
9. Nessapatorn V., Lee C., Qvek V.E., Leona C., Leong C. L., Mahmud R., Abdullah K. A. Toxoplasmosis in HIV/Aids patients a current situation. *Japanese Journal at Infections disease*. 2004, vol. 57, no. 4, pp. 160–165.
10. Tsarueva T.V., Saidov M.S., Korkmasova M.A., Dzhaliilova A.N., Adzhieva R.K., Saidova B. M. K вопросу o svyazi toksoplazmoza kak ehtiologicaleskogo faktora akusherskoi patologii s ehkologicheskoi obstanovkoi Respubliki Dagestan [On the relationship between toxoplasmosis as an etiological factor of obstetric pathology and the environmental situation in the Republic of Dagestan]. *Materialy VIII Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy ehkologicheskoi meditsiny», Makhachkala 12 oktyabrya 2018* [Proceedings of the VIII Republican scientific and practical conference "Problems of Environmental Medicine", Makhachkala, October 12, 2018]. Makhachkala, 2018, pp. 199–205. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Albina N. Dzhaliilova formulation of an idea, data collection, writing the text of an article, analysis and interpretation of research results. Dinara N. Dzhaliilova and Tamara V. Tsarueva preparation of a review of literary sources, development of research methodology, data collection, writing the text of the article, analysis and interpretation of research results. Salidat M. Omarova, Suraya Sh. Kakvaeva, Salidat M. Mamaeva, Patimat S. Saidova, Malika N. Mekhtieva and Emilia Sh. Abdurakhmanova preparation

Эмилия Ш. Абдурахманова подготовили обзор литературы, обобщили данные, подготовили табличный материал. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

of a review of literary sources, generalization of data, preparation of tabular material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Тамара В. Царуева / Tamara V. Tsarueva <https://orcid.org/0000-0003-0700-2378>

Салидат М. Омарова / Salidat M. Omarova <https://orcid.org/0000-0002-4034-0742>

Альбина Н. Джалилова / Albina N. Dzhaliilova <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>

Динара Н. Джалилова / Dinara N. Dzhaliilova <https://orcid.org/0000-0002-4754-6794>

Сурая Ш. Какваева / Suraya Sh. Kakvaeva <https://orcid.org/0000-0003-0563-8540>

Салидат М. Мамаева / Salidat M. Mamaeva <https://orcid.org/0000-0002-8884-0420>

Патимат С. Саидова / Patimat S. Saidova <https://orcid.org/0000-0003-0236-8916>

Малика Н. Мехтиева / Malika N. Mekhtieva <https://orcid.org/0009-0002-3673-5511>

Эмилия Ш. Абдурахманова / Emilia Sh. Abdurakhmanova <https://orcid.org/0009-0007-4781-0704>

Обзорная статья / Original article

УДК 343: 349.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-14



Особенности экологической превенции в эпоху цифровых технологий

Дурея З. Зиядова¹, Майя Г. Маликова², Роман В. Косов²¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия²Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Контактное лицо

Дурея З. Зиядова, доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры уголовного права и криминологии, заведующая Лабораторией уголовно-правовых и криминологических исследований ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Коркмасова, 8. Тел. +79894669085
Email zijadowa@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

Формат цитирования

Зиядова Д.З., Маликова М.Г., Косов Р.В. Особенности экологической превенции в эпоху цифровых технологий // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 161-169.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-14

Получена 22 августа 2025 г.

Прошла рецензирование 14 ноября 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Цель: определить наиболее перспективные направления совершенствования системы экологической превенции в эпоху цифровых технологий.

В процессе исследования использованы общенаучные и специально-криминологические методы.

Феномен цифровой парадигмы представляет собой существенную угрозу, непосредственно воздействующую на состояние экологической безопасности. Опережая практику, в теории профилактики преступлений и криминологической науке создается научная база противодействия процессу использования экологически опасных цифровых технологий, экологическому активизму, экстремизму и терроризму.

Выдвигается тезис о совершенствовании системы экологической превенции по нескольким взаимосвязанным направлениям:

1. *Организационно-управленческие меры экологической превенции:*

а) усилить государственный контроль за использованием цифровой среды в регионах Российской Федерации, учитывая возрастающую опасность цифровизации для атмосферного воздуха, качества воды и почвы; б) модернизировать систему контролирующих органов, в ходе которой пройдет цифровая подготовка специалистов в области охраны окружающей среды.

2. *Нравственно-воспитательные меры экологической превенции:*

а) привлечение населения к проведению природоохраняющих мероприятий и решению экологических проблем в форме онлайн-действий; б) внедрение в систему экологической превенции положительных аспектов религии, традиций, обычаев и социального контроля как компонентов формирования экологической культуры и экологического правосознания.

3. *Уголовно-правовые меры:* а) увеличить размеры санкций за экологические преступления; б) ввести уголовную ответственность юридических лиц; в) реформировать систему исполнения наказаний.

Ключевые слова

Экологическая превенция, экологические преступления, эпоха цифровых технологий, экологический терроризм, экологический экстремизм, экологический активизм, превентивный контроль.

Peculiarities of environmental prevention in the digital age

Dureja Z. Zijadova¹, Maya G. Malikova² and Roman V. Kosov²

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Principal contact

Dureja Z. Zijadova, Doctor of Law, Professor,
Department of Criminal Law and Criminology,
Head Laboratory of Criminal Law and Criminological
Research, Dagestan State University; 8 Korkmasova
St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79894669085

Email zijadova@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

How to cite this article

Zijadova D.Z., Malikova M.G., Kosov R.V.
Peculiarities of environmental prevention in the
digital age. *South of Russia: ecology, development*.
2026; 21(1):161-169. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-14

Received 22 August 2025

Revised 14 November 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The aim was to identify the most promising directions for improving the system of environmental prevention in the era of digital technologies.

The research utilised general scientific and specialized criminological methods. The digital paradigm phenomenon is a significant threat to environmental security. In advance of practical application, crime prevention theory and criminology are developing a scientific framework to address the use of environmentally hazardous digital technologies, environmental activism, extremism, and terrorism.

The thesis is put forward on improving the system of environmental prevention along several interconnected lines:

Organizational and managerial measures of environmental prevention:

a) Strengthen state control over the use of the digital environment in the regions of the Russian Federation, considering the increasing danger of digitalisation for atmospheric air, water quality, and soil; b) Modernize the system of controlling bodies, during which digital training of specialists in the field of environmental prevention will take place.

Moral and educational measures of environmental prevention:

a) engaging the public in environmental prevention activities and solving environmental problems through online initiatives; b) integrating positive aspects of religion, traditions, customs, and social control into the system of environmental prevention as components for fostering environmental culture and ecological legal awareness.

Criminal law measures:

a) increasing the penalties for environmental crimes; b) introducing criminal liability for legal entities; c) reforming the correctional system.

Key Words

Environmental prevention, environmental crimes, the era of digital technologies, environmental terrorism, environmental extremism, environmental activism, and preventive control.

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху новейших технологий экологические проблемы стали значительными во всех странах. Такая закономерность объясняется объективностью экологических законов, в соответствии с которыми ни одна страна не может развиваться изолированно от мирового сообщества. В условиях глобальных природных изменений государственные границы становятся столь проницаемыми, что традиционные различия социально-экономического, национального, конфессионального и иного характера начинают стираться. В этой связи ни одно государство, вне зависимости от уровня развитости и защищенности, не в состоянии избежать пагубного влияния новейших технологий на состояние окружающей среды. Российская Федерация не является исключением.

Как веление времени, в современный научный дискурс отечественных и международных исследователей прочно вошло понятие «цифровая экология» (Digital ecology). Развитие цифровой экологии, с одной стороны, способствует улучшению работы контролирующих органов в системе охраны окружающей среды, с другой – развитие информационных технологий несет в себе непосредственную угрозу экологической безопасности. В мировой практике известны такие случаи, среди которых «разрушение хакерами центрифуг производства обогащенного урана в Иране в 2010 г., где преступники использовали вредоносный код, получивший название Stuxnet, запущенный в систему» [1]. Годом раньше, 17 августа 2009 года, в Российской Федерации «объектом атаки стала Саяно-Шушенская ГЭС. По некоторым данным аварию спровоцировал тот же вирус, что и на иранском заводе» [2].

Учитывая риски от цифровых технологий, можно прогнозировать новые опасные угрозы атак на стратегически важные объекты, способные вызывать экологические катастрофы. Особенно сложная ситуация в российском государстве сложилась в условиях военной операции на Украине и окружения вражески настроенных западных стран. В такой ситуации «реализация цифровой технологии в мировой экономике без решения вопросов защиты от нарастающей виртуальной опасности во имя сохранения экологического равновесия в биосфере от нового оружия массового вредительства становится не менее опасной, но более реальной угрозой, чем применение ядерного оружия» [1].

Помимо угрозы извне, по данным исследований, проведенных в условиях цифрового мира, в Российской Федерации совершаются тысячи преступлений ежегодно в сфере охраны окружающей среды. «Существующее разнообразие деяний в сфере экологии, совершаемых с помощью высоких технологий, не позволяет проводить исчерпывающий обзор их состояния и современных тенденций преступности данной категории» [3]. Такая обстановка диктует необходимость изучения преступности против окружающей среды путем исследования ее по территориальной распространенности. Региональные исследования могут стать отправной точкой для последующего анализа экологической преступности в целом в государстве в рамках совершенствования системы экологической превенции.

МЕТОДЫ

В работе определены основные понятия и признаки экологической превенции с помощью научно-исследовательских методов познания; установлено значение экологической превенции на основе формально-логического метода; выявлены проблемы в уголовной политике в области охраны окружающей среды посредством изучения материалов следственной практики; определены направления совершенствования уголовной политики на основе сравнительно-правового анализа; дана оценка экологической превенции посредством конкретно-социологического метода; показаны криминологические признаки экологической превенции на общегосударственном и региональном уровнях с помощью статистического и математического методов. Кроме того, в процессе исследования использованы: а) социологические методы в форме опросов, анкетирования и интервью с целью определения детерминантов преступности исследуемой категории; б) обобщение материалов уголовных дел, судебной и следственной практики, содержащих информацию о криминологических показателях экологической преступности; в) метод экспертных оценок в рамках установления эффективных методов и форм экологической превенции с учетом специфики эпохи цифровых технологий. Респондентами опросов и анкетирования стали студенты юридических институтов Дагестанского государственного технического университета (95) и Тамбовского государственного технического университета (47), работники правоохранительных и контролирующих органов Республики Дагестан (37) и Тамбовской области (48). В качестве экспертов выступили работники органов юстиции и исполнения наказаний (г. Махачкала – 22; г. Тамбов – 17).

ОБСУЖДЕНИЕ

Экологическая преступность – неотъемлемая часть региональной преступности и такого приграничного субъекта Российской Федерации как Республика Дагестан. Она обусловлена геополитическими, транснациональными, социальными, геоэкономическими и этническими факторами и процессами. Хотя многолетняя статистика свидетельствует, что в данном субъекте в течение долгих лет наиболее распространены преступными посягательствами были деяния, направленные на объекты животного мира и лесных ресурсов, с развитием цифровых технологий загрязнение атмосферного воздуха, воды и почвы стало актуальной проблемой. Еще в начале нулевых XXI века П.В. Еремкин по результатам своего исследования отмечал, что «ежегодные темпы прироста общего числа загрязнения окружающей среды составляют, в среднем, не более 5–9 %» [4]. В последние годы «преступниками активно применяются возможности цифровых технологий для обогащения, нанесения непоправимый урон окружающей среде» [3]. Такая ситуация привела к тому, что «значительная часть населения Российской Федерации проживает на экологически неблагоприятных территориях» [5; 6]. В свою очередь, загрязнение окружающей среды, помимо ухудшения здоровья населения, «оказывает воздействие на социальные, экономические, политические условия жизни общества» [5].

В эпоху цифровых технологий создаются ранее неизвестные угрозы окружающей среде,

способствующие ее загрязнению и постепенному уничтожению. Новое явление, получившее название в криминологической доктрине как «экологический терроризм», в сфере охраны окружающей среды появилось в сложных геополитических и геоэкономических условиях, созданных враждебно настроенными странами в отношении российского государства. Экологический терроризм в целевых исследованиях рассматривается «в качестве разновидности терроризма, совершенного путём причинения вреда окружающей среде» [7]. «Он представляет собой вполне реальную, осязаемую угрозу общественной безопасности» [8]. По утверждению С.В. Иванцова, основная цель экологического терроризма – «запугать население или оказать давление на органы государственной власти или иных субъектов принятия решений» [9].

Особую опасность экологический терроризм представляет в условиях сложной ситуации, связанной с риском совершения террористических актов на опасных объектах (газопроводные сооружения, атомные станции, гидротехнические сооружения, химические предприятия и др.), сложившейся после военной операции на Украине. Одним из примеров является диверсия на газопроводах «Северный поток» и «Северный поток–2», совершенная западными террористами 26 сентября 2022 года. Остается опасностью совершения террористических акций со стороны украинских диверсантов с использованием экологически опасных средств, биологических, химических и ядерных материалов, которые, помимо нанесения вреда жизни и здоровью населения, могут привести к глобальному загрязнению окружающей среды.

Исходя из форм опасности загрязнения окружающей среды, экологи выделяют технологические, химические и биологические виды экологического терроризма. Следует согласиться с заявлением А. Я. Рыженкова, что «причинами появления экологического терроризма являются упрощающий доступ террористов к различным экологически опасным веществам или технологиям их изготовления, к чему ведет развитие сети Интернет» [10].

Как известно, в эпоху цифровых технологий экстремистская деятельность приобретает транснациональный характер. Сфера окружающей среды не является исключением. В последние годы в структуре экологической преступности появилась ее новая разновидность – экологический экстремизм. В криминологической литературе делаются попытки его ставить в один ряд с экологическим терроризмом. В целевых эколого-криминологических исследованиях под экстремистами обозначенной категории «признают, как тех, кто защищает окружающую среду противозаконными методами, нарушая порядок, так и тех, кто на неё покушается, кто уничтожает природные ресурсы варварскими методами» [11].

Экологический экстремизм, как развивающаяся форма социально опасной деятельности, также угрожает общественной безопасности, хотя в отличие от экотерроризма, по утверждению О.Л. Дубовик, «экологический экстремизм имеет больше “заслуг”» [12]. Сущность данной угрозы заключается в демонстративном противопоставлении деструктивной

деятельности традиционным методам сохранения природной среды.

Типичной иллюстрацией экологического экстремизма являются многочисленные акции в разных точках мира. Поэтому, по мнению Н.И. Кузнецовой и С.Ф. Милюкова, под экстремизмом в сфере экологии «следует рассматривать такую деятельность, которая не наносит вреда окружающей среде, а, напротив, направлена на минимизацию причинения вреда природе» [8]. Аналогичного мнения и А.А. Ямалитдинов [13].

В эколого-криминологической литературе выделяют еще один неологизм, характерный для цифрового времени – экологический активизм, который некоторые исследователи ставят в одну параллель с экологическим экстремизмом, еще более недопустимо – экологическим терроризмом. «Экологический терроризм характеризуется как способ разрешения конфликта с помощью насилия» [12]. Как показывает практика, в актах экологического активизма отсутствует элемент насилия, они проводятся не для устрашения населения, а для убеждения и внушения экологически положительных ценностей и идей.

В программах и акциях активистов и «экстремистов» обозначенной категории центральное место занимают ключевые экологические проблемы (глобальное изменение климата, проблемы общественного здоровья, исчерпание природных ресурсов, антропогенная деградация экосистем, сокращение биоразнообразия, а также кризис в области обращения с отходами). В отличие от традиционных экстремистов экоактивисты и экоэкстремисты, осуществляющие протестную деятельность, «проводят свои акции в публичных местах в надежде вызвать общественный резонанс и привлечь как можно больше внимания» [8] к обозначенным выше проблемам.

Возвращаясь к проблеме смешивания исследуемых неологизмов в сфере экологии, введенных в научный понятийный аппарат в условиях цифрового мира, укажем, что в криминологической и экологической литературе имеется иная точка зрения относительно экологического экстремизма, согласно которой такое явление связывают «с деформацией экологического сознания» [14] и оно «обладает определенными признаками, изучение которых позволяет прогнозировать его дальнейшее развитие» [11] как негативного социально-политического феномена в будущем, учитывая тот факт, что объектами акций представителей данных общественных организаций могут стать объекты стратегической важности.

Таким образом, прогрессирующий уровень преступности против окружающей среды в эпоху цифровых технологий требует совершенствования мер, направленных на эффективную экологическую превенцию. Несмотря на сложную политическую ситуацию, следует вести совместную межгосударственную экологическую политику, содержащую согласованные меры комплексного характера. Эффективную экологическую превенцию можно проводить только при условии консолидации усилий со стороны всех государств, в том числе путем совершенствования системы международного сотрудничества, хотя на современном этапе развития международных отношений такая задача считается труднорешаемой.

Что касается регионального уровня, в первую очередь важно внедрить природоохранные положения и требования в межгосударственные программы и стратегии развития в сфере охраны морской среды Каспийского моря. Как показывает практика, принятие таких концепций на уровне межгосударственных программ и их реализация в национальном законодательстве должно быть должным образом обосновано с опорой на достоверные данные и убедительные аргументы. Важным этапом в формировании стратегии экологической превенции в региональном формате, является проведение реальной оценки межгосударственной политики в сфере охраны морской среды Каспийского моря с позиции эффективности реализуемых соседними странами мер в долгосрочной перспективе.

В эпоху цифровых технологий охрана морской среды Каспийского моря занимает важное место в деятельности многих государственных структур и общественных организаций. Поэтому важное превентивное значение имеет эффективный контроль за экологоохранной деятельностью всех государств, граничащих с данным водным пространством.

Формирование новой эколого-правовой культуры является одним из факторов предупреждения преступлений в экологической сфере. К сожалению, в настоящее время экологическая превенция рассматривается по большей части как задача природоохранных органов, а также специализированных общественных, некоммерческих организаций. При этом деятельность по формированию экологического правосознания граждан не может осуществляться исключительно силами природоохранных органов и общественных организаций. В рамках экологической политики первостепенное значение имеет уровень общественного контроля за деятельностью природоохранных органов, на всех ее этапах от выявления нарушений закона до исполнения назначенных наказаний и осуществления мер специального предупреждения.

Как показывает практика, без активной деятельности общественности не удаётся обеспечить достижения целей экологической превенции, хотя состояние и тенденции развития природоохранного регулирования часто воспринимаются в обществе как менее важные, чем политика социального и экономического развития. Однако, стязательное и безответственное отношение общества к окружающей среде приводит к изменению ее состояния, что в последующем влияет на здоровье людей, качество их жизни и ставит под угрозу перспективы устойчивого развития многих сфер и отраслей. Поэтому в цифровом мире особо актуально формирование экологического сознания, экологической культуры. Не всегда в системе экологической превенции созданию условий для правомерного поведения граждан уделяется должное внимание на уровне субъектов Российской Федерации, в том числе «в части закрепления в региональном законодательстве соответствующих целей и задач, и разработанных с учетом региональных особенностей конкретных профилактических мер» [15].

По этому поводу многие исследователи и практики предлагают внедрить в региональное законодательство меры стимулирования руководителей предприятий, заводов и иных организаций к снижению уровня негативного воздействия на

окружающую среду с помощью экономических мер, которые в состоянии более эффективно повысить уровень правовой охраны окружающей среды, нежели усиление мер уголовной ответственности за загрязнение окружающей среды. По нашему мнению, важно закрепить на законодательном уровне систему мер по повышению значимости сохранения окружающей среды и природы с привлечением государственных средств и инвестиций от частных крупных предприятий в сферу охраны окружающей среды. «Реализация данного положения зависит от формирования системы качественного и эффективного законодательства в сфере охраны окружающей среды» [16].

Важно заметить, что эффективность профилактических мер в определенной мере зависит от их степени реализуемости в рамках экологической превенции, в том числе и с точки зрения соблюдения баланса экономических и экологических интересов руководителей предприятий, способных нанести вред окружающей среде. Таким образом, экологическая превенция, направленная на стимулирование правомерного поведения руководителей в процессе организации производственной деятельности, бережно взаимодействующей с окружающей средой, станет актуальной и эффективной мерой в современных сложных условиях глобального экономического и политического кризиса.

Особое значение в системе экологической превенции в эпоху цифровых технологий имеет социальный контроль. Важно заметить, что цифровой мир обладает принципиально новыми возможностями для позиционирования своего гражданского мнения в рамках российского законодательства и осуществления мобилизации общественных сил. Позитивным аспектом общественных инициатив, проводимых в цифровом обществе, является взаимодействие волонтерских организаций и муниципальных органов власти. К примеру, экологическая акция «Эко-тур» прошла в городе Дербент Республики Дагестан, где приняла участие более 90 человек, среди которых – волонтеры, студенты и школьники города Дербент¹.

Как показывает практика, во все времена, особенно в эпоху цифрового общества важно использование позитивного потенциала традиций и обычаев в сфере охраны природы. В 90-годы XX века все общественные организации, положительно зарекомендовавшие в советское время, потеряли свою значимость. Об этом отмечали региональные исследователи в своих публикациях, среди которых известный ученый в области биологии и экологии З.А. Шахмарданов. Исследователь в своей статье «Традиции народов Дагестана по охране природы» акцентировал внимание на проблеме ослабления позитивной роли народных традиций, указав, что «все больше теряются традиции по посадке деревьев, по охране рек, родников и других охраняемых природных территорий» [17]. Поэтому важную роль в системе

¹ Экологическая акция «Эко-тур» прошла в городе Дербент <https://www.interfax-russia.ru/tourism/news/ekologicheskaya-akciya-eko-tur-proshla-v-dagestanskom-derbente/> / The "Eco-tour" environmental campaign took place in the city of Derbent. <https://www.interfax-russia.ru/tourism/news/ekologicheskaya-akciya-eko-tur-proshla-v-dagestanskom-derbente/> (date of access: 14.12.2025).

экологической превенции играет создание государством условий для правомерного с экологической точки зрения поведения его граждан с учетом региональной специфики.

Положительным моментом цифровой эпохи является тот факт, что виртуальное пространство «предлагает населению принципиально новые возможности для выражения гражданской позиции и осуществления коллективной мобилизации, создавая сетевые структуры» [18] в контексте экологической превенции. При умелом использовании представителями региональных и муниципальных органов власти «новые технологии могут стать инновационным источником саморазвития граждан, освоения навыков экологического мониторинга и саморефлексии в отношении полученной информации, повышения экологического знания и осведомленности» [18].

Помимо усиления активности граждан в системе экологической превенции важную роль играет уголовно-правовая защита окружающей среды. Гарантией эффективной экологической превенции является разработка и правильная реализация уголовно-экологической политики. В последние годы законодатель определяет приоритетное направление уголовно-правовой политики как целенаправленную деятельность по экологической превенции, которая включает не только установление и реализацию уголовно-правовых запретов, обеспечение неотвратимости наказания и пресечение преступлений, но и организационные структуры. Приоритетное направление уголовно-правовой политики строится посредством оценки объекта, на который направлены уголовно-правовые решения и действия в рамках успешной экологической превенции. В «числе механизмов реализации государственной политики в сфере охраны окружающей среды – создание системы экологического аудита, информирование населения и организаций об опасных природных явлениях, о состоянии окружающей среды и ее загрязнении, внедрение комплексных экологических разрешений в отношении экологически опасных производств, использующих наилучшие доступные технологии»².

В контексте уголовно-правовой политики теоретики и практики обоснованно поднимают вопрос о повышении роли и значения правовой ответственности в сфере охраны окружающей среды, учитывая, что безнаказанность преступлений в природоохранной сфере является одним из существенных факторов их совершения. В теории уголовного права справедливо заявляют, что санкции за совершение экологических преступлений не соответствуют такому количественному показателю степени общественной опасности как вред или ущерб, наносимый самими деяниями и их последствиями. Как показал постатейный анализ уголовного

законодательства в сфере охраны природной среды, подавляющее большинство преступных деяний до сих пор расценивается законодателем как преступления средней тяжести. В первую очередь либеральный подход характерен для составов, связанных с загрязнением почвы, морской среды и атмосферного воздуха, несмотря на их высокую степень экологической опасности. Получается, «деяния, представляющие значительную угрозу экологической безопасности и влекущие за собой довольно серьезные последствия для состояния окружающей среды» [19] отнесены законодателем к нетяжким деяниям.

Помимо либерального подхода законодателя к деяниям, представляющим высокую степень экологической опасности, в следственной практике возникают трудности при квалификации преступлений исследуемой категории, что связано со сложностью толкования бланкетных норм. Проблематичность и трудоемкость следствия по делам об экологических преступлениях заключается в том, что уголовный закон опирается на нормы отраслевого природоохранного и природоресурсного законодательства.

Как точно отмечается в доктрине экологического права, «наибольший вред экологии наносят своими действиями (бездействием) не отдельные физические, а именно юридические лица. Об этом свидетельствует бесконечный ряд аварий, техногенных катастроф, откровенно преступных действий должностных лиц как в России, так и за её пределами на протяжении последнего десятилетия» [20].

В практике немало примеров, свидетельствующих об огромном уроне окружающей среде из-за изношенности и непрочности оборудования, нарушения условий хранения легковоспламеняющихся материалов, экономии руководителей предприятий на средствах, выделяемых для очистительных систем. Помимо этого, многие предприятия построены с грубейшими нарушениями санитарно-эпидемиологических правил и норм. Такие предприятия не только наносят вред природе, но и представляют особую опасность для жизни и здоровья людей. О последствиях таких нарушений свидетельствуют взрывы на АЗС, которые произошли в городе Махачкала 14 августа 2023 года и 27 сентября 2024 года.

Поэтому немало теоретиков и практиков поддерживают введение уголовной ответственности юридических лиц. Причем, в эпоху цифровых технологий «мировая практика введения рассматриваемого института расширяется, все больше стран вводят механизмы привлечения юридических лиц к уголовной ответственности. Не являясь исключением и страны бывшего Светского Союза» [21]. Анализ зарубежной литературы свидетельствует, что ученые во многих странах «не ставят под сомнение криминологическую обоснованность существования института уголовной ответственности юридических лиц за экопреступления, учитывая катастрофический урон для природной среды, нанесенный преступлениями, совершенными корпорациями» [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность экологической превенции в эпоху цифровых технологий зависит и от качества исследований в области защиты природного мира. Осознавая опасность стремительного развития

² Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» // garant.ru «Прайм» Документы ленты ПРАЙМ / Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 No. 176 «On the Strategy for Environmental Security of the Russian Federation for the Period up to 2025» // <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&cacheid=21A165821746BA6D9D4134812927E15&mode=searchcard&base=LAW&n=215668&BASENODE=iiiiMSwwLDEiilwjljSxMQVciil&rnd=0.7291785305074199#срп7NDVolo1AwCyQ1> (date of access: 11.12.2025).

техногенных процессов, в криминологической литературе начали уделять особое внимание исследованиям, направленным на поиск эффективных решений по предупреждению деяний, посягающих на окружающую среду. Основные на эколого-криминологических исследованиях научно-обоснованные рекомендации по разработке результативных мер экологической превенции могут служить концептуальным фундаментом для государственной политики в сфере охраны окружающей среды.

В современном обществе, предвидя необратимые процессы в природе в эпоху цифровых технологий, сформировалось понимание необходимости охраны природы. В институтах государственной власти растет осознание серьезности таких проблем, как загрязнение биосферы, увеличение вероятности экологических катастроф техногенного и климатического характера, а также нерациональное использование природных ресурсов, ведущее к их деградации и истощению. С целью минимизации пагубного влияния новейших технологий на состояние воды, почвы и атмосферы, постоянно проводятся профилактические мероприятия в масштабах государства (общероссийские), регионов (региональные) и муниципальных образований (местные).

На общегосударственном уровне в рамках экологической превенции эффективны меры, направленные на достижение целей экологической безопасности, осуществляемые путем проведения единой государственной политики, направленной на предотвращение и ликвидацию внутренних и внешних вызовов и угроз окружающей среде, а также социализацию личности с экологической культурой и высоким уровнем экологического правосознания, способствующем бережному отношению к природной среде; совершенствование законодательства в рамках всех отраслей права. В системе экологической превенции первостепенное значение имеет привлечение населения к проведению природоохраняющих мероприятий. Такое воздействие на решение экологических проблем в форме онлайн-действия, которое в социологической науке называется метаголосованием, в некоторой степени имеет превентивное значение.

Превенция, направленная на минимизацию пагубного влияния новейших технологий на состояние морской среды Каспийского моря, стала в последние годы основной составляющей региональной системы экологической превенции. В Республике Дагестан отдельной проблемой экологической политики становится наличие в регионе государственной границы с другими странами, что является одним из факторов развития организованной и транснациональной преступности против окружающей среды. Поэтому на региональном уровне можно выделить совершенствование системы взаимосвязи и взаимодействия правоохранительных, природоохранительных органов, общественных объединений и организаций в деле экологической превенции в эпоху цифровых технологий; привлечение предпринимателей в процесс реализации инвестиционных природоохранительных проектов. Только осознание всего перечисленного трансформируется на практике в реальное позитивное экологически значимое поведение.

В системе организационно-управленческих мер экологической превенции следует усилить государственный контроль за использованием информационной среды в регионах Российской Федерации, учитывая возрастающую опасность цифровизации. С учетом рисков от цифровых технологий на окружающую среду важна дальнейшая модернизация этого контроля. Помимо этого, в рамках организационно-управленческих мер экологической превенции целенаправленная подготовка эколого-специалистов в области техники, технологии, информатики и биологии становится настоятельной необходимостью цифрового времени. Без высококвалифицированных специалистов невозможно эффективно организовать процесс экологической превенции в эпоху новейших технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Надточий Ю.В. Киберпреступность как угроза экологической безопасности // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2018. Т. 20. N 3. С. 108–116. <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2018-3/108-116>
2. Кальнер В.Д. Цифровая экономика и экологическая безопасность жизнедеятельности // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. N 1. С. 62–67. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-1-62-67>
3. Зиядова Д.З., Диева М.Г., Гусейнов А.Э., Гусейнова Н.О. Роль региональной экологической криминологии в эпоху цифровых технологий // Юг России: экология, развитие. 2023. N 18 (2). С. 175–182. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-175-182>
4. Еремкин П.В. Борьба с загрязнением окружающей среды (криминологические и уголовно-правовые аспекты): Автореф. дис. ... канд. юрид. наук. М., 2006. 25 с.
5. Кузнецова Н.И. Глобальные проблемы современности как угроза экологической безопасности России // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: История и право. 2022. Т. 12. N 3. С. 106–115. <https://doi.org/10.21869/2223-1501-2022-12-3-106-115>
6. Кузнецова Н.И. Изменение климата как криминогенный фактор // Юридическая техника. 2023. N 17. С. 306–309.
7. Курбатова Г.В., Иванова О.В. Экологический терроризм как глобальная угроза человечеству // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2020. N 1. С. 131–138.
8. Кузнецова Н.И., Милюков С.Ф. Экологический экстремизм как разновидность девиантного поведения // Право: история и современность. 2023 Т. 7. N 2. С. 212–224. <https://doi.org/10.17277/pravo.2023.02.pp.212-224>
9. Иванцов С.В. Экологический терроризм как новое проявление современной организованной преступной деятельности // «Черные дыры» в российском законодательстве. 2008. N 1. С. 189–192.
10. Рыженков А.Я. Экологический терроризм как глобальная проблема современности // Правовая парадигма. 2017. Т. 16. N 2. С. 27–35. <https://doi.org/10.15688/lc.jvolsu.2017.2.3>

11. Ивакин В.И. Экоterrorism, транспорт и правовая охрана природной среды // Транспортное право и безопасность. 2021. N 1 (37). С. 204–212.
12. Дубовик О.Л. Криминологические и уголовно-правовые предпосылки борьбы с экологическим терроризмом и экологическим экстремизмом в России // Lex Russica. 2018. N 9 (142). С. 75–89. <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2018.142.9.075-090>
13. Ямалитдинов А.А. Экстремизм: его разновидности и формы // Вестник Уфимского юридического института МВД России. 2016. N 4 (74). С. 37–40.
14. Лавыгина И.В. Модель экологического сознания в контексте предупреждения экологической преступности // Криминологический журнал Байкальского государственного университета экономики и права. 2015. Т. 9. N 3. С. 466–474. [https://doi.org/10.17150/1996-7756.2015.9\(3\).466-474](https://doi.org/10.17150/1996-7756.2015.9(3).466-474)
15. Сосновский В.В. Предупреждение экологических преступлений: региональные аспекты // Российский криминологический взгляд. 2010. N 3. С. 321–328.
16. Бринчук М.М. Природа как основа цивилизационного развития // Астраханский вестник экологического образования. 2023. N 2(74). С. 208–216. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2023-2-208-216>
17. Шахмарданов З. Традиции народов Дагестана по охране природы // Народы Дагестана. 2000. N 6. С. 44–45.
18. Ермолаева П.О., Ермолаева Ю.В., Башаева О.А. Цифровой экологический активизм как новая форма экологического участия населения // Социологическое обозрение. 2020. Т. 19. N 3. С. 376–408. <https://doi.org/10.17323/1728-192x-2020-3-376-408>
19. Якушева А.М. Пробелы в уголовно-экологической политике Российской Федерации // Актуальные проблемы науки и практики. 2023. N 2 (31). С. 102–108.
20. Кузнецова Н.И. Криминологическое обоснование введения института уголовной ответственности юридических лиц // Право: история и современность. 2023. Т. 7. N 3. С. 324–333. <https://doi.org/10.17277/pravo.2023.03.pp.324-333>
21. Фёдоров А.В. Казахстан на пороге принятия решения об уголовной ответственности юридических лиц // Российский следователь. 2023. N 2. С. 61–68. <https://doi.org/10.18572/1812-3783-2023-2-61-68>
22. Кибальник А.Г., Волосюк П.В., Демин С.Г. Вопросы уголовной ответственности юридических лиц: монография. Москва: Юрлитинформ, 2017. 192 с.
- Criminal Law Aspects]]. Abstract of a Cand. Sci. (Law) Dissertation. Moscow, 2006, 25 p. (In Russian)
5. Kuznetsova N.I. Global Problems of Our Time as a Threat to Russia's Environmental Security. *Bulletin of the South-West State University. Series: History and Law*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 106–115. (In Russian) <https://doi.org/10.21869/2223-1501-2022-12-3-106-115>
6. Kuznetsova N.I. Climate Change as a Criminogenic Factor. *Yuridicheskaya tekhnika [Legal Technology]*. 2023, no. 17, pp. 306–309. (In Russian)
7. Kurbatova G.V., Ivanova O.V. Environmental Terrorism as a Global Threat to Humanity. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki [Bulletin of Tula State University. Economic and Legal Sciences]*. 2020, no. 1, pp. 131–138. (In Russian)
8. Kuznetsova N.I., Milyukov S.F. Environmental Extremism as a Type of Deviant Behavior. *Law: History and Modernity*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 212–224. (In Russian) <https://doi.org/10.17277/pravo.2023.02.pp.212-224>
9. Ivantsov S.V. Ecological terrorism as a new manifestation of modern organized criminal activity. «Chernye дыры» v rossiiskom zakonodatel'stve [“Black holes” in Russian legislation]. 2008, no. 1, pp. 189–192. (In Russian)
10. Ryzhenkov A.Ya. Ecological terrorism as a global problem of our time. *Legal paradigm*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 27–35. (In Russian) <https://doi.org/10.15688/lc.jvolsu.2017.2.3>
11. Ivakin V.I. Ecoterrorism, transport and legal protection of the natural environment. *Transportnoe pravo i bezopasnost'* [Transport law and security]. 2021, no. 1 (37), pp. 204–212. (In Russian)
12. Dubovik O.L. Criminological and criminal-legal prerequisites for the fight against environmental terrorism and environmental extremism in Russia. *Lex Russica*, 2018, no. 9 (142), pp. 75–89. (In Russian) <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2018.142.9.075-090>
13. Yamalidtinov A.A. Extremism: its types and forms. *Vestnik Ufimskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii [Bulletin of the Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia]*. 2016, no. 4 (74), pp. 37–40. (In Russian)
14. Lavigina I.V. Model of environmental consciousness in the context of environmental crime prevention. *Criminological Journal of the Baikal State University of Economics and Law*, 2015, vol. 9, no. 3, pp. 466–474. (In Russian) [https://doi.org/10.17150/1996-7756.2015.9\(3\).466-474](https://doi.org/10.17150/1996-7756.2015.9(3).466-474)
15. Sosnovsky V.V. Prevention of Environmental Crimes: Regional Aspects. *Rossiiskii kriminologicheskii vzglyad [Russian Criminological View]*. 2010, no. 3, pp. 321–328. (In Russian)
16. Brinchuk M.M. Nature as the Basis of Civilizational Development. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2023, no. 2(74), pp. 208–216. (In Russian) <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2023-2-208-216>
17. Shakhmardanov Z. Traditions of the peoples of Dagestan for nature conservation. *Narody Dagestana [Peoples of Dagestan]*. 2000, no. 6, pp. 44–45. (In Russian)
18. Ermolaeva P.O., Ermolaeva Yu.V., Bashaeva O.A. Digital environmental activism as a new form of environmental participation of the population. *Sociological Review*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 376–408. (In Russian) <https://doi.org/10.17323/1728-192x-2020-3-376-408>
19. Yakusheva A.M. Gaps in the criminal-environmental policy of the Russian Federation. *Aktual'nye problemy*

REFERENCE

1. Nadtochiy Yu.V. Cybercrime as a threat to environmental security. *Asia-Pacific region: economics, politics, law*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 108–116. (In Russian) <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2018-3/108-116>
2. Kalner V.D. Digital economy and environmental safety of life. *Ecology and industry of Russia*, 2018, vol. 22, no. 1. pp. 62–67. (In Russian) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-1-62-67>
3. Zijadova D.Z., Dieva M.G., Guseynov A.E., Guseynova N.O. The Role of Regional Environmental Criminology in the Digital Age. *South of Russia: Ecology, Development*, 2023, no. 18 (2), pp. 175–182. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-175-182>
4. Eremkin P.V. *Bor'ba s zagryazneniem okruzhayushchei sredy (kriminologicheskie i ugolovno-pravovye aspekty) [Combating Environmental Pollution (Criminological and*

nauki i praktiki [Actual problems of science and practice]. 2023, no. 2 (31), pp. 102–108. (In Russian)

20. Kuznetsova N.I. Criminological justification for the introduction of the institution of criminal liability of legal entities. *Law: History and Modernity*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 324–333. (In Russian)

<https://doi.org/10.17277/pravo.2023.03.pp.324-333>

21. Fedorov A.V. Kazakhstan on the threshold of making a decision on criminal liability of legal entities. *Russian investigator*, 2023, no. 2, pp. 61–68. (In Russian)

<https://doi.org/10.18572/1812-3783-2023-2-61-68>

22. Kibalnik A.G., Volosyuk P.V., Demin S.G. *Voprosy ugolovnoi otvetstvennosti yuridicheskikh lits* [Issues of criminal liability of legal entities]. Moscow, Yurlitinform Publ., 2017, 192 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дурея З. Зиядова / Dureja Z. Zijadova <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

Майя Г. Маликова / Maya G. Malikova <https://orcid.org/0009-0006-4617-0082>

Роман В. Косов / Roman V. Kosov <https://orcid.org/0009-0001-0540-3410>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 504.05

DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-15



Экологический подход к проектированию объектов массового потребления как направление снижения потребления ресурсов

Ольга Е. Гаврилова, Людмила Л. Никитина, Наталья В. Тихонова, Юлия А. Коваленко

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Контактное лицо

Ольга Е. Гаврилова, кандидат педагогических наук, доцент, кафедра конструирования одежды и обуви, Казанский национальный исследовательский технологический университет; 420015 Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68.
Тел. +78432314196

Email gavrilovaoe@corp.knrtu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3597-9143>

Формат цитирования

Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Тихонова Н.В., Коваленко Ю.А. Экологический подход к проектированию объектов массового потребления как направление снижения потребления ресурсов // Юг России: экология, развитие. 2026. Т.21, N 1. С. 170-183.
DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-15

Получена 26 ноября 2025 г.

Прошла рецензирование 16 декабря 2025 г.

Принята 25 декабря 2025 г.

Резюме

Современное состояние и особенности функционирования производств легкой промышленности, а также особенности реализации товаров легкой промышленности требует внедрения ресурсосберегающих, экологически обоснованных подходов к процессам проектирования и производства изделий, позволяющих сохранить потребительский уровень качества и сократить количество отходов. Одним из перспективных направлений представляется эко-направление zero waste fashion, нацеленное на безотходное проектирование.

В статье рассматриваются апробированные направления проектирования швейных изделий с учетом максимально возможной минимизации отходов при раскрое. В основе данных разработок лежало обоснование расчетов элементарных деталей (модулей), организация пространственной формы изделий и формирование контура раскладки деталей в прямоугольной рамке в соответствии с геометрическими характеристиками материалов.

Представлены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность внедрения в производство указанных направлений проектирования, обсуждаются экологические и ресурсные аспекты применения экологического подхода на этапе проектирования в рамках задач цикличной экономики. Сделан вывод о целесообразности внедрения разработок в процесс производства на предприятиях швейной промышленности.

В условиях избытка отходов в виде бывших в употреблении предметов одежды, а также и межлекальных и концевых остатков на предприятиях швейной отрасли и роста экологической ответственности производителей и потребителей предложенные разработки позволяют повышать степень использования материалов, снизить процент отходов, а также расширить условия эксплуатации изделий, за счет этого продлить срок службы. Описанный подход экономически оправдан, обеспечивает хорошие потребительские характеристики при промышленном производстве образцов.

Ключевые слова

Экологический подход, отходы, проектирование, производство, лекала, раскладка, безотходное проектирование, безотходный крой.

The environmental approach to the design of mass consumption facilities as a way to reduce resource consumption

Olga E. Gavrilova, Ludmila L. Nikitina, Natalia V. Tikhonova and Yulia A. Kovalenko

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Principal contact

Olga E. Gavrilova, PhD, Associate Professor,
Department of Clothing and Footwear Design,
Kazan National Research Technological University;
68 Karl Marks St, Kazan, Russia 420015.

Tel. +78432314196

Email gavrilovaoe@corp.knrtu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3597-9143>

How to cite this article

Gavrilova O.E., Nikitina L.L., Tikhonova N.V.,
Kovalenko Yu.A. The environmental approach to
the design of mass consumption facilities as a way
to reduce resource consumption. *South of Russia:
ecology, development*. 2026; 21(1):170-183.
(In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2026-1-15

Received 26 November 2025

Revised 16 December 2025

Accepted 25 December 2025

Abstract

The current state and features of the functioning of light industry production facilities, as well as the features of the implementation of light industry goods, require the introduction of resource-saving, environmentally sound approaches to the design and production processes of products that allow the maintenance of consumer level of quality and reduction of the amount of waste. One of the promising concepts is the zero waste fashion concept, which aims to achieve zero waste design.

The article discusses tested directions of designing garments, taking into account the maximally possible minimisation of waste during cutting. The basis of these developments was the substantiation of calculations of elementary parts (modules), the organisation of the spatial form of products and the formation of the outline of the layout of parts in a rectangular frame in accordance with the geometric characteristics of materials.

Experimental data are presented, confirming the effectiveness of the implementation of these design directions in production. The environmental and resource aspects of applying an ecological approach at the design stage within the framework of the cyclical economy are discussed. It is concluded that introducing such developments into the production process at the enterprises of the garment industry is expedient.

In the context of an excess of waste in the form of used clothing items and inter-pattern and end-of-line residues at garment industry enterprises, as well as the growing environmental responsibility of manufacturers and consumers, the proposed developments allow increasing the degree of usage of materials, reducing the percentage of waste, and expanding conditions of operation of products, thereby extending service life. The described approach is economically justified and provides good consumer characteristics in the industrial production of samples.

Key Words

Environmental approach, waste, design, production, patterns, layout, waste-free design, waste-free cutting.

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды – одна из приоритетных задач нашей страны [1]. Несмотря на накопленный за несколько последних десятилетий опыт по реализации комплекса мероприятий по охране окружающей среды на уровне государства, на современном этапе своего развития легкая промышленность все еще оказывает значительное негативное влияние на окружающую среду [2].

Большинством исследователей как за рубежом, так и в нашей стране, отмечается основная причина такой ситуации – это преобладание в модной индустрии бизнес-модели «быстрая мода», результатом которой становится стабильное перепроизводство. Говоря о модной индустрии, необходимо под индустрией понимать все предприятия, включенные в переработку сырья и изготовление предметов народного потребления. Это и текстильные, и кожевенные, и швейные, и обувные, и галантерейные предприятия, и другие. Например, за последние десятилетия объемы производства одежды в мире увеличились в разы [3]. Ежегодно производится 53 млн. тонн одежды, 73 % которой или оказывается на свалках, или сжигается [3]. Объем отходов от производства одежды, включая нереализованную одежду, составляет более 90 млн. тонн. При этом большая часть отходов оказывается на свалках, несмотря на то что они могут быть переработаны. Многие компании не внедряют переработку в производственный цикл в виду того, что им выгоднее сжечь нераспроданный товар. Одежда и текстильные отходы на свалках могут лежать десятилетиями, выделяя в атмосферу отравляющие вещества [4]. Другим фактором загрязнения окружающей среды помимо свалок являются химические компоненты, используемые для производства не только синтетических, но и натуральных материалов и красителей, что приводит к загрязнению и истощению почвы и водных ресурсов, разрушению экосистем. Помимо этого, сырьем для производства синтетических материалов служат невозобновляемые ресурсы – нефть и уголь, которых используется в среднем 98 млн. тонн в год [3]. Негативное влияние на экологию помимо этого оказывают выбросы парниковых газов в атмосферу, возникающие в процессе производства текстильной продукции. До сих пор большая часть текстильной продукции не подвергается переработке [3].

Для улучшения экологии в мире принимается комплекс мер, включающий как непосредственно экологические и экономические, ориентированные главным образом на производителей, так и социальные, направленные на формирование экологического мышления в обществе и переход к «устойчивой моде», связанной с изменением принципов потребления: с рациональным подходом к выбору товаров и услуг, отказом от избыточного потребления и т.п. Современное развитие легкой промышленности характеризуется растущими требованиями не только к эстетическим и эксплуатационным свойствам изделий на фоне интенсивного потребления и сезонности спроса, но и к их экологическим характеристикам. Повышение экологичности выпускаемой продукции массового потребления является одним из важных трендов в промышленном производстве. Так в рекламе и маркировке продукции известных брендов спортивной

одежды и обуви, таких как Nike, Adidas и др., отмечаются те или иные аспекты экологичности самих изделий или их производства [5].

Несмотря на принимаемые меры к переходу к «устойчивой моде», большой сегмент потребителей из-за низкой стоимости продукции «быстрой моды» не готов к отказу от нерационального потребления, продолжая в большом количестве и приобретать, и выбрасывать на свалки одежду и обувь. Поэтому в мировой и отечественной легкой промышленности преобладают производства, ориентированные на выпуск изделий для массового потребителя в рамках быстрой моды. Решение обозначенных экологических проблем должно лежать в плоскости модернизации производств легкой промышленности. Инновации в области производств легкой промышленности могут стать решением экологических проблем [3]. В модной индустрии непрерывно ведется разработка технологий, которые бы способствовали формированию бизнес-модели, основанной на экологическом подходе. Поиск решений может быть эффективным в рамках функционирования циклической экономики [3] (экономика замкнутого цикла (circular economy)), которая предполагает использование возобновляемых ресурсов, продление срока эксплуатации товаров и возвращение в цикл уже использованных, безотходность производства. К основным принципам такой экономики относятся: исключение отходов на этапе проектирования (design out waste), удержание всех материалов, ресурсов, товаров как можно дольше в циклах (отказ от быстрой моды), восстановление экосистем и восполнение природных ресурсов.

В рамках данного исследования наибольший интерес представляет реализация первого принципа циклической экономики в контексте экологического подхода к проектированию объектов массового потребления. В настоящее время отечественные производители вынуждены вкладывать средства в утилизацию отходов, количество которых зависит от специфики технологических процессов и оценивается по различным параметрам. В соответствии с нормативами, установленными еще в советское время, отходы при раскрое не должны превышать 15 % [6], однако на практике в зависимости от особенности организации производства отходы могут составлять и вдвое больше, что говорит не только о существенных экономических убытках, но и об экологической нагрузке, обусловленной необходимостью утилизации отходов. Вопрос рационального использования ресурсов стоит остро. Таким образом, в условиях растущих требований к экологической отчетности предприятий для устойчивого развития промышленных предприятий необходимо внедрение ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий, направленных на снижение потребления ресурсов. В этой связи экологический подход к проектированию объектов массового потребления как направление снижения потребления ресурсов приобретает особую актуальность.

Таким образом, целью настоящего исследования является апробация экологически ориентированных направлений проектирования изделий массового потребления с учетом применения типовых технологий изготовления с сохранением потребительских свойств. Теоретическое обоснование выбранного подхода, его основные направления и пути

реализации, результаты апробации и систематизации ресурсосберегающих направлений проектирования швейных изделий, доступных для реализации в серийном производстве представлены в последующих разделах статьи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экологический подход является общенаучным подходом, ориентирующим в первую очередь на исследование и отражение отношений и взаимодействий организмов (в частном случае – человека) с окружающей средой. Он предполагает рассмотрение объектов и явлений в их взаимосвязях с окружающей средой и природой в целом. Экологический подход в контексте промышленного

производства включает в себя набор принципов и методов, направленных на минимизацию негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду. В настоящее время опубликовано большое число исследований как зарубежных, так и российских, посвященных тем или иным аспектам экологического подхода не только к организации производств, но и к проектированию изделий легкой промышленности [1–3; 5; 7–9].

Так, авторами Ж.А. Фот, А.А. Старовойтовой [1] разработана классификация эко-направлений в производстве одежды, представленная на рисунке 1, которая рассматривается в контексте их зарождения и развития.

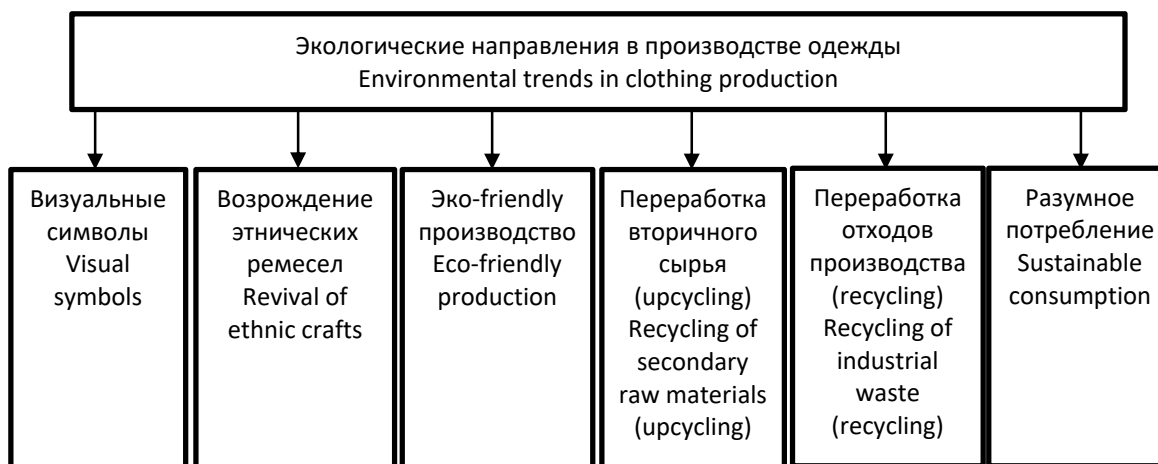


Рисунок 1. Классификация эко-направлений в производстве одежды (разработана Ж. А. Фот, А. А. Старовойтовой) [1]
Figure 1. Classification of eco-directions in clothing production (developed by Zh. Fot and A. Starovoytova) [1]

В статье А. А. Кулешовой, Д. И. Василюко, М. В. Дружининой выделяются такие принципы экологичного подхода в проектировании и производстве изделий легкой промышленности, как апсайклинг, ресайклинг, кастомайзинг, даунсайклинг, фрисайклинг, zero waste, «трешн» [10]. Суть апсайклинга заключается в переработке изделий, бывших в эксплуатации, и придании им новых эстетических качеств. Основу ресайклинга составляет переработка отходов и материалов для последующего их использования. При проектировании изделий в случае кастомайзинга задается возможность индивидуализации изделия для его преобразования в соответствии с потребностями потребителя на этапе производства, а также в процессе эксплуатации изделия. Даунсайклинг – разновидность ресайклинга, в основе которого переработка одного вида товара в сырьё для другого вида товаров. Фрисайклинг предусматривает обмен изделиями, не удовлетворившими ожидания потребителя. Трешн предполагает создание уникальных образцов изделий из материалов, непригодных для изготовления изделий легкой промышленности [10].

Zero waste fashion в различных источниках трактуется по-разному, в одних рассматривается как принцип, в других как концепция, в-третьих, как стратегия или даже стиль [10–14], которая в целом нацелена на уменьшение или полное исключение материальных отходов при производстве изделий и базируется на принципах сокращения, повторного использования и переработки. Она охватывает все

стадии жизненного цикла изделия, начиная от проектирования (дизайна и конструирования) и производства, заканчивая потреблением и утилизацией и предполагает обеспечение экологичности как самого изделия, так и производства, рациональное использование материалов и осознанное потребление.

Таким образом, к эко-направлениям в производстве одежды и в целом в швейной отрасли можно отнести направление безотходного проектирования (design out waste) концепции zero waste fashion. Безотходное проектирование можно рассматривать как часть более широкого направления «Возрождение этнических ремесел» по классификации Ж. А. Фот, А. А. Старовойтовой в виду того, что в любом этническом ремесле, в том числе и изготовлении одежды, реализуется принцип рационального использования материалов. Так, в Древней Греции и Индии костюм создавался из прямоугольного куска ткани путем драпировки, так же в создании костюмов большинства народов использовался прямолинейный крой, который позволял экономно использовать кусок ткани.

В настоящее время опубликовано множество статей, посвященных вопросам решения экологической проблемы снижения отходов производства, параллельно с достижением экономической целесообразности производств легкой промышленности на основе концепции zero waste fashion [10]. Достижение «нулевых отходов» в концепции zero waste fashion может осуществляться несколькими путями:

- разработкой конструкции изделия с конфигурацией деталей, обеспечивающих образование минимальных или нулевых межлекальных выпадов (отходов);

- разработкой изделий модульных конструкций, когда элементы изделия «слагаются» друг с другом, рационально используя всю площадь материала или позволяют создавать трансформирующиеся и ремонтнопригодные изделия;

- разработкой моделей ассортимента изделий из остатков или отходов материала, оставшихся от производства других моделей (переработкой остатков или отходов в изделия той же ассортиментной группы или в другие);

- разработкой многофункциональных или двухсторонних моделей одежды, позволяющих носить их разными способами или перевернуть, что увеличивает срок службы данных изделий и снижает отходы;

- выбором экологичных материалов, например, таких тканей, как органический хлопок, лен, конопля и т. п.;

- переходом от массового производства к индивидуальному или кастомному.

Необходимо отметить, что во многих публикациях, когда речь идет об использовании экологического подхода на этапе проектирования, говорят об экодизайне, т.е. проектировании продуктов (от простых предметов до сложных изделий), в конструкции которых проектными решениями системно учитываются, минимизируются или полностью предотвращаются негативные воздействия объекта проектирования на окружающую среду на всех материальных этапах его жизненного цикла [7–9; 15–18]. Отмечается, что совершенствование процесса экодизайна современного костюма требует формирования принципиально новых стратегий проектирования изделий, создающих экологически целесообразную среду обитания [15].

Несмотря на имеющиеся наработки в области экодизайна, в условиях перехода от линейной модели экономики к циклической производителями, главным образом, в процессе проектирования объектов массового потребления делается упор на выбор сырья и материалов с учетом их дальнейшей трансформации, на технологию изготовления, упаковку, разработку новых логистических схем доставки продукции конечным потребителям, способы утилизации товаров после использования и др. Малая часть промышленных предприятий, выпускающих одежду, ориентирована на выпуск изделий с нулевыми отходами и занимается внедрением принципиально новых разработок. Это связано с тем, что любое внедрение должно быть обусловлено экономически оправданной технологической реализуемостью [18].

Так, в условиях массового и серийного производства при традиционном подходе к проектированию конфигурация деталей, влияющая на процент межлекальных отходов, зависит от вычерчивания контуров границ сочленения деталей в местах разбиения сложной пространственной формы и последующего преобразования в соответствии с графическим изображением или натуральным образцом, в результате чего формируются сложные конфигурации, не позволяющие вписать раскладку в прямоугольную рамку материала таким образом, чтобы

максимально сократить обрезь и концевые остатки. Некоторые производители передают сотрудникам концевые остатки, чтобы не тратить финансы на содержание и утилизацию таких остатков. В безотходном проектировании одежды в отличие от стандартного, где дизайнерская задумка определяет раскладку лекал на полотне, сначала формируется раскладка, которая даст меньше потерь материала, а уже потом «подгоняются» контуры лекал под дизайн задуманной модели. Не все специалисты, дизайнеры и конструктора, владеют методикой безотходного проектирования, что ограничивает его применение в промышленном производстве.

Несмотря на использование современных цифровых инструментов (систем автоматизированного проектирования, программ 3D-визуализаторов) и оснащение производств автоматизированными раскройно-настилочными комплексами, позволяющими осуществить экономичный раскрой материалов, формируются огромные объемы отходов в швейной отрасли [19]. Криволинейный крой современной одежды не позволяет укладывать лекала на материале без образования межлекальных выпадов. Соответственно, основная масса отходов – это отходы после раскроя, которые, как правило, реализуются предприятиями в качестве ветоши, конечно, при условии возможности использования их в качестве таковой.

Таким образом, применение экологического подхода в проектировании изделий массового потребления базируется на механизмах сокращения отходов от раскроя и рациональном использовании концевых остатков раскройного производства [19]. Для эффективного сокращения отходов производства и опосредованного влияния на сокращение количества бытовых отходов в целом руководителям предприятий целесообразно уделять внимание и средства на внедрение элементов экодизайна.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках многолетней экспериментальной работы исследовалась возможность проектирования изделий с ориентацией на определенные конфигурации контуров деталей на основе задания малоотходности или безотходности раскладок. Одно из направлений – расчет размеров и числа элементарных фигур от размерных признаков фигуры и объемной формы изделия или возможной его трансформации в процессе эксплуатации или особенностей ношения. Данное направление эффективно сочетается с принципами проектирования рациональных ассортиментных серий «на одной основе», модульным принципом. В рамках данного направления были реализованы три варианта проектирования изделий.

В первом случае апробировались размеры крупных деталей-модулей, т.е. форма разбивалась на минимальное число частей относительно больших по площади [20; 21] для обеспечения прямоугольной конфигурации деталей и сохранения минимальной трудоемкости изготовления. При таком проектировании основная задача – обеспечение достаточно плотного прилегания краев деталей в раскладке. Трансформация, унификация, модульный метод, применение изотропных материалов позволяет обеспечить вместе с малоотходностью при раскрое и малооперационную технологию, быструю сменяемость моделей. Изделия,

спроектированные из крупных модулей по принципу безотходных раскладок, требуют небольшого уточнения посадки в процессе примерки благодаря увеличенным прибавкам на свободу облегания и вариативности способов ношения. В ассортименте таких изделий можно выделить блузы, платья, женское пальто, парки, куртки, изделия из трикотажа. Для апробации были выбраны женский плащ, женская куртка и женское пальто (рис. 2).

Приведенные примеры раскладок (рис. 3) [20; 21] подходят для стандартных ширин материалов.

Дополнительные детали моделей серии достраиваются дополнительно к исходной схеме раскладки. Конструкция апробирована на росте 158–164, размерах 88–96. Для следующих размеров размеры деталей необходимо пересчитать, в любом случае, раскладка деталей позволит получить абсолютно безотходный крой. Особенности композиционно-конструктивного решения моделей позволяют запроектировать вариативные конструкции и способы технологической обработки узлов.

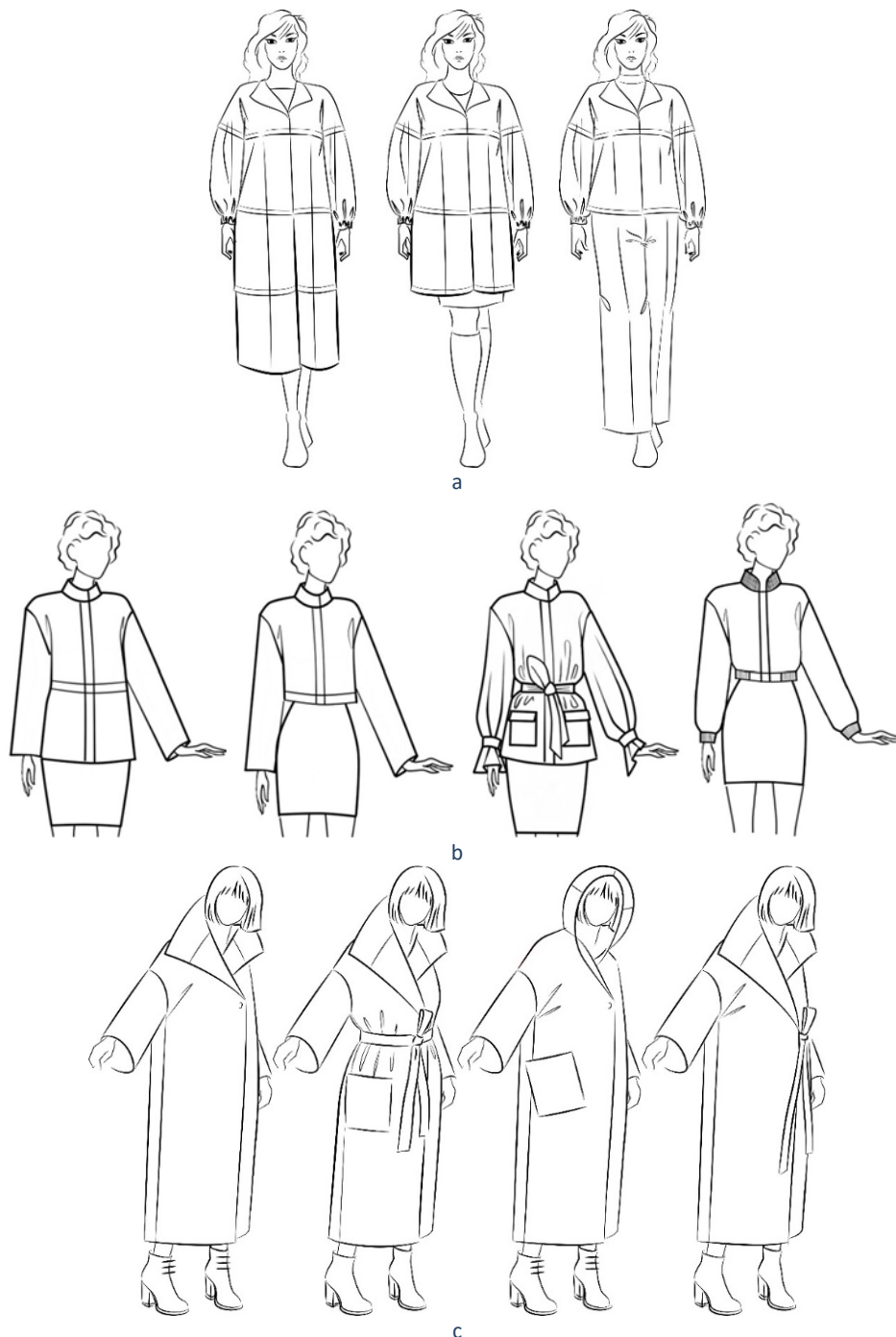


Рисунок 2. Эскизы моделей женской одежды с безотходным кроем из модулей больших размеров:

а – плаща, разработанного Ивановой В.Ц.; б – куртки, разработанной Федотовой Д.А.;

с – пальто, разработанного Никитиной Л.Л., Гавриловой О.Е.

Figure 2. Sketches of women's clothing models with waste-free cutting from large-sized modules:

a – a raincoat designed by V.Ts. Ivanova; b – a jacket designed by D.A. Fedotova;

c – a coat designed by L.L. Nikitina and O.E. Gavrilova

Во втором случае апробировались размеры малых модулей [22; 23] для создания возможности выкраивания деталей из межлекальных выпадов и концевых остатков с последующей их композиционной компоновкой. Определение и апробация оптимальных размеров малых геометрических модулей для создания безотходной конструкции проводилась на примере женского жилета-трансформера. Расчет модулей производился на основе базовой конструкции плечевого изделия, полученной по стандартной методике. Деление типовых деталей на модули

производилось с учетом единого размера всех модулей и опоры на высоту проймы, ширину рукава, ширину переда и спинки, ширину выреза горловины. Размер модуля выбирался максимально возможно большим, чтобы сохранить оптимальную трудоемкость изделия. Особое внимание проектировщика требуется не столько при размещении контуров модулей в межлекальных выпадах или концевых остатках, сколько при компоновке элементов разного цвета с разным рисунком ткани. Примеры изделий из модулей малых размеров, приведены на рисунке 4 [22; 23].

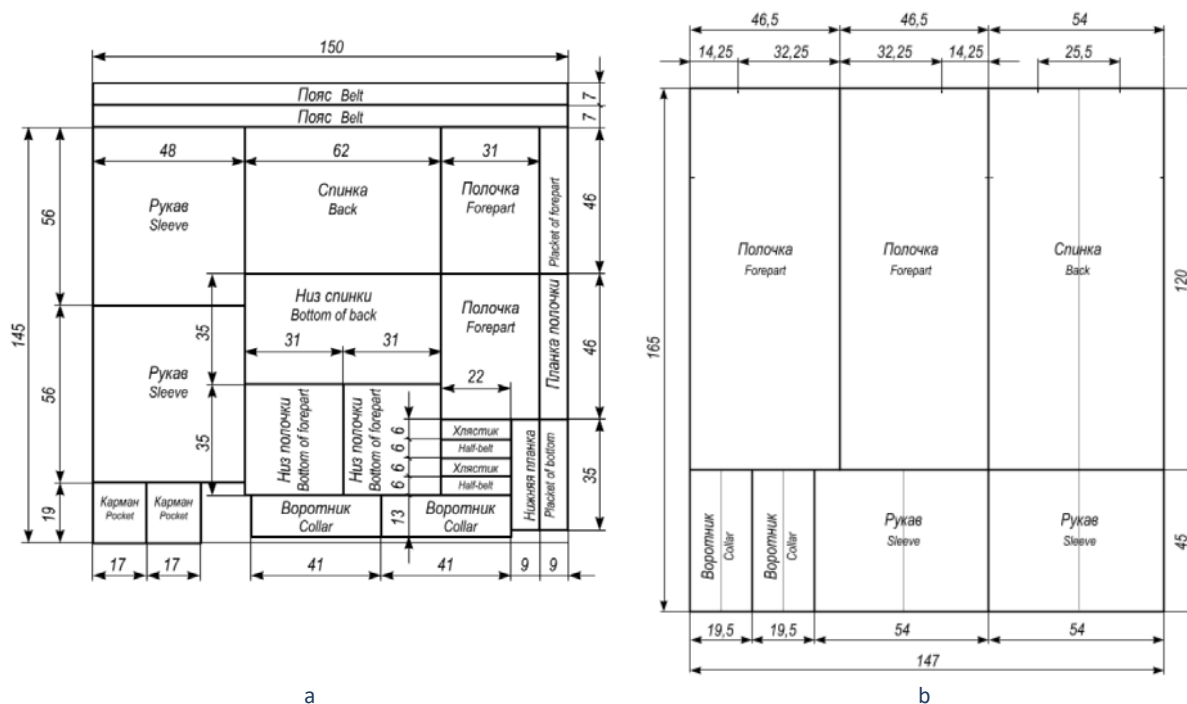


Рисунок 3. Пример раскладки деталей моделей женской одежды с безотходным кроем:

а – куртки; б – пальто

Figure 3. Example of layout of parts of women's clothing models with waste-free cutting:

а – jackets; б – coats

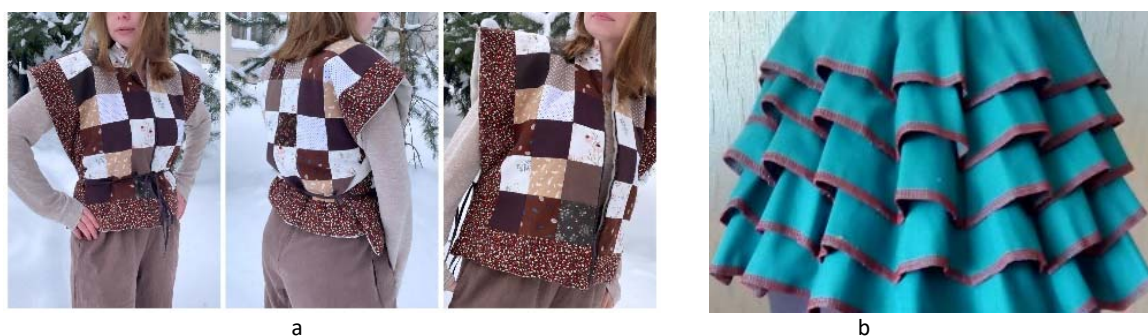


Рисунок 4. Пример изделий женской одежды с безотходным кроем из модулей малых размеров:

а – жилета, разработанного Сурковой К.Ю.; б – юбки для девочек, разработанной Исаевой Е.И.

Figure 4. An example of women's clothing with a waste-free cut from small-sized modules:

а – a vest designed by K.Yu. Surkova; б – a skirt for girls designed by E.I. Isaeva

В третьем случае определялись и апробировались оптимальные размеры и форма геометрических модулей разных размеров для создания безотходной конструкции на примере блузы. При этом размеры модулей напрямую рассчитывались от значений размерных признаков тела. Два квадратных модуля рассчитывались исходя из того, что диагональ малого

модуля является линией разреза и линией низа блузы, а диагональ большего – линией плеча (рис. 5). Были определены основные габаритные размеры, формулы для определения размеров сторон модулей в зависимости от размерных признаков фигуры. Примеры модулей и изображения блуз из двух модулей разных размеров приведены на рисунке 5 [22; 23].

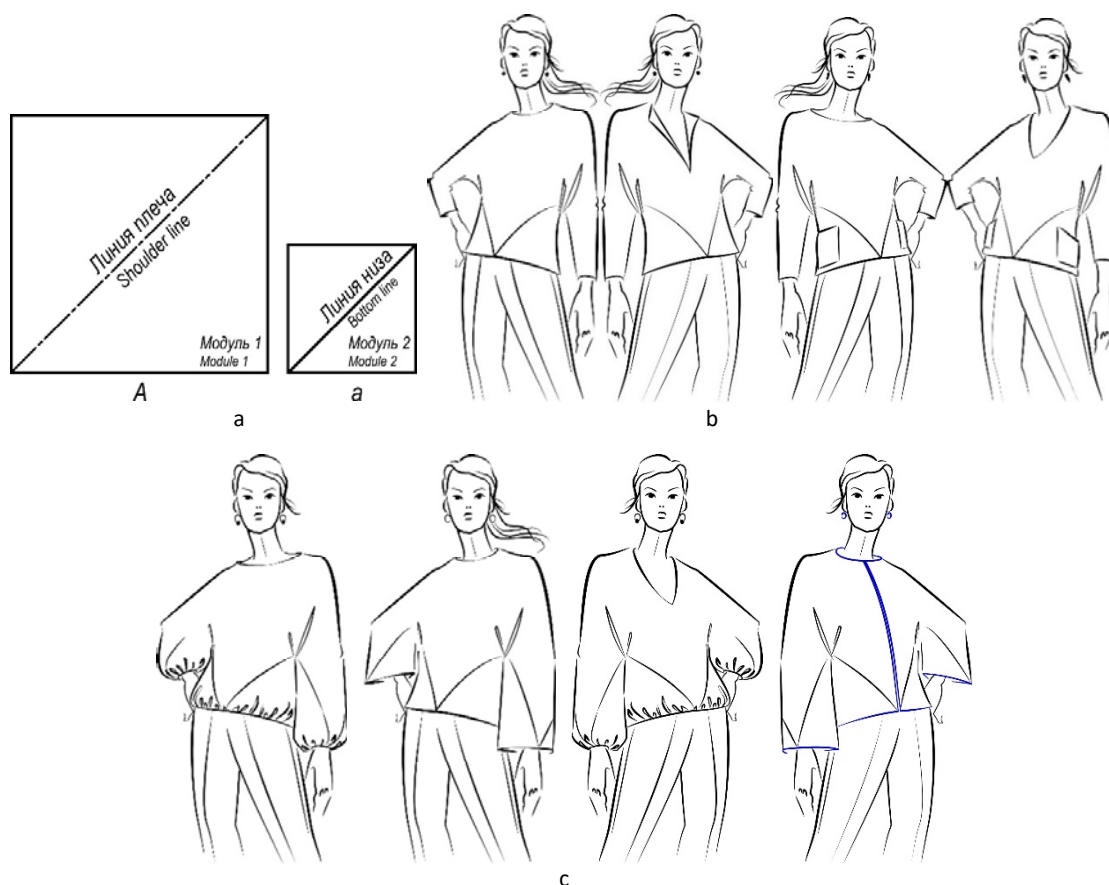


Рисунок 5. Женская блуза из модулей: а – виды модулей; б – варианты моделей блузы, полученные из двух (большого и малого) модулей; с – варианты моделей блузы, полученные из одного большого и двух малых модулей
Figure 5. Women's blouse made from modules: a – types of modules; b – blouse model options made from two (large and small) modules; c – blouse model options made from one large and two small modules

Получаемая форма будет зависеть от свойств и характеристик применяемого материала. При таком конструктивном решении целесообразно раскладку выполнять на два изделия сразу для фигур с обхватом бедер 134 см при ширине ткани 150 см и упрощенном способе определения размера стороны большого модуля и на четыре изделия для изделий с обхватом бедер 102 см. Полученные отходы в результате оформления линии низа рукава и горловины минимальны и составляют не более 3 %. При промышленном проектировании лекало большого модуля должно быть уже оформлено с линиями низа рукава, линией горловины и иметь припуски на технологическую обработку, а лекало малого модуля представлять треугольник. Для оптимизации раскладки определена необходимость введения второго малого модуля, который позволяет получать прямую форму рукава и оформлять линию низа рукава без отходов. Экспериментальная работа по определению рациональных размеров и форм безотходных модульных конструкций изделий, показала возможность многовариантного композиционного решения блузы на основе двух видов квадратных модулей (рис. 5, с). Так как лоскутное шитье уже достаточно давно известно, необходимо было продумать композиционно-конструктивные решения, соответствующие современным модным тенденциям и максимальной функциональности изделия. В рамках первого направления интересным представилось реализовать различные варианты трансформации

изделий и вариативность моделей в ассортиментной серии [24].

Другое направление – разработка малодетальных и однодетальных малоотходных и безотходных изделий с обеспечением минимальной трудоемкости изделия [25; 26]. Проектирование малодетальных конструкций нацелено на решение ряда задач современного экодизайна одежды: минимизация отходов производства; оригинальность формы; малооперационная технология производства; применение материалов, не требующих обработки срезов [25–27]. Авторами была апробирована последовательность получения развертки однодетальной конструкции жилета женского с фантазийным бортом и определены рациональные форма и размеры изделия. На рисунке 6 приведены эскизы изделий с апробированной однодетальной конструкцией [25]. Модели отличаются длиной, конфигурацией срезов, материалами.

В зависимости от длины и материала из данной конструкции можно получить топ, платье, жилет.

Преимуществами изделий является одна деталь конструкции, обеспечивающая минимальное количество межлекальных отходов и минимальную обработку (обработка края детали и проймы (ее исключение за счет свойств материала) и пришивание одной кнопки (обметывание петли, пришивание пуговицы)), оригинальность формы. Расчет конструкции и раскладки был апробирован на примере жилета женского для первой и второй полнотных групп.

Основными размерными признаками для расчета были определены обхват шеи (Т13), обхват груди (Т16), ширина груди (Т45), ширина спины (Т47), ширина плечевого ската (Т31), высота проймы сзади (Т39), длина спины до талии (Т40). Расчет конструкции может

производиться по упрощенной форме или посредством моделирования на основе базовой конструкции, полученной по любой методике (рис. 7). Полученные отходы минимальны.

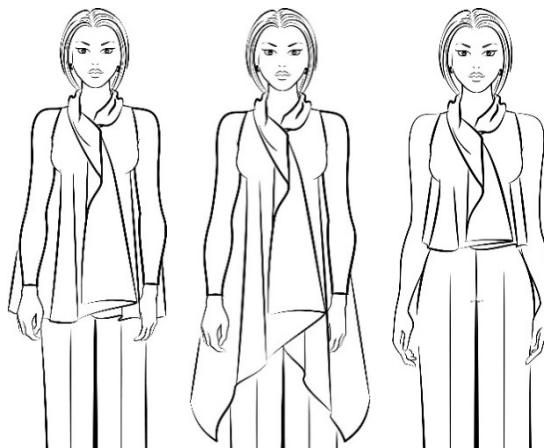


Рисунок 6. Варианты моделей однодетальных изделий различной длины, разработанных З.И. Мухлисовой
Figure 6. Options for one-piece products of different lengths, developed by Z.I. Mukhlisova

Экспериментальная работа проводилась для стандартных ширин материалов, чертеж детали рассчитан на диапазон размеров по обхвату груди от 80 до 96. В рамках данного направления наибольшее внимание было уделено обоснованию расчета параметров конструкции.

Еще одно направление – подбор ассортимента и составление раскладок материалов разных цветов исходя из конфигураций сочленяемых деталей, а также

размеров и качественных характеристик образующихся концевых остатков. В этом направлении работа осуществлялась малыми сериями или единичными экземплярами в зависимости от числа и размеров концевых остатков [28]. В данном направлении особое значение придавалось оригинальности и актуальности внешнего вида изделия с сохранением малоотходности раскладок.

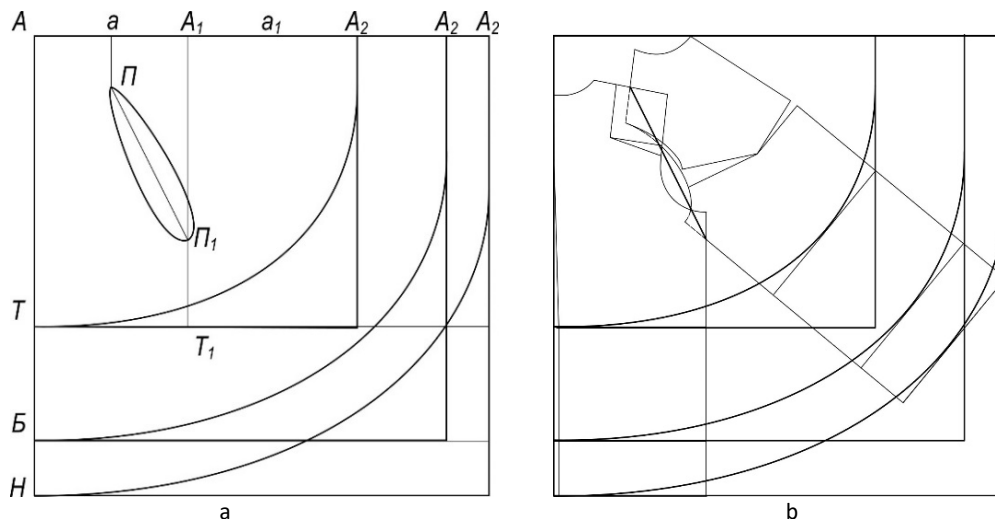


Рисунок 7. Схемы чертежей деталей изделий, разработанных Никитиной Л.Л., Гавриловой О.Е.:
 а – по упрощенной схеме с каплевидной проймой, б – посредством моделирования с проймой в виде разреза

Figure 7. Schematics of product part drawings developed by L.L. Nikitina and O.E. Gavrilova:
 a – according to a simplified scheme with a teardrop-shaped armhole, b – through modeling with an armhole in the form of a cut

Работа проектировщика состоит в гармоничном разбиении типовых конструктивных деталей на сегменты и их компоновке в соответствии с модными тенденциями. При этом конфигурация деталей может быть, как приближена в простым геометрическим фигурам, так и иметь оригинальную фигурную форму при условии прилегания контуров деталей в раскладке

максимально плотно с минимальными межлекальными потерями (рис. 8).

Апробированные направления безотходного проектирования швейных изделий, доступные для реализации в швейном производстве, выявленные как наиболее эффективные, представлены в таблице 1.

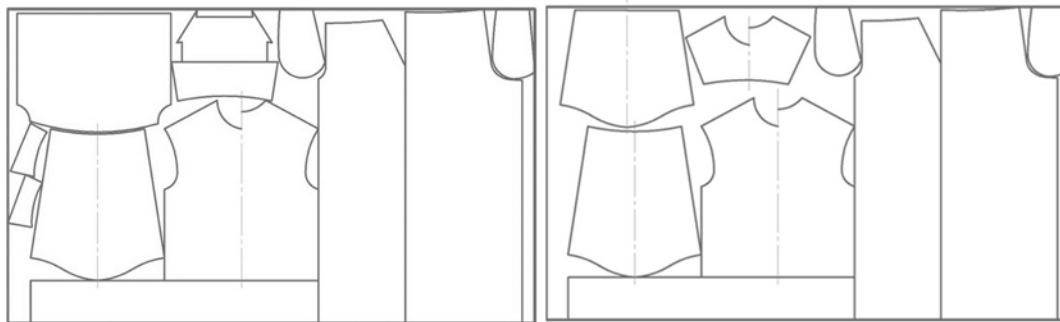


Рисунок 8. Схемы раскладок деталей костюма, состоящего из свитшота и брюк, для концевых остатков от раскроя для одной единицы костюма с включением деталей другого костюма, который будет компоноваться из разных цветов, разработанных Шварцкопф А.А.

Figure 8. Layout schemes for a costume consisting of a sweatshirt and trousers, for end scraps from cutting for one costume unit, including details from another costume that will be assembled from different colors, developed by A.A. Schwartzkopf

Сопоставление образцов изделий показало хорошие показатели внешнего вида готовых изделий и перспективность подхода к проектированию с учетом современных тенденций в отрасли. Таким образом, применение экологического подхода к производству швейных изделий обеспечивает комплексное улучшение

потребительских и производственных показателей качества. На основании полученных результатов можно утверждать, что экодизайн позволяет сократить количество межлекальных отходов при раскрое и реализовать концевые остатки различных размеров с сохранением потребительских характеристик изделий.

Таблица 1. Направления безотходного проектирования швейных изделий, доступные для реализации в серийном производстве

Table 1. Areas of waste-free sewing design that can be implemented in mass production

Направление безотходного проектирования Direction of waste-free design	Ассортиментные единицы Assortment units	Возможность запуска в серию Ability to launch a series	Возможность трансформации и унификации Possibility of transformation and unification
Проектирование модулей простой геометрической формы максимально допустимого размера Designing modules of a simple geometric shape of the maximum allowed size	Плащ женский, куртка женская, пальто утепленное женское Women's raincoat, women's jacket, women's insulated coat	+	+
Проектирование модулей простой геометрической формы малого размера Design of small-sized modules with simple geometric shapes	Жилет, куртка женская, юбка для девочек Vest, women's jacket, skirt for girls	-	+
Проектирование модулей простой геометрической формы разных размеров Designing modules of simple geometric shapes of different sizes	Блуза женская, платье, куртка женская Women's blouse, dress, and jacket	+	+
Разработка малодетальных и однодетальных малоотходных и безотходных изделий с обеспечением минимальной трудоемкости изделия Development of low-detail and single-detail low-waste and non-waste products with minimal product labor intensity	Жилет женский, юбка, поясные изделия, изделия детского ассортимента Women's vest, skirt, waist products, children's products	+	-
Подбор ассортимента и составление раскладок материалов разных цветов исходя из конфигураций сочленяемых деталей, размеров и качественных характеристик образующихся концевых остатков Selection of the assortment and layout of materials of different colors based on the configurations of the articulated parts, the sizes and quality characteristics of the resulting end residues	Куртка спортивная, трикотажные плечевые изделия, платье Sports jacket, knitted shoulder items, dress	-	-

Применительно к производствам легкой промышленности с позиции цикличной экономики и зелёных технологий, важнейшей задачей становится поиск форм и конструкций швейных изделий, обеспечивающих минимизацию отходов, долгий срок службы изделий, возможность серийного запуска и трансформации изделий в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные экологические проблемы человечества, связанные с загрязнением атмосферы, водных ресурсов, истощением природных ресурсов и накоплением отходов способна минимизировать целостная система ресурсосбережения. Загрязнение атмосферы минимизируется через регулирование промышленных выбросов; развитие возобновляемой энергетики; использование экологичных видов транспорта; озеленение. Загрязнение водных ресурсов возможно сократить посредством внедрения эффективных систем очистки; сокращения количества применяемых химикатов; разработки экологичных технологий для промышленности. Темпы истощения природных ресурсов возможно замедлить сокращением потребления некоторых ресурсов и повышением энергоэффективности, а также поддержанием земледелия. Накопление отходов, обусловленное ростом населения, урбанизацией, индустриализацией и ростом потребления, также создаёт реальную ощутимую угрозу экологии. Решением может стать внедрение системы раздельного сбора, вторичной переработки отходов, пропаганда разумного потребления, а также экологический подход к проектированию объектов массового потребления.

В качестве основных принципов такого подхода можно выделить: использование экологически чистых материалов, стремление к энергоэффективности с учётом минимизации энергопотребления, сохранение природных ресурсов и минимизация отходов производства.

Для решения задачи снижения накопления отходов на уровне промышленности необходим комплексный подход, включающий разработку дизайн-проектов с использованием экологичных технологий, обеспечение мобильности производственных процессов, внедрение технологий ресурсосбережения, организация специальных участков переработки вторсырья в актуальные, востребованные изделия. Задачи проводимого исследования включали изучение перспективных сегментов экодизайна в производстве одежды, сформировавшихся под влиянием экологического подхода, определение перспектив применения принципов эко-дизайна в промышленном проектировании и производстве одежды. Экологический подход на этапе проектирования изделий способствует более осознанному потреблению ресурсов предприятиями с обеспечением эстетических показателей изделий и продукции, а также потребителями с сохранением привычного разнообразия структуры гардероба.

В процессе исследования апробированы образцы изделий, разработанные в рамках направления безотходного и малоотходного проектирования изделий легкой промышленности, что позволило систематизировать подход к проектированию таких изделий, принцип расчета

размеров деталей, оценить некоторые отдельные качества получаемых изделий, в том числе эксплуатационные и эстетические. Результаты исследования подтверждают перспективность применения безотходного проектирования в условиях серийного и массового производства. Экологический подход к проектированию объектов массового потребления является эффективным направлением снижения потребления ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фот Ж.А., Старовойтова А.А. Эко-направления в дизайне одежды – как вектор инновационного развития швейного производства // Костюмология. 2021. Т. 6. N 1. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/14TLK121.pdf> (дата обращения: 23.08.2025)
2. Баранова А.Ф., Мамедов С.Н., Погодина И.В. Экологические проблемы текстильной промышленности и пути их решения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. N 4(382). С. 170–174.
3. Добронравова Ю.А. Устойчивая индустрия моды в ЕС: роль эко-инноваций // Beneficium. 2019. N 2(31). С. 4–12.
4. Мода и свалки: трагические цифры – Второе дыхание. Фонд. URL: <https://vtoroe.ru/2018/11/15/moda-i-svalki-tragicheskie-tsifry/> (дата обращения: 28.08.2025)
5. Чернова Д.В. Основные принципы экодизайна // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2021. N 2. С. 210–214.
6. Труханова А.Т. Справочник молодого швейника. М.: Высшая школа, 1993. 431 с.
7. Падалко О.В., Горбатова Р.К. Экодизайн – инструмент минимизации отходов в источнике образования // Твердые бытовые отходы. 2012. N 10(76). С. 12–17.
8. Попова Е.В. Экодизайн как фактор развития циркулярной экономики // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. N 9-1(77). С. 142–145.
9. Бутунина Л.В. Экодизайн – решение проблем экологии // Аксиологические проблемы педагогики. 2022. N 13. С. 27–33.
10. Кулешова А.А., Василиско Д.И., Дружинина М.В. Экологические и инновационные подходы в формообразовании современного костюма // Костюмология. 2023. Т. 8. N 1. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/02IVKL123.pdf> (дата обращения: 28.08.2025)
11. Филатов В.В., Гордеева Т.А., Самсонова В.В., Дубоносова Е.А. Инновационные стартапы мировых брендов одежды из эко-материалов и переработанного пластика в стиле zero waste fashion // Журнал прикладных исследований. 2023. N 11. С. 59–69.
12. Tan B. Zero waste strategies and Turkey's zero waste project // Environmental Research and Technology. 2021. V. 4. N 1. P. 97–101.
13. Петряшова М.В., Рашева О.А. Ретроспектива концепций дизайна одежды zero waste // Материалы Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016)», Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии», 2016. С. 153–157.
14. Гайсина Р.Ш. «ZERO WASTE» как направление безотходного производства при проектировании одежды // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2023. N 3(9). С. 145–150.

15. Данилова О.Н., Петушкова Г.И. Инновационные технологии экодизайна костюма // *Дизайн и технологии*. 2011. N 23(65). С. 5–12.
16. Овчинникова Ю.П., Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Москова А.Е. Экодизайн в разработке унифицированного модельного ряда швейных изделий // *Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности»*, Казань, 16–20 мая, 2022. С. 148–149.
17. Еременко И.Д., Никитина Л.Л., Гаврилова О.Е. Обзор основных подходов экодизайна // *Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности»*, Казань, 16–20 мая, 2022. С. 145–147.
18. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л. Модульные конструкции в современном костюме как решение актуальных задач экодизайна // *Костюмология*. 2021. Т. 6. N 2. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/12TLKL221.pdf> (дата обращения: 23.08.2025)
19. Фот Ж.А., Водяницкая А.В. Перспективы развития предприятий швейной отрасли в условиях эко-моды // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Лёгкая промышленность и сфера сервиса: проблемы и перспективы»*, Омск, 24–25 ноября, 2020. С. 122–125.
20. Иванова В.Ц., Гаврилова О.Е. Конструктивные приемы ресурсосбережения в производстве одежды // *Сборник научных статей «Актуальные вопросы реализации инженерно-педагогического образования молодежи»*, Чебоксары, 2017. С. 65–69.
21. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Тихонова Н.В., Федотова Д.А. Реализация принципов безотходного кроя при проектировании современной женской одежды // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2022. Т. 55. N 1. С. 19–23.
22. Суркова К.Ю., Гаврилова О.Е. Творческие мастер-классы, как способ организации процесса переработки текстильных отходов // *Материалы докладов международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ИСТАИ-2023)»*, Витебск, 09–10 ноября 2023, 2024. С. 72–76.
23. Никитина Л.Л., Гаврилова О.Е., Исаева Е.И. Перспективы использования модульного метода в процессе промышленного проектирования изделий легкой промышленности // *Вестник Казанского технологического университета*. 2017. Т. 20. N 11. С. 70–74.
24. Никитина Л.Л., Гаврилова О.Е., Тихонова Н.В. Поиск рациональных размеров и форм безотходных модульных конструкций в промышленном проектировании костюма // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2021. Т. 54. N 4. С. 29–34.
25. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Тихонова Н.В., Мухлисова З.И. Проектирование однодетальной конструкции женского плечевого изделия рациональных форм и размеров для промышленного производства // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2023. Т. 62. N 4. С. 58–63.
26. Лисаневич М.С., Иванов В.В., Волошина Т.А., Коваленко Ю.А., Гаврилова О.Е., Тихонова Н.В. Разработка конструкции спасательного конверта для новорожденных // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2023. N 6(408). С. 176–182.
27. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л. Перспективные направления реализации малодетальных конструкций изделий легкой промышленности // *Материалы I Всероссийской научной конференции с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности»*, Казань, 25–28 апреля, 2023. С. 151–154.
28. Шварцкопф А.А. Рациональное использование выпадов после кроя на производстве // *Сборник конкурсных работ на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ «Жить в XXI веке – 2024»*, Казань, 2024. С.568–572.

REFERENCES

- Fot Zh.A., Starovoitova A.A. [Eco-trends in clothing design as a vector of innovative development in the garment industry]. *Kostumologiya*, 2021, vol. 6, no 1. (In Russian) Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/14TLKL121.pdf> (accessed: 23.08.2025)
- Baranova A.F., Mamedov S.N., Pogodina I.V. Environmental Problems of the Textile Industry and Their Solutions. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti*. [Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of the Textile Industry]. 2019, no. 4(382), pp. 170–174. (In Russian)
- Dobronravova Yu.A. Sustainable Fashion Industry in the EU: The Role of Eco-Innovations. *Beneficium [Beneficium]*. 2019, no. 2(31), pp. 4–12. (In Russian)
- Moda i svalki: tragicheskie tsifry – Vtoroe dykhanie. Fond [Fashion and Landfills: Tragic Numbers – Second Breath. Foundation]* (In Russian) Available at: <https://vtoroe.ru/2018/11/15/moda-i-svalki-tragicheskie-tsifry/> (accessed: 28.08.2025)
- Chernova D.V. The Basic Principles of Ecodesign. *Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizaina [Bulletin of Young Scientists of the St. Petersburg State University of Technology and Design]*. 2021, no 2, pp. 210–214. (In Russian)
- Trukhanova A.T. *Spravochnik molodogo shveinika [Handbook of a Young Tailor]*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1993, 431 p. (In Russian)
- Padalko O.V., Gorbatova R.K. Ecodesign as a Tool for Minimizing Waste at the Source of Generation. *Tverdye bytovye othody [Solid Household Waste]*. 2012, no. 10(76), pp. 12–17. (In Russian)
- Popova E.V. Ecodesign as a Factor in the Development of a Circular Economy. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire [Current Scientific Research in the Modern World]*. 2021, no. 9-1(77), pp. 142–145. (In Russian)
- Butunina L.V. Ecodesign – the Solution of Environmental Problems. *Aksiologicheskie problemy pedagogiki [Axiological Problems of Pedagogy]*. 2022, no. 13, pp. 27–33. (In Russian)
- Kuleshova A.A., Vasilisko D.I., Druzhinina M.V. [Ecological and Innovative Approaches in the Forming of Modern Costume]. *Kostumologiya*, 2023, vol. 8, no. 1. (In Russian) Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/02IVKL123.pdf> (accessed: 28.08.2025)
- Filatov V.V., Gordeeva T.A., Samsonova V.V., Dubonosova E.A. Innovative Startups of Global Clothing Brands Made from Eco-Friendly Materials and Recycled Plastic in the Zero Waste Fashion Style. *Zhurnal prikladnykh issledovaniy [Journal of Applied Research]*. 2023, no. 11, pp. 59–69. (In Russian)
- Tan B. Zero waste strategies and Turkey's zero waste project. *Environmental Research and Technology [Environmental Research and Technology]*. 2021, vol. 4, no. 1, pp. 97–101.
- Petryashova M. V., Rasheva O. A. Retrospektiva kontseptsii dizaina odezhdy zero waste [A retrospective of zero waste fashion design concepts]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dizain, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noi i legkoi promyshlennosti (INNOVATSII-2016)»*, Moskva, 2016 [Materials of the International scientific and technical conference "Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS-2016)", Moscow, 2016]. Moscow, 2016, pp. 153–157. (In Russian)

14. Gaisina R.Sh. "ZERO WASTE" as a direction of waste-free production in the design of clothing. *Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. 2023, no. 3(9), pp. 145–150. (In Russian)
15. Danilova O.N., Petushkova G.I. Innovative technologies of eco-design of a costume. *Dizain i tekhnologii [Design and Technologies]*. 2011, no. 23(65), pp. 5–12. (In Russian)
16. Ovchinnikova Yu.P., Gavrilova O.E., Nikitina L.L., Moskova A.E. Ekhodzain v razrabotke unifitsirovannogo model'nogo ryada shveinykh izdelii [Ecodesign in the development of a unified range of sewing products]. *Materialy XVIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s ehlementami nauchnoi shkoly dlya studentov i molodykh uchenykh «Novye tekhnologii i materialy legkoi promyshlennosti»*, Kazan', 16–20 maya, 2022 [Proceedings of the XVIII All-Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists "New technologies and materials of light industry industry", May 16–20, 2022]. Kazan, 2022, pp. 148–149. (In Russian)
17. Eremenko I. D., Nikitina L. L., Gavrilova O. E. Obzor osnovnykh podkhodov ehkodizaina [Review of the main approaches to ecodesign]. *Materialy XVIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s ehlementami nauchnoi shkoly dlya studentov i molodykh uchenykh «Novye tekhnologii i materialy legkoi promyshlennosti»*, Kazan', 16–20 maya, 2022 [Proceedings of the XVIII All-Russian scientific and practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists "New technologies and materials of light industry", Kazan, 16–20 May, 2022]. Kazan, 16–20 May, 2022, pp. 145–147. (In Russian)
18. Gavrilova O.E., Nikitina L.L. [Modular Structures in Modern Costume as a Solution to Current Problems of Ecodesign]. *Kostumologiya*, 2021, vol. 6, no. 2, (In Russian) Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/12TLKL221.pdf> (accessed: 23.08.2025)
19. Fot Zh.A., Vodianskaya A.V. Perspektivy razvitiya predpriyatii shveinoi otrasli v usloviyakh ehko-mody [Prospects for the development of clothing industry enterprises in the context of eco-fashion]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Legkaya promyshlennost' i sfera servisa: problemy i perspektivy»*, Omsk, 24–25 noyabrya, 2020 [Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation "Light industry and service sector: problems and prospects", Omsk, November 24–25, 2020]. Omsk, 2020, pp. 122–125. (In Russian)
20. Ivanova V.Ts., Gavrilova O.E. Konstruktivnye priemy resursosberezheniya v proizvodstve odezhdy [Constructive resource-saving techniques in clothing production]. *Sbornik nauchnykh statei «Aktual'nye voprosy realizatsii inzhenerno-pedagogicheskogo obrazovaniya molodezhi»*, Cheboksary, 2017 [Collection of scientific articles "Actual issues of the implementation of engineering and pedagogical education of youth", Cheboksary, 2017]. Cheboksary, 2017, pp. 65–69. (In Russian)
21. Gavrilova O.E., Nikitina L.L., Tikhonova N.V., Fedotova D.A. Implementation of the principles of a waste-free cut in the design of modern women's clothing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya legkoi promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of Light Industry]*. 2022, vol. 55, no. 1, pp. 19–23. (In Russian)
22. Surkova K.Yu., Gavrilova O.E. Tvorcheskies master-klassy, kak sposob organizatsii protsessa pererabotki tekstil'nykh otkhodov [Creative workshops as a way to organize the process of textile waste recycling]. *Materialy dokladov mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Innovatsii v tekstile, odezhde, obuvi (ICTAI-2023)»*, Vitebsk, 09–10 noyabrya 2023 [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Innovations in Textiles, Clothing, and Footwear (ICTAI-2023)", Vitebsk, November 9–10, 2023]. Vitebsk, 2024, pp. 72–76. (In Russian)
23. Nikitina L.L., Gavrilova O.E., Isaeva E.I. Prospects for using the modular method in the process of industrial design of light industry products. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*. 2017, vol. 20, no. 11, pp. 70–74. (In Russian)
24. Nikitina L.L., Gavrilova O.E., Tikhonova N.V. Search for rational sizes and forms of waste-free modular structures in industrial costume design. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya legkoi promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of Light Industry]*. 2021, vol. 54, no. 4, pp. 29–34. (In Russian)
25. Gavrilova O.E., Nikitina L.L., Tikhonova N.V., Mukhlisova Z.I. Design of a One-Piece Structure of a Female Shoulder Product with Rational Shapes and Sizes for Industrial Production. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya legkoi promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of Light Industry]*. 2023, vol. 62, no. 4, pp. 58–63. (In Russian)
26. Lisanevich M.S., Ivanov V.V., Voloshina T.A., Kovalenko Yu.A., Gavrilova O.E., Tikhonova N.V. Development of a Rescue Envelope for Newborns. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya legkoi promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of Light Industry]*. 2023, no. 6(408), pp. 176–182. (In Russian)
27. Gavrilova O.E., Nikitina L.L. Perspektivnye napravleniya realizatsii malodetal'nykh konstruksii izdelii legkoi promyshlennosti [Promising Directions for Implementing Small-Scale Designs of Light Industry Products]. *Materialy I Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Novatsii v protsessakh proektirovaniya i proizvodstva izdelii legkoi promyshlennosti»*, Kazan', 25–28 aprelya, 2023 [Materials of the 1st All-Russian Scientific Conference with International Participation "Innovations in the Design and Production of Light Industry Products", Kazan, April 25–28, 2023]. Kazan, 2023, pp. 151–154. (In Russian)
28. Shvartskopf A.A. Ratsional'noe ispol'zovanie vypadov posle kroya na proizvodstve [Rational Use of Strikes After Cutting in Production]. In: *Sbornik konkursnykh rabot na luchshuyu nauchno-issledovatel'skuyu rabotu studentov i aspirantov KNITU «Zhit' v XXI veke – 2024»*, Kazan', 2024 [Collection of Competitive Papers for the Best Research Work of Students and Postgraduate Students of KNRTU "Living in the 21st Century – 2024", Kazan, 2024]. Kazan, 2024, pp. 568–572. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Е. Гаврилова, Людмила Л. Никитина, Наталья В. Тихонова, Юлия А. Коваленко осуществляли сбор данных и анализ результатов экспериментальной работы. Ольга Е. Гаврилова, Людмила Л. Никитина подготовили рукопись и систематизировали полученные результаты. Наталья В. Тихонова корректировала рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga E. Gavrilova, Ludmila L. Nikitina, Natalia V. Tikhonova and Yulia A. Kovalenko collected data and analysed the results of the experimental work. Olga E. Gavrilova and Ludmila L. Nikitina prepared the manuscript and systematised the results. Natalia V. Tikhonova edited the manuscript. All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга Е. Гаврилова / Olga E. Gavrilova <https://orcid.org/0000-0003-3597-9143>

Людмила Л. Никитина / Ludmila L. Nikitina <https://orcid.org/0000-0003-2687-2299>

Наталья В. Тихонова / Natalia V. Tikhonova <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>

Юлия А. Коваленко / Yulia A. Kovalenko <https://orcid.org/0000-0002-9050-3394>

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Учредитель (соучредители) журнала:

ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

Издатель:

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»
Адрес издателя: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е

Адрес редакции: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Главный редактор

Шестопалов Александр Михайлович, доктор биологических наук, профессор

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала
по контактам:

Гусейнова Надира Орджоникидзева, к.б.н., доцент,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»

можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

Founders of journal:

The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Publisher:

Dagestan State University
367000, Russia, Makhachkala, 59e M. Yaragskogo str.,

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Editor-in-Chief

Alexander M. Shestopalov, Doctor of Biological Sciences, Professor

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:

36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Цена свободная.

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 05.05.2026 г.

Объем 184 стр. Тираж 100. Заказ № 10

Формат 70x90%. Печать офсетная.

Бумага офсетная № 1.

Тиражировано в типографии издательства ДГУ
по адресу: г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е