

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



Том 20 № 2 2025

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ:

ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.20 no. 2 2025

SOUTH OF RUSSIA:

ECOLOGY, DEVELOPMENT

Журнал «Юг России: экология, развитие» входит в Перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) 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

Асадулаев Загирбег Магомедович, Горный ботанический сад, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

Гаджиев Алимурад Ахмедович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Кочуров Борис Иванович, Институт географии Российской академии наук (Москва, Россия)

Рабазанов Нухкади Ибрагимович, Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

Научный редактор

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

Ответственные секретари

Гасангаджиева Азиза Гусейновна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Гусейнова Надира Орджоникидзева, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

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 Абулхасумович, 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

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

Alimurad A. Gadzhiev, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Boris I. Kochurov, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Nukhkadi I. Rabazanov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

Scientific Editor

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

Editorial Executive Secretaries

Aziza G. Gasangadzhieva, 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)

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)

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)

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

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

Джамбулатов З.М., Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова (Махачкала, Россия)

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

Замотайлов А.С., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, 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)

Лобковский Л.И., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (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)

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

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

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

Трифонов 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)

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

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

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

Zaidin M. Dzhamdulatov, M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University (Makhachkala, Russia)

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

Aleksandr S. Zamotailov, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, 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)

Leopold I. Lobkovskiy, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (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)

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

Глущенко А. В., Юрченко К. С., Адаменко Л.С., Каркавин Ю.И. Молекулярно-биологические свойства штамма вируса болезни Ньюкасла вирулентного генотипа VII, первые выделенного в 2008 году от дикой утки на территории Республики Адыгея.....	6-13
Казачинская Е.И., Величко В.В., Романова В.Д., Круглов Д.С., Прокушева Д.Л., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Фу Л., Шао Ш., Гуляева М.А., Шестопалов А.М. Инактивирующая и ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов полыни (<i>Artemisia</i> spp.) на вирус простого герпеса второго типа <i>in vitro</i>	14-36
Бабошко Д.А., Даудова М.Г., Ачигечева П.Ю., Елфимов К.А., Дандамаев Д.К., Шахбанова З.Р., Тотменин А.В., Гашникова Н.М. Генетическое разнообразие вируса лейкоза крупного рогатого скота и его распространение в районах Республики Дагестан.....	37-53

ЗООЛОГИЯ

Саитов В.Р., Губейдуллина А.Х., Голубев А.И., Сальникова М.М., Малютин Л.В., Шакурова Н.В., Нигметзянов И.Р., Еловицкая А.С., Кашеваров Г.С., Юсупова К.А., Сибен А.Н., Ефремова Е.А., Бонина О.М., Удальцов Е.А. Обзор клещей паразитов рептилий, входящих в состав отряда Mesostigmata.....	54-68
Шило В.А., Юдкин В.А., Фролов И.Г., Климова С.Н. Опыт реинтродукции глухаря (<i>Tetrao urogallus</i>) и рябчика (<i>Tetrastes bonasia</i>) в Новосибирской области.....	69-79
Мануков Ю.И., Протасова Д.П., Щелканов Е.М. Результаты многолетнего мониторинга численности ворона (<i>Corvus corax</i> L., 1758) в лесопарках Москвы и Подмосквья.....	80-87
Иваницкий А.Н., Маслов А.А. Новые сведения по хироцерофауне Восточного Крыма.....	88-95

ЭКОЛОГИЯ

Елаев Э.Н., Алексеева А.А., Мокров А.А., Елаева Н.Г. Редкие, «краснокнижные» виды растений и животных Байкальской Сибири под охраной Конвенции СИТЕС (в контексте устойчивого развития).....	96-106
Марковина С.С., Колесниченко Е.А., Яковенко Н.В., Шешницан С.С., Водолажский А.Н. Лесовосстановление и углеродный баланс лесных экосистем Центральной лесостепи Европейской части России: вызовы и перспективы устойчивого развития.....	107-124

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Руденко В.Д., Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Фитопатологический скрининг и идентификация генов <i>Lr</i> в сортах пшеницы и тритикале озимых русской селекции.....	125-139
Сулейманова Ф.В., Асадулаев З.М., Исмаилов А.Б. Свидина южная как ресурсный вид Дагестана.....	140-152

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Особенности биогеоцикла и динамики углерода в ландшафтном экотоне «горы – равнины» (на примере Карбонового полигона Чеченской Республики).....	153-164
Молчатский С.Л. Особенности использования «Свободного программного обеспечения» для расчёта фрактальной размерности бассейнов водных объектов.....	165-175
Бакинова Т.И., Кованова Е.С., Павлова Н.Ц. Экологические ограничения аграрной деятельности в контексте устойчивого развития территорий Республики Калмыкия.....	176-184
Караулов В.М., Каранина Е.В., Гаджиев Н.Г. Оценка экологической эффективности при достижении целей устойчивого развития субъектов РФ.....	185-194

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Джалилов Х.Н., Кадыров З.А., Омарова С.М., Царуева Т.В., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н., Магомедова У.А. Эколого-эпидемиологические аспекты антибактериальной терапии пациентов старшей возрастной группы с хроническим бактериальным простатитом, ассоциированным с гиперплазией простаты.....	195-202
Ибатуллина А.Р., Красина И.В., Антонова М.В., Бронская В.В., Кабыш М.С. Экологизация мышления студентов как фактор развития текстильной отрасли.....	203-210

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	211
------------------------------------	-----

VIROLOGY

Glushchenko A.V., Yurchenko K.S., Adamenko L.S., Karkavin Yu.I.

Molecular and biological properties of the Newcastle disease virus strain of virulent genotype VII, first isolated in 2008 from a wild duck in the Republic of Adygea, Russia.....6-13

Kazachinskaya E.I., Velichko V.V., Romanova V.D., Kruglov D.S., Prokusheva D.L., Chepurinov A.A., Kononova Yu.V., Fu L., Shao Sh., Gulyaeva M.A., Shestopalov A.M.

Inactivating and inhibitory activity of dry ethanol extracts of wormwood (*Artemisia* spp.) on herpes simplex virus of the 2 type *in vitro*.....14-36

Baboshko D.A., Daudova M.G., Achigecheva P.Y., Elfimov K.A., Dandamaev D.K., Shakhbanova Z.R., Totmenin A.V., Gashnikova N.M.

Genetic diversity of bovine leukemia virus and its distribution in the regions of the Republic of Dagestan, Russia.....37-53

ZOOLOGY

Saitov V.R., Gubeidullina A.H., Golubev A.I., Salnikova M.M., Malutina L.V., Shakurova N.V., Nigmatzyanov I.R., Elovitskaya A.S., Kashevarov G.S., Yusupova K.A., Siben A.N., Efremova E.A., Bonina O.M., Udaltsov E.A.

Review of ticks of the order Mesostigmata parasitic on reptiles.....54-68

Shilo V.A., Yudkin V.A., Frolov I.G., Klimova S.N.

The experience of reintroduction of western capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*) in the Novosibirsk Region, Russia.....69-79

Manukov Yu.I., Protasova D.P., Shchelkanov E.M.

The results of long-term monitoring of the abundance of the raven (*Corvus corax* L., 1758) in the forest parks of Moscow and the Moscow region.....80-87

Ivanitzky A.N., Maslov A.A.

New information on the chiropteroфаuna of Eastern Crimea.....88-95

ECOLOGY

Yelaev E.N., Alekseeva A.A., Mokrov A.A., Yelaeva N.G.

Rare, "Red Book" species of plants and animals in Baikal Siberia under CITES protection (in the context of sustainable development).....96-106

Morkovina S.S., Kolesnichenko E.A., Yakovenko N.V., Sheshnitsan S.S., Vodolazhskiy A.N.

Reforestation and carbon balance of forest ecosystems in the central forest-steppe of the European part of Russia: Challenges and prospects for sustainable development.....107-124

BIOLOGICAL RESOURCES

Rudenko V.D., Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F.

Phytopathological screening and identification of *Lr* genes in wheat varieties and winter triticale of Russian selection.....125-139

Suleimanova F.V., Asadulaev Z.M., Ismailov A.B.

Swida australis as a resource species of Dagestan.....140-152

GEOECOLOGY

Gunya A.N., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh.

Features of the biogeocycle and carbon dynamics in the landscape ecotone "mountains – plains" (using the example of the carbon polygon of the Chechen Republic, Russia).....153-164

Molchatsky S.L.

Using "Free Software" to calculate the fractal dimension of hydrographic basins.....165-175

Bakinova T.I., Kovanova E.S., Pavlova N.Ts.

Environmental restrictions of agricultural activities in the context of sustainable development of the territories of the Republic of Kalmykia.....176-184

Karaulov V.M., Karanina E.V., Gadzhiev N.G.

Assessment of environmental efficiency in achieving sustainable development goals of the constituent entities of the Russian Federation.....185-194

GENERAL PROBLEMS

Dzhalilov Kh.N., Kadyrov Z.A., Omarova S.M., Tsarueva T.V., Dzhalilova A.N., Dzhalilova D.N., Magomedova U.A.

Ecological and epidemiological aspects of antibacterial therapy of older patients with chronic bacterial prostatitis associated with prostatic hyperplasia.....195-202

Ibatullina A.R., Krasina I.V., Antonova M.V., Bronskaya V.V., Kabyshev M.S.

Greening of students' thinking as a factor in development of the textile industry.....203-210

CONTACT INFORMATION.....211

Оригинальная статья / Original article
УДК 578
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-1



Молекулярно-биологические свойства штамма вируса болезни Ньюкасла вирулентного генотипа VII, впервые выделенного в 2008 году от дикой утки на территории Республики Адыгея

Александра В. Глущенко, Ксения С. Юрченко, Любовь С. Адаменко, Юрий И. Каркавин

Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины (ФИЦ ФТМ), Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Александра В. Глущенко, научный сотрудник, лаборатория экспериментальной онкологии и испытания фармацевтических средств, НИИ Вирусологии, Федеральный Исследовательский Центр Фундаментальной и Трансляционной Медицины (ФИЦ ФТМ); 630060 Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2.
Тел. +79134696677
Email rimmaaltai2017@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5784-0073>

Формат цитирования

Глущенко А. В., Юрченко К. С., Адаменко Л. С., Каркавин Ю. И. Молекулярно-биологические свойства штамма вируса болезни Ньюкасла вирулентного генотипа VII, впервые выделенного в 2008 году от дикой утки на территории Республики Адыгея // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20, N 2. С. 6-13.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-1

Получена 7 февраля 2025 г.
Прошла рецензирование 26 марта 2025 г.
Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: исследовать некоторые биологические свойства полученного штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Adygea/duck/12/2008, определить степень вирулентности, провести филогенетическое исследование.

Биологический материал от диких перелетных птиц был собран в 2008 г. в сезон охоты. Изоляция и культивирование выделенных штаммов были проведены в системе развивающихся курных эмбрионов (РКЭ). Первичную идентификацию, подтверждающую наличие геммагглютинирующего агента в аллантоисной жидкости, проводили в реакции гемагглютинации (РГА). Патогенность оценивали методами MDT и ICPI. Было проведено секвенирование, филогенетический анализ, определен генотип исследуемого штамма.

Представлены результаты, изучения основных биологических свойств штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Adygea/duck/12/2008, выделенного от дикой перелетной птицы на территории Южного федерального округа. Согласно проведенному филогенетическому исследованию, штамм NDV/Adygea/duck/12/2008 принадлежит к генотипу VII генетическому классу 2. Тестами определения степени вирулентности MDT и ICPI, а также молекулярно-генетическим исследованием описанный штамм был отнесен к высокопатогенной группе.

Ключевые слова

Вирус болезни Ньюкасла, парамиксовирусы птиц, дикие перелетные птицы, велогенный штамм, VII генотип.

Molecular and biological properties of the Newcastle disease virus strain of virulent genotype VII, first isolated in 2008 from a wild duck in the Republic of Adygea, Russia

Alexandra V. Glushchenko, Kseniya S. Yurchenko, Lyubov S. Adamenko and Yuriy I. Karkavin

Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Alexandra V. Glushchenko, Researcher, Laboratory of Experimental Oncology and Pharmaceutical Testing, Research Institute of Virology, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630060.

Tel. +79134696677

Email rimmaaltai2017@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5784-0073>

How to cite this article

Glushchenko A.V., Yurchenko K.S., Adamenko L.S., Karkavin Yu.I. Molecular and biological properties of the Newcastle disease virus strain of virulent genotype VII, first isolated in 2008 from a wild duck in the Republic of Adygea, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):6-13. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-1

Received 7 February 2025

Revised 26 March 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. To study some biological properties of the obtained strain of Newcastle disease virus NDV/Adygea/duck/12/2008, including the degree of virulence, and to conduct a phylogenetic study.

Biological material from wild migratory birds was collected in 2008 during the hunting season. Isolation and cultivation of the isolated strains were carried out in the system of developing chicken embryos (RCE). Primary identification confirming the presence of a hemagglutinating agent in the allantoic fluid was carried out in the hemagglutination reaction (HR). Pathogenicity was assessed by MDT and ICPI methods. Sequencing, phylogenetic analysis, the genotype of the studied strain was determined. The results of studying the main biological properties of the Newcastle disease virus strain NDV/Adygea/duck/12/2008, isolated from wild migratory birds in the Southern Federal District, are presented. According to the phylogenetic study, the NDV/Adygea/duck/12/2008 strain belongs to genotype VII and genetic class 2. The MDT and ICPI virulence tests, as well as the molecular genetic study, classified the described strain as highly pathogenic.

Key Words

Newcastle disease virus, avian paramyxoviruses, wild migratory birds, velogenic strain, genotype VII

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Ньюкасла (БН) – это высоко контагиозная вирусная инфекция различных птиц, как домашних, так и диких видов. Инфекция в связи с высокой степенью контагиозности и летальности для птицеводческой отрасли является значительной эпизоотической угрозой. Всемирной организации по охране здоровья животных (ВОЗЖ) болезнь Ньюкасла внесена в перечень особо опасных болезней. Возбудитель заболевания – вирулентные штаммы вируса болезни Ньюкасла (ВБН), семейства Paramyxoviridae рода Avulavirus. Всемирная организация здравоохранения животных (ВОЗЖ) определяет Болезнь Ньюкасла как птичий парамиксовирус 1 типа с интрацеребральным индексом патогенности (ICPI) от 0,7 и выше, также важным параметром выступает аминокислотный состав сайта протеолитической активации белка слияния F [1].

Вирус болезни Ньюкасла это РНК-вирус, с несегментированным геномом. Кодировать шесть структурных белков: нуклеопротеин (NP), фосфопротеин (P), матриксный белок (M), белок слияния (F), гемагглютинин-нейраминидаза (HN), большой полимеразный белок (L), и два вспомогательных белка (V, W) [2].

Проблема борьбы с БН актуальна для многих стран, так на данный момент болезнь Ньюкасла широко распространена практически на всех материках и является одной из основных причин экономического ущерба для птицеводческой отрасли. Это заболевание занимает третье место по значимости среди домашних птиц, оно было зарегистрировано в 109 странах-членах Всемирной организации по охране здоровья животных [3]. В России БН является контролируемой инфекцией для промышленных птицеводческих хозяйств, но наблюдается периодическая регистрация новых вспышек. Частое инфицирование даже у вакцинированных птиц может быть обусловлено нарушением плана и методики вакцинации, так же возможной причиной является изменение биологических свойств вируса в ходе мутаций [4; 5].

На основании молекулярно-генетического анализа штаммы вируса болезни Ньюкасла (ВБН) относят к двум классам. К I классу трем субгенотипам относят штаммы с высоким уровнем идентичности [6]. Подавляющее большинство штаммов класса I непатогенны для кур. Но в 1990-х годах был выделен штамм ВБН I класса в Ирландии, который являлся причиной возникшей вспышки БН [7–9].

Ко II классу 21 генотипу относят штаммы БН с различным уровнем вирулентности, имеющие широкую распространенность. Такие штаммы выделяют во всем мире. На территории России в популяциях птиц различных экологических групп чаще выделяют штаммы БН II класса I, VI и VII генотипов [10; 11]. В последние годы штаммы генотипа VII все чаще выделяют у сельскохозяйственной птицы. Так же наблюдается увеличение круга хозяев. Так, к генотипу VII стали восприимчивы птицы отряда гусеобразные. Генотип VII подразделяется на три субгенотипа [12], в то время как генотипы I, V, VI, VII, XII, XIII, XIV и XVIII подразделяются на несколько субгенотипов [13–15].

VII.1.1 генотип был причиной четвертой панзоотии ВБН включающей прежние субгенотипы VIIb, VIId, VIIe, VIIj и VIII; субгенотип VIIf считается отдельным субгенотипом, VII.1.2. Группы вирусов, участвовавших в пятой панзоотии NDV, поразившем Африку, Азию,

Ближний Восток и Европу были объединены в единый субгенотип VII.2. Преобладающим субгенотипом NDV в Египте является VIId (VII.1.1), что привело к нескольким вспышкам среди домашней птицы [16–18].

В связи с увеличением случаев выделения вируса болезни Ньюкасла VII генотипа в странах Азии, и на территории Российской Федерации, нами была исследована рабочая коллекция ВБН, выделенных от диких перелетных птиц. Был обнаружен штамм ВБН генотипа VII, выделенный в 2008 г. от дикой птицы. Данная работа посвящена сравнительному исследованию штамма рабочей коллекции с вирусами, выделяемыми в настоящее время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор образцов и изоляция вируса

Сбор образцов биологического материала проводился в рамках мониторинга вируса птичьего гриппа, в период сезонов охоты. Пробы материала транспортировали в отдельных пробирках в жидком азоте до места исследования – лаборатория 2-го уровня биологической безопасности (biosafety level-2) [19]. Первичное исследование проводили в системе развивающихся 10-дневных куриных эмбрионов (РКЭ) методом инокуляции в аллантаическую полость. Наличие ВБН в аллантаической жидкости было определено реакцией полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР) со специфическими праймерами [20; 21].

Вируленность штаммов ВБН была выявлена общепризнанными тестами: интрацеребральный индекс патогенности (ICPI) на суточных цыплятах и среднее время смерти (MDT) 10-дневных РКЭ согласно стандартным лабораторным методикам, описанным в рекомендациях Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO). Результаты теста ICPI были интерпретированы через индексы от 0 до 2, где 0 – авирулентный, а 2 – высоковирулентный для цыплят. Результаты MDT теста по часам от заражения до смерти РКЭ от 90 часов и более. Так непатогенные штаммы не приводят к гибели эмбрионов.

Секвенирование и филогенетический анализ APMV

Выделение РНК было выполнено с использованием набора SV Total RNA Isolation System ("Promega Corporation", США) в соответствии с инструкцией производителя. Реакцию обратной транскрипции проводили с праймерами Random dN6 с использованием AMV обратной транскриптазы ("Fermentas", Литва). Секвенирование выполняли со специфическими праймерами [20]. Продукты амплификации очищали, используя набор QIAquick PCR purification kit ("QIAGEN", США). ДНК секвенировали при помощи BigDye Terminator v3.1 kit ("Applied Biosystems", США) на автоматическом секвенаторе 3130xl Genetic Analyzer ("Applied Biosystems", США).

Для филогенетического анализа использовали полную кодирующую последовательность F гена по системе максимального правдоподобия с использованием модели нуклеотидных замен General Time Reversible с проведением bootstrap-теста при 1000 итерациях. Определение генотипов проводилось с применением ранее полученных данных. Далее в BLAST были подобраны штаммы со сходными последовательностями, с которыми было построено филогенетическое дерево с полученными штаммами.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2008 году было получено в различных регионах от диких птиц различных видов и исследовано 1547 образцов биологического материала. Из общего количества образцов методом ОТ-ПЦР был выделен штамм NDV/Adygea/duck/12/2008 в Республике Адыгея наряду с другими 8 штаммами ВБН. У исследуемого штамма были изучены некоторые биологические свойства. Так, была выявлена высокая степень вирулентности тестами MDT значения которого составило 50 ч. и ICPI, с индексом 1,55. Для

дополнения результатов тестов также была определена одна из основных детерминант вирулентности – аминокислотная последовательность сайта расщепления F-белка исследуемого штамма, которая содержала замены, характерные для велогенных штаммов (112RRQKRF117). Таким образом, генетический анализ подтвердил результаты вирусологических исследований определения уровня вирулентности штамма NDV/Adygea/duck/12/2008 (табл. 1).

Таблица 1. Биологическая характеристика исследуемого штамма**Table 1.** Biological characteristics of the strain studied

Штамм Strain	MDT	ICPI	Сайт расщепления F белка F protein cleavage site	Степень вирулентности Degree of virulence
NDV/Adygea/duck/12/2008	50ч.	1.55	112RRQKRF117	Велогенный Velogenic

Филогенетический анализ показал, что исследуемый штамм был отнесен ко II классу, генотипу VII субгенотипу 1.1. (рис. 1). Вирусы этой группы обладают генетическим разнообразием, имеют широкий круг хозяев и широкий спектр патогенности.

Сегодня все чаще ВБН нового VII генотипа, состоящего из высокопатогенных штаммов, являются причиной возникновения вспышек БН на территории Азии и Ближнего Востока. Этот генотип был обнаружен после 1960 г. Именно VII генотип послужил причиной возникновения IV и V панзоотии в Индонезии, Азии, Европе, Африке, на Ближнем Востоке, где согласно литературным данным, является эндемичным [21].

В результате проведенного филогенетического анализа было установлено, что исследуемый штамм NDV/Adygea/duck/12/2008 относится ко второму классу генотипу VII субгенотипу 1.1. Штамм впервые выделен в данном регионе от дикой перелетной птицы.

Согласно проведенному анализу, было выявлено родство исследуемого штамма со штаммами, выделенными на территориях стран, находящихся в Юго-Западной и Юго-Восточной Азии (рис. 1), где в последнее время все чаще регистрируется выявление вируса БН генотипа VII от птиц разных видов [22–24]. В публикациях описывается предположение что обнаружение ВБН на исследуемых территориях возможно из-за проходящих по этим территориям пролетных путей, соединяющих территорию юга Азии с Россией, которыми пользуется огромное количество мигрирующих птиц-основных переносчиков ВБН.

На исследуемой территории пересекаются несколько основных пролетных маршрутов (рис. 2), используемых огромным количеством диких перелетных птиц во время сезонных миграций. Концентрированию большого количества птиц на ограниченной территории способствуют географические особенности местности, а именно большое количество пресноводных водоемов, используемых птицами для кратковременного отдыха и гнездования. Совокупность таких факторов создает благоприятные условия для обмена патогеном между различными популяциями и дальнейшего распространения его на различные расстояния.

Так же концентрация мигрирующих птиц обусловлена “Кавказско-Каспийским миграционным коридором” [25].

Возможно, исследуемый случай выделения штамма NDV/Adygea/duck/12/2008 связан с заносом патогена на территорию России перелетными птицами. В таком случае возможно распространение штамма по территории России с вероятными возникновениями вспышек среди домашней птицы.

Так же на случай возможного заноса ВБН VII генотипа на территорию России и распространения заболевания среди домашней птицы указывает опубликованная статья о зарегистрированной в 2022 г. болезни Ньюкасла в Московской области в личном подсобном хозяйстве. Причиной вспышки послужил высокопатогенный штамм ВБН VII генотипа 1.1 субгенотипа. Возможными переносчиками инфекции являются дикие птицы, контактировавшие с домашней птицей [26].

В подтверждение этой гипотезы выступают полученные ранее нами результаты исследований об основной роли диких перелетных птиц в распространении различных вирусов, в том числе вируса болезни Ньюкасла и передачи его домашним видам птиц [27].

Таким образом, заносы вируса болезни Ньюкасла на территорию Южного федерального округа России дикими перелетными птицами и возможное распространение на соседние регионы, может привести к усложнению эпизоотической ситуации, а именно увеличению локальных вспышек, с дальнейшим распространением по всей территории Российской Федерации.

Поэтому необходимо регулярно проводить мониторинг ВБН среди диких перелетных птиц, как основных переносчиков исследуемого патогена для увеличения получаемой информации о циркулирующем варианте вируса болезни Ньюкасла для контроля за эпизоотологической ситуацией в стране.

Стоит отметить особенности применяемых профилактических препаратов. В птицеводческой отрасли распространенным вакцинным штаммом является LaSota, который относится ко 2 классу генотипу II. В поисковой системе Pubmed расположены

публикации о низкой эффективности вакцинных препаратов на основе штамма LaSota против инфекции, вызванной штаммами БН VII генотипа. Вероятно, это следствие антигенных различий между штаммами

нового VII генотипа и вакцинным штаммом LaSota II генотипа, и, как следствие ежегодные вспышки заболевания у вакцинированных сельскохозяйственных птиц [28].



Рисунок 1. Филогенетическое дерево гена F, штамм, описанный в данном исследовании – ●

Figure 1. Phylogenetic tree of the F gene strain described in this study – ●

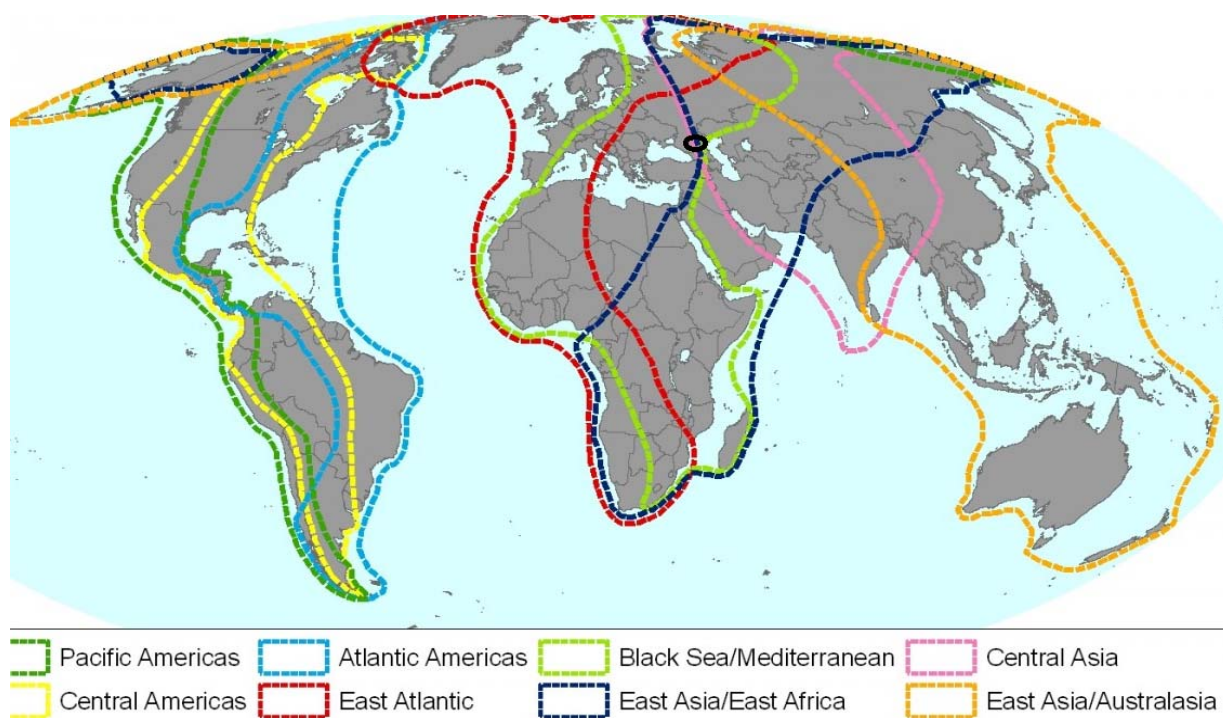


Рисунок 2. Основные пролетные пути диких птиц. Исследуемая территория отмечена знаком – ●

Figure 2. The main global flight paths of wild birds. Area under study is marked – ●

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье был описан случай выделения вируса болезни Ньюкасла VII генотипа в 2008 г. от дикой перелётной птицы на территории Южного федерального округа (Республика Адыгея). Описано распространение генотипа VII в странах, находящихся в Юго-Западной и Юго-Восточной Азии среди диких перелетных птиц различных видов, способных распространять патоген на значительные расстояния, в том числе в Российскую Федерацию. Это подтверждает необходимость проведения регулярного мониторинга исследуемого патогена среди диких перелетных птиц различных видов с целью проведения противоэпизоотических мероприятий.

БЛАГОДАРНОСТЬ

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

ACKNOWLEDGEMENT

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. Mayo M.A. A summary of taxonomic changes recently approved by ICTV // *Arch. Virol.* 2002. V. 147. P. 1655–1633. <https://doi.org/10.1007/s007050200039>
2. Aldous E.W., Mynn J.K., Banks J., Alexander D.J. A molecular epidemiological study of avian paramyxovirus type 1 (Newcastle disease virus) isolates by phylogenetic analysis of a partial nucleotide sequence of the fusion protein gene // *Avian*

Pathology. 2003. V. 32. N 3. P. 239–56. doi:

10.1080/030794503100009783

3. OIE. *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. 7th ed. Paris, France: Office International des Epizooties, 2012. P. 19.

4. Absalon A.E., Cortes-Espinosa D.V., Lucio E., Miller P.J., Afonso C.L. Epidemiology, control, and prevention of Newcastle disease in endemic regions: Latin America // *Trop. Anim. Health Prod.* 2019. V. 51. P. 1033–1048. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01843-z>

5. Kapczynski D.R., Afonso C.L., Miller P.J. Immune responses of poultry to Newcastle disease virus // *Dev. Comp. Immunol.* 2013. V. 41. P. 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2013.04.012>

6. Ren S., Xie X., Wang Y. Molecular characterization of a Class I Newcastle disease virus strain isolated from a pigeon in China // *Avian Pathology.* 2016. V. 45. N 4. P. 408–417.

7. Hoque M.A., Burgess G.W., Karo-Karo D. Monitoring of wild birds for Newcastle disease virus in North Queensland, Australia // *Preventive Veterinary Medicine.* 2012. V. 103. N 1. P. 49–62.

8. Kim L.M., King D.J., Curry P.E. Phylogenetic diversity among low-virulence Newcastle disease viruses from waterfowl and shorebirds and comparison of genotype distributions to those of poultry origin isolates // *Journal of Virology.* 2007. V. 81. N 22. P. 12641–12653.

9. Alexander D.J., Campbell G., Manvell R.J. Characterisation of an antigenically unusual virus responsible for two outbreaks of Newcastle disease in the Republic of Ireland in 1990 // *Veterinary Record.* 1992. V. 130. N 4. P. 65–68.

10. Dimitrov K.M., Abolnik C., Afonso C.L., Albina E., Bahl J., Berg M., Briand F.-X., Brown I.H., Choi K.-S., Chvala I. Updated unified phylogenetic classification system and revised nomenclature for Newcastle disease virus // *Infect. Genet. Evol.* 2019. V. 74. Article id: 103917. doi: 10.1016/j.meegid.2019.103917

11. Steensels M., Soldan C., Rauw F., Roupie V., Lambrecht B. Protective efficacy of classical vaccines and vaccination protocols against an exotic Newcastle disease virus genotype VII.2 in Belgian layer and broiler chickens // *Poult. Sci.* 2024. V.

- 104(1). Article id: 104604.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104604>
12. Xue C., Cong Y., Yin R., Sun Y., Ding C., Yu S., Liu X., Hu S., Qian J., Yuan Q. Genetic diversity of the genotype VII Newcastle disease virus: Identification of a novel VIIj sub-genotype // *Virus genes*. 2017. V. 53. P. 63–70. <https://doi.org/10.1007/s11262-016-1404-0>
13. Dimitrov K.M., Abolnik C., Afonso C.L., Albina E., Bahl J., Berg M., Briand F.-X., Brown I.H., Choi K.S., Chvala I. Updated unified phylogenetic classification system and revised nomenclature for Newcastle disease virus // *Infect. Genet.* 2019. V. 74. Article id: 103917.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.103917>
14. Dimitrov K., Dong-Hun L., Williams-Coplin D., Olivier T., Miller P., Afonso C. Newcastle Disease Viruses Causing Recent Outbreaks Worldwide Show Unexpectedly High Genetic Similarity with Historical Virulent Isolates from the 1940's // *J. Clin. Microbiol.* 2016. V. 54(5). P. 1228–35. doi: 10.1128/JCM.03044-15
15. Diel D.G., da Silva L.H., Liu H., Wang Z., Miller P.J., Afonso C.L. Genetic diversity of avian paramyxovirus type 1: Proposal for a unified nomenclature and classification system of Newcastle disease virus genotypes // *Infect. Genet.* 2012. V. 12. Iss. 8. P. 1770–1779.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.07.012>
16. Abolnik C., Mubamba C., Wandrag D.B., Horner R., Gummow B., Dautu G., Bisschop S.P. Tracing the origins of genotype VII h Newcastle disease in Southern Africa // *Transbound. Emerg. Dis.* 2018. V. 65. P. 393–403.
<https://doi.org/10.1111/tbed.12771>
17. Mapaco L.P., Monjane I.V., Nhamusso A.E., Viljoen G.J., Dundon W.G., Achá S.J. Phylogenetic analysis of Newcastle disease viruses isolated from commercial poultry in Mozambique (2011–2016) // *Virus Genes*. 2016. V. 52. P. 748–753. <https://doi.org/10.1007/s11262-016-1362-6>
18. Molini U., Aikukutu G., Khaiseb S., Cattoli G., Dundon W.G. First genetic characterization of Newcastle disease viruses from Namibia: Identification of a novel VIIk subgenotype // *Arch. Virol.* 2017. V. 162. P. 2427–2431.
<https://doi.org/10.1007/s00705-017-3389-y>
19. The National Training Course on Animal Influenza Diagnosis and Surveillance, Harbin, 20–26 May 2001. Harbin, 2001. P. 25–27.
20. Mia Kim L., Suarez D.L., Afonso C.L. Detection of a broad range of class I and II Newcastle disease viruses using a multiplex real-time reverse transcription polymerase chain reaction assay // *J. Vet Diagn Invest.* 2008. V. 20(4). P. 414–425.
21. Miller P.J., Decanini E.L., Afonso C.L. Newcastle disease: Evolution of genotypes and the related diagnostic challenges // *Infect. Genet. Evol.* 2010. V. 10. (1). P. 26–35.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2009.09.012>
22. Ghalyanchilangeroudi A., Hosseini H., Jabbarifakhr M., Fallah Mehrabadi M.H., Najafi H., Ghafouri S.A., Mousavi F.S., Ziafati Z., Modiri A. Emergence of a virulent genotype VIIi of Newcastle disease virus in Iran // *Avian Pathology*. 2018. V. 47(5). P. 509–519. doi: 10.1080/03079457.2018.1495313
23. Twabela A.T., Nguyen L.T., Masumu J., Mpoyo P., Mpiana S., Sumbu J., Okamatsu M., Matsuno K., Isoda N., Zecchin B. et al. A New Variant among Newcastle Disease Viruses Isolated in the Democratic Republic of the Congo in 2018 and 2019 // *Viruses*. 2021. V. 13(2). Article id: 151.
<https://doi.org/10.3390/v13020151>
24. Ababneh M., Ferreira H.L., Khalifeh M., Suarez D.L., Afonso C.L. First Genome Sequence of Newcastle Disease Virus of Genotype VIII from Jordan // *Microbiol Resour Announc.* 2018. V. 7. N 23. <https://doi.org/10.1128/MRA.01136-18>
25. Вилков Е.В. Структура и экология птиц Внутригорного Дагестана // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. N 1. С. 40–62. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-40-62>
26. Rtishchev A., Treshchalina A., Shustova E., Boravleva E., Gambaryan A. An Outbreak of Newcastle Disease Virus in the Moscow Region in the Summer of 2022 // *A. Vet. Sci.* 2023. V. 10. Article id: 404. <https://doi.org/10.3390/vetsci10060404>
27. Murashkina T., Sharshov K., Gadzhiev A. Avian Influenza Virus and Avian Paramyxoviruses in Wild Waterfowl of the Western Coast of the Caspian Sea (2017–2020) // *Viruses*. 2024. V. 16. Article id: 598.
<https://doi.org/10.3390/v16040598>
28. Miller P.J., King D.J., Afonso C.L., Suarez D.L. Antigenic differences among Newcastle disease virus strains of different genotypes used in vaccine formulation affect viral shedding after a virulent challenge // *Vaccine*. 2007. V. 25 (41). P. 7238–7246. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.07.017>

REFERENCES

1. Mayo M.A. A summary of taxonomic changes recently approved by ICTV. *Arch. Virol.*, 2002, vol. 147, pp. 1655–1633.
<https://doi.org/10.1007/s007050200039>
2. Aldous E.W., Mynn J.K., Banks J., Alexander D.J. A molecular epidemiological study of avian paramyxovirus type 1 (Newcastle disease virus) isolates by phylogenetic analysis of a partial nucleotide sequence of the fusion protein gene. *Avian Pathology*, 2003, vol. 32, no. 3, pp. 239–56. doi: 10.1080/030794503100009783
3. OIE. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals. 7th ed. Paris, France: Office International des Epizooties, 2012, pp. 19.
4. Absalon A.E., Cortes-Espinosa D.V., Lucio E., Miller P.J., Afonso C.L. Epidemiology, control, and prevention of Newcastle disease in endemic regions: Latin America. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2019, vol. 51, pp. 1033–1048.
<https://doi.org/10.1007/s11250-019-01843-z>
5. Kapczynski D.R., Afonso C.L., Miller P.J. Immune responses of poultry to Newcastle disease virus. *Dev. Comp. Immunol.*, 2013, vol. 41, pp. 447–453.
<https://doi.org/10.1016/j.dci.2013.04.012>
6. Ren S., Xie X., Wang Y. Molecular characterization of a Class I Newcastle disease virus strain isolated from a pigeon in China. *Avian Pathology*, 2016, vol. 45, no. 4, pp. 408–417.
7. Hoque M.A., Burgess G.W., Karo-Karo D. Monitoring of wild birds for Newcastle disease virus in North Queensland, Australia. *Preventive Veterinary Medicine*, 2012, vol. 103, no. 1, pp. 49–62.
8. Kim L.M., King D.J., Curry P.E. Phylogenetic diversity among low-virulence Newcastle disease viruses from waterfowl and shorebirds and comparison of genotype distributions to those of poultry origin isolates. *Journal of Virology*, 2007, vol. 81, no. 22, pp. 12641–12653.
9. Alexander D.J., Campbell G., Manvell R.J. Characterisation of an antigenically unusual virus responsible for two outbreaks of Newcastle disease in the Republic of Ireland in 1990. *Veterinary Record*, 1992, vol. 130, no. 4, pp. 65–68.
10. Dimitrov K.M., Abolnik C., Afonso C.L., Albina E., Bahl J., Berg M., Briand F.-X., Brown I.H., Choi K.-S., Chvala I. Updated unified phylogenetic classification system and revised nomenclature for Newcastle disease virus. *Infect. Genet. Evol.*, 2019, vol. 74, article id: 103917. doi: 10.1016/j.meegid.2019.103917
11. Steensels M., Soldan C., Rauw F., Roupie V., Lambrecht B. Protective efficacy of classical vaccines and vaccination protocols against an exotic Newcastle disease virus genotype VII.2 in Belgian layer and broiler chickens. *Poult Sci.*, 2024, vol. 104(1), article id: 104604.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104604>
12. Xue C., Cong Y., Yin R., Sun Y., Ding C., Yu S., Liu X., Hu S., Qian J., Yuan Q. Genetic diversity of the genotype VII Newcastle disease virus: Identification of a novel VIIj sub-genotype. *Virus genes*, 2017, vol. 53, pp. 63–70.
<https://doi.org/10.1007/s11262-016-1404-0>

13. Dimitrov K.M., Abolnik C., Afonso C.L., Albina E., Bahl J., Berg M., Briand F.-X., Brown I.H., Choi K.S., Chvala I. Updated unified phylogenetic classification system and revised nomenclature for Newcastle disease virus. *Infect. Genet.*, 2019, vol. 74, article id: 103917. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.103917>
14. Dimitrov K., Dong-Hun L., Williams-Coplin D., Olivier T., Miller P., Afonso C. Newcastle Disease Viruses Causing Recent Outbreaks Worldwide Show Unexpectedly High Genetic Similarity with Historical Virulent Isolates from the 1940's. *J. Clin. Microbiol.*, 2016, vol. 54(5), pp. 1228–35. doi: 10.1128/JCM.03044-15
15. Diel D.G., da Silva L.H., Liu H., Wang Z., Miller P.J., Afonso C.L. Genetic diversity of avian paramyxovirus type 1: Proposal for a unified nomenclature and classification system of Newcastle disease virus genotypes. *Infect. Genet.*, 2012, vol. 12, iss. 8, pp. 1770–1779. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.07.012>
16. Abolnik C., Mubamba C., Wandrag D.B., Horner R., Gummow B., Dautu G., Bisschop S.P. Tracing the origins of genotype VII h Newcastle disease in Southern Africa. *Transbound. Emerg. Dis.*, 2018, vol. 65, pp. 393–403. <https://doi.org/10.1111/tbed.12771>
17. Mapaco L.P., Monjane I.V., Nhamusso A.E., Viljoen G.J., Dundon W.G., Achá S.J. Phylogenetic analysis of Newcastle disease viruses isolated from commercial poultry in Mozambique (2011–2016). *Virus Genes.*, 2016, vol. 52, pp. 748–753. <https://doi.org/10.1007/s11262-016-1362-6>
18. Molini U., Aikukutu G., Khaïseb S., Cattoli G., Dundon W.G. First genetic characterization of Newcastle disease viruses from Namibia: Identification of a novel VIIk subgenotype. *Arch. Virol.*, 2017, vol. 162, pp. 2427–2431. <https://doi.org/10.1007/s00705-017-3389-y>
19. The National Training Course on Animal Influenza Diagnosis and Surveillance, Harbin, 20–26 May 2001. Harbin, 2001, pp. 25–27.
20. Mia Kim L., Suarez D.L., Afonso C.L. Detection of a broad range of class I and II Newcastle disease viruses using a multiplex real-time reverse transcription polymerase chain reaction assay. *J. Vet Diagn Invest.*, 2008, vol. 20(4), pp. 414–425.
21. Miller P.J., Decanini E.L., Afonso C.L. Newcastle disease: Evolution of genotypes and the related diagnostic challenges. *Infect. Genet. Evol.*, 2010, vol. 10 (1), pp. 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2009.09.012>
22. Ghalyanchilangeroudi A., Hosseini H., Jabbarifakhr M., Fallah Mehrabadi M.H., Najafi H., Ghafouri S.A., Mousavi F.S., Ziafati Z., Modiri A. Emergence of a virulent genotype VIII of Newcastle disease virus in Iran. *Avian Pathology.*, 2018, vol. 47(5), pp. 509–519. doi: 10.1080/03079457.2018.1495313
23. Twabela A.T., Nguyen L.T., Masumu J., Mpoyo P., Mpiana S., Sumbu J., Okamatsu M., Matsuno K., Isoda N., Zecchin B. et al. A New Variant among Newcastle Disease Viruses Isolated in the Democratic Republic of the Congo in 2018 and 2019. *Viruses*, 2021, vol. 13(2), article id: 151. <https://doi.org/10.3390/v13020151>
24. Ababneh M., Ferreira H.L., Khalifeh M., Suarez D.L., Afonso C.L. First Genome Sequence of Newcastle Disease Virus of Genotype VIII from Jordan. *Microbiol Resour Announc.*, 2018, vol. 7, no. 23. <https://doi.org/10.1128/MRA.01136-18>
25. Vilkov E.V. Structure and ecology of birds in Intra-Mountain Daghestan. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 40–62. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-40-62>
26. Rtishchev A., Treshchalina A., Shustova E., Boravleva E., Gambaryan A. An Outbreak of Newcastle Disease Virus in the Moscow Region in the Summer of 2022. *A. Vet. Sci.*, 2023, vol. 10, article id: 404. <https://doi.org/10.3390/vetsci10060404>
27. Murashkina T., Sharshov K., Gadzhiev A. Avian Influenza Virus and Avian Paramyxoviruses in Wild Waterfowl of the Western Coast of the Caspian Sea (2017–2020). *Viruses*, 2024, vol. 16, article id: 598. <https://doi.org/10.3390/v16040598>
28. Miller P.J., King D.J., Afonso C.L., Suarez D.L. Antigenic differences among Newcastle disease virus strains of different genotypes used in vaccine formulation affect viral shedding after a virulent challenge. *Vaccine*, 2007, vol. 25 (41), pp. 7238–7246. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.07.017>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Написание манускрипта Александра В. Глущенко, разработка дизайна исследования Александра В. Глущенко, проведение эксперимента Александра В. Глущенко, Ю. Каркавин, Ксения С. Юрченко, Любовь С. Адаменко, обработка и интерпретация результатов Александра В. Глущенко и Ксения С. Юрченко, рецензирование и редактирование Александра В. Глущенко. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Writing the manuscript by Alexandra V. Glushchenko, developing the design of the study by Alexandra V. Glushchenko, conducting the experiment by Alexandra V. Glushchenko, Yuriy I. Karkavin, Kseniya S. Yurchenko, Lyubov S. Adamenko, processing and interpreting the results by Alexandra V. Glushchenko and Kseniya S. Yurchenko, reviewing and editing by Alexandra V. Glushchenko. 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

Александра В. Глущенко / Alexandra V. Glushchenko <https://orcid.org/0000-0002-5784-0073>
 Ксения С. Юрченко / Kseniya S. Yurchenko <https://orcid.org/0000-0002-0679-8493>
 Любовь С. Адаменко / Lyubov S. Adamenko <https://orcid.org/0000-0001-3622>
 Юрий И. Каркавин / Yuriy I. Karkavin <https://orcid.org/0000-0001-8320-6298>

Инактивирующая и ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов полыни (*Artemisia* spp.) на вирус простого герпеса второго типа *in vitro*

Елена И. Казачинская^{1,3}, Виктория В. Величко², Валерия Д. Романова¹, Дмитрий С. Круглов², Дарья Л. Прокушева², Александр А. Чепурнов¹, Юлия В. Кононова¹, Лифон Фу⁴, Шуай Шао⁵, Марина А. Гуляева¹, Александр М. Шестопалов¹

¹Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины (ФИЦ ФТМ СО РАН), Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

³Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»), Новосибирск, Россия

⁴Ведущая лаборатория микробиологии и иммунологии патогенов CAS, Институт микробиологии

Китайской академии наук, Пекин, Китай

⁵Национальный институт радиологической защиты, Центр по контролю за заболеваемостью, Пекин, Китай

Контактное лицо

Елена И. Казачинская, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ФТМ СО РАН, ведущий научный сотрудник ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», г. Новосибирск; 630559 Россия, Новосибирская область, р/п Кольцово 32-1. Тел. +79095307441

Email lena.kazachinskaia@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

Формат цитирования

Казачинская Е.И., Величко В.В., Романова В.Д., Круглов Д.С., Прокушева Д.Л., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Фу Л., Шао Ш., Гуляева М.А., Шестопалов А.М. Инактивирующая и ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов полыни (*Artemisia* spp.) на вирус простого герпеса второго типа *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 14-36. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-2

Получена 12 марта 2025 г.

Прошла рецензирование 24 апреля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Список сокращений

HSVs (*Herpes Simplex viruses*) – вирусы простого герпеса, CC50 (50% cytotoxic concentration) – 50%-ная цитотоксичная концентрация, EC50 (50% effective concentrations) – 50%-ная эффективная концентрация, БОЕ – бляшко-образующие единицы, БАВ – биологически активные вещества, ДМСО – диметилсульфоксид, ЦПД – цитопатическое действие

Резюме

Цель – оценка *in vitro* инактивирующей и ингибирующей активности сухих этанольных экстрактов разных видов полыни (*Artemisia* spp.), произрастающих в природе Новосибирской области и Республики Алтай, на репликацию вируса простого герпеса 2 типа (*Herpes simplex virus*, HSV-2).

Собрано растительное сырье и приготовлены сухие этанольные экстракты разных видов полыни. Использован лабораторный штамм MS HSV-2. Анализ инактивирующей и ингибирующей активности экстрактов проводили на культуре клеток Vero E6 по общепринятым методикам. Образец сравнения – лиофилизированный препарат ацикловир («ФАРМЛЕНД», Республика Беларусь). Содержание биологически активных веществ (БАВ) в экстрактах проводили методом прямой и дифференциальной спектрофотометрии.

Выявлена инактивирующая и ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp., растворенных в ДМСО, в диапазоне 50 %-ных эффективных концентраций (EC₅₀) от 2,46±0,63 мкг/мл до 218,75±40,09 мкг/мл в реакциях прямая инактивация (нейтрализация) вируса и от 13,67±2,50 до 218,75±40,09 мкг/мл по схемам «профилактика» заражения и «лечение» инфицированных клеток, соответственно. Методом спектрофотометрии в ультрафиолетовой и видимой области света в экстрактах определено процентное содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин, полифенольных соединений в пересчете на катехин и суммы оксикоричных кислот в пересчете на хлорогеновую кислоту.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о наличии в этанольных экстрактах *Artemisia* spp., растворенных в ДМСО, БАВ (флавоноидов, полифенольных соединений и оксикоричных кислот), способствующих инактивации свободных вирионов и эффективно действующих на репликацию HSV-2 внутри инфицированных клеток *in vitro*.

Ключевые слова

HSV-2, виды полыни, этанольные экстракты, инактивирующая и ингибирующая активность, спектрофотометрия.

Inactivating and inhibitory activity of dry ethanol extracts of wormwood (*Artemisia* spp.) on herpes simplex virus of the 2 type *in vitro*

Elena I. Kazachinskaia^{1,3}, Victoriya V. Velichko², Valeriya D. Romanova¹, Dmitriy S. Kruglov², Dar'ya L. Prokusheva², Alexander A. Chepurnov¹, Yulia V. Kononova¹, Lifeng Fu⁴, Shuai Shao⁵ and Marina A. Gulyaeva^{1,6}, Alexander M. Shestopalov¹

¹Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine (FRCFTM), Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Faculty of Pharmacy, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

³Vector State Research Centre of Virology and Biotechnology, Federal Service for Surveillance in the Sphere, Consumers Rights Protection and Human Welfare, Novosibirsk, Russia

⁴CAS Key Laboratory of Pathogen Microbiology and Immunology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

⁵National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing, China

Principal contact

Elena I. Kazachinskaia, Doctor of Biology, Leading Researcher, Research Institute of Virology, FRCFTM, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 32-1 Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559. Tel. +79095307441 Email lena.kazachinskia@mail.ru ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

How to cite this article

Kazachinskaia E.I., Velichko V.V., Romanova V.D., Kruglov D.S., Prokusheva D.L., Chepurnov A.A., Kononova Yu.V., Fu L., Shao Sh., Gulyaeva M.A., Shestopalov A.M. Inactivating and inhibitory activity of dry ethanol extracts of wormwood (*Artemisia* spp.) on herpes simplex virus of the 2 type *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):14-36. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-2

Received 12 March 2025

Revised 24 April 2025

Accepted 28 April 2025

Abbreviations list

HSVs – Herpes Simplex viruses, CC₅₀ – 50% cytotoxic concentration, EC₅₀ – 50% effective concentrations), PFU – plaque-forming units, BAS – biologically active substances, DMSO – Dimethyl sulfoxide, CPE – cytopathic effect

Abstract

Aim. *In vitro* assessment of the inactivating and inhibitory activity of dry ethanol extracts of various wormwood species (*Artemisia* spp.) native to the Novosibirsk region and Altai Republic on the replication of *Herpes simplex virus* type 2 (HSV-2).

Vegetable raw materials were collected and dry ethanol extracts of various types of wormwood were prepared. The laboratory strain MS HSV-2 was used. The inactivating and inhibitory activity of the extracts was analysed on Vero E6 cell culture according to generally accepted methods. The comparison sample is the lyophilized drug acyclovir (FARMLAND, Republic of Belarus). The content of biologically active substances (BAS) in the extracts was carried out by mass spectrometry.

The inactivating and inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. dissolved in DMSO was revealed in the range of 50 % effective concentrations (EC₅₀) from 2.46±0.63 µg/ml to 218.75±40.09 µg/ml in the reactions of direct inactivation (neutralization) of the virus and from 13.67±2.50 to 218.75±40.09 µg/ml according to the schemes of "prevention" of infection and "treatment" of infected cells, respectively. The percentage of flavonoids in terms of rutin, polyphenolic compounds in terms of catechin and oxycoric acids in terms of chlorogenic acid was determined by spectrophotometry in extracts.

Based on the results obtained it can be concluded that ethanol extracts of *Artemisia* spp. dissolved in DMSO contain BAS (these are flavonoids, polyphenolic compounds and oxycoric acids) that promote the inactivation of free virions and effectively act on HSV-2 replication inside infected cells *in vitro*.

Key Words

HSV-2, wormwood species (spp.), ethanol extracts, inactivating and inhibitory activity, mass spectrometry.

ВВЕДЕНИЕ

Род вируса простого герпеса человека (*Human Simplex virus, Herpesviridae*) включает в себя два нейротропных подтипа (серотипа) – HSV-1 и HSV-2, которые проникают в организм через слизистые оболочки и кожу, вызывают пожизненные латентные инфекции в нейронах периферической и центральной нервных системах [1]. Вирусы простого герпеса (*Herpes simplex viruses, HSVs*) – «близкородственные» по многим характеристикам патогены (по строению вириона, структуре генома, нейровирулентности и др.), но однозначно рассматриваются как эволюционно независимые единицы [2]. HSVs занимают отдельные, частично совпадающие экологические ниши – литическая инфекция HSV-1 обычно поражает ротовую полость или глаза, а латентная фаза протекает в тройничном ганглии; литическая репликативная фаза HSV-2 чаще всего поражает аногенитальную область, а латентная фаза протекает в пояснично-крестцовых ганглиях [3]. В одном организме HSV-1 и HSV-2 могут сосуществовать одновременно, что подтверждается как анализами ПЦР, так и серологическими методами (вестерн-блоттингом и ИФА) [4]. Также описаны и рекомбинанты HSV-1×HSV-2, циркулирующие в человеческой популяции [5]. Ключевыми особенностями HSVs являются короткий цикл репликации, приводящий к лизису клеток-«хозяев» [6]. У иммунокомпетентных лиц первичные инфекции и реактивации HSVs чаще всего протекают бессимптомно или в легкой форме [7]. У пациентов с ослабленным иммунитетом (особенно в случае дефицита Т-клеток), инфекции, вызванные вирусами герпеса, представляют собой такие проблемы, как – повышенная частота, большая тяжесть болезни (характеризующаяся более глубокими, обширными и длительными поражениями), наряду с риском гематогенной диссеминации [8] и, наконец, риск отбора патогенных мутантов, устойчивых к противовирусному лечению [9]. HSVs, наряду с *Toxoplasma gondii*, вирусом краснухи, цитомегаловирусом, относятся к TORCH-инфекциям – это группа внутриутробных инфекций, которыми эмбрион или плод может заразиться во время беременности матери или при прохождении родовых путей. Патогены TORCH могут проникать в околоплодные воды и преодолевать плацентарные защитные механизмы, препятствующие вертикальной передаче микроорганизмов [10]. HSVs передаются трансплацентарным или восходящим путем из влагалища или шейки матки, даже если плодные оболочки остаются неповрежденными. Во время беременности у большинства инфицированных женщин заболевание протекает бессимптомно или с неспецифическими симптомами. Отсутствие клинических проявлений может привести к поздней диагностике врожденной или неонатальной HSV-инфекции, что повышает уровень заболеваемости и смертности новорожденных [11].

Основные факты о HSVs по данным ВОЗ на конец 2024 г. (по состоянию на 2020 г. как последний год, за который имеются оценки во всем мире): 3,8 миллиарда человек (64,2 %) в возрасте до 50 лет инфицированы HSV-1 (который является основной причиной орального герпеса); глобальная численность носителей HSV-2 (который является основной причиной генитального герпеса) оценивается на уровне 519,5 миллиона человек (13,3 %) среди лиц в возрасте от 15 до 49 лет;

болезни, вызванные HSVs, проявляются такими симптомами, как болезненные пузырьки или язвы на слизистых оболочках или коже, которые могут с течением времени возникать повторно (т.е. происходит рецидив хронической инфекции); большинство герпетических инфекций остаются нераспознанными т.к. протекают бессимптомно; инфицирование герпесом серотипа HSV-2 повышает риск инфицирования ВИЧ и способствует передаче этого вируса другим людям [12].

Инфекции, вызванные HSV-2, чаще всего передаются половым путем, и распространенность серопозитивности увеличивается с 20–30 % в возрасте 15–29 лет до 35–60 % в возрасте 60 лет [13]. Факторы риска заражения HSV-2 включают непосредственный контакт с биологическими жидкостями (например, слюной, спермой или цервикальной жидкостью влагалища) серопозитивного человека, содержащими инфекционный вирус, чаще всего во время полового акта. Из-за низкой устойчивости вне организма вирус может оставаться заразным лишь в течение нескольких дней на влажных поверхностях. Поэтому способы передачи, отличные от полового акта, незначительны [14]. HSV-2 может проявляться в виде первичной инфекции с болезненными язвами на половых органах, ранами, корками, болезненной лимфаденопатией и дизурией (нарушение мочеиспускания). Классическими признаками являются пятнистые или папулезные поражения кожи и слизистых оболочек, переходящие в везикулы и пустулы, которые часто сохраняются до 3-х недель. Поражения половых органов могут быть особенно болезненными, вызывая отек вульвы у женщин, жгучую боль и дизурию. Часто могут возникать системные симптомы, в том числе лихорадка, головная боль и недомогание, которые часто вызваны сопутствующей виремией [14]. Для генитального герпеса, вызванного HSV-1, не характерны частые рецидивы, в отличие от инфицирования HSV-2 [15]. Важно отметить, что люди с генитальной HSV-1-инфекцией подвержены риску заражения HSV-2 [16]. Реактивация HSV-2 может привести к сакральному радикулиту и невровоспалению, которое распространяется в головной мозг по нервным путям, вызывая головные боли (мигрень) [17]. Некоторые данные свидетельствуют о том, что сопутствующее заражение HSV-2 играет важную роль в онкогенезе вируса папилломы человека (*Human Papillomavirus, HPV*) [18]. Ко-инфекция HSV-2 с ВИЧ увеличивает выделение герпеса из половых органов и его вирулентность (патогенность), а заражение герпесом коррелирует с повышением уровня виремии ВИЧ и, соответственно, его вирулентности [19]. Считается, что инфекции, вызванные ВИЧ и HSV-2, очень часто возникают одновременно и усугубляют друг друга, т.к. HSV-2 увеличивает количество активированных CD4⁺ Т-клеток (которые являются клетками-мишенями для ВИЧ) и вызывает повреждения слизистой оболочки половых органов, тем самым облегчая проникновение ВИЧ и развитие инфекции [19]. ВИЧ-инфекция способствует ухудшению состояния, связанного с HSV-2, из-за снижения иммунитета. Об этом свидетельствуют более высокие показатели субклинического выделения герпеса, а также более частые и тяжелые поражения половых органов у людей, живущих с ВИЧ [20]. С начала вспышки COVID-19 некоторыми авторами подчеркивалась возможная связь между инфициро-

ванием SARS-CoV-2 и ко-инфекцией или реактивацией разных видов вирусов герпеса - как HSVs, так и *Varicella-Zoster Virus*, *Human Cyto-Megalovirus*, *Epstein-Barr Virus*, *Human Herpesvirus* (HHV-6A, HHV-6B, HHV-7) и *Kaposi's Sarcoma Herpesvirus* (KSHV, HHV-8). В дополнение к активации герпесов при естественной инфекции SARS-CoV-2, показано, что все вакцины, одобренные на сегодняшний день в Европе, по-видимому, способны вызывать реактивацию вирусов герпеса [21]. За последние несколько десятилетий было проведено множество исследований по разработке вакцин для профилактики или лечения HSVs-инфекций, включая ослабленные живые вакцины, инаktivированные цельновирионные, субъединичные (белковые), на основе нуклеиновой кислоты, генно-инженерные живые вирусы и синтетические пептидные препараты [15], которые также потенциально могли бы снизить уровень заражения ВИЧ и вирусом папилломы человека, однако идеальный кандидат на вакцину остается неясным [22]. Эта дилемма в первую очередь возникает из-за сложной природы патогенеза HSVs и механизмов уклонения от противовирусных иммунных реакций организма-«хозяина», что создает серьезные проблемы при выявлении эффективных мишеней для вакцин, способных вызывать и поддерживать устойчивый иммунный ответ [23]. Кроме того, в настоящее время молекулярные механизмы латентной инфекции HSVs недостаточно ясны [22]. С помощью синтетических противовирусных препаратов – аналогов нуклеозидов, таких как ацикловир (Acyclovir, ACV) и его производные, можно контролировать симптоматические HSVs-инфекции, т.к. они специфически встраиваются в вирусную ДНК и, таким образом, предотвращают вирусную репликацию в эпителии [24] и способствуют снижению тяжести и частоты симптомов болезни, но не приводят к излечению хронической инфекции [12]. Приобретение вирусом лекарственной устойчивости можно констатировать при отсутствии клинического ответа на лечение ACV через неделю после начала терапии. Фоскарнет – ингибитор пирофосфатного аналога ДНК-полимеразы HSVs, применяют для лечения в случае резистентности герпеса к ACV, а также больных с ВИЧ и пациентов с ослабленным иммунитетом. В настоящее время в США и Европе лицензированы ингибиторы вирусной ДНК-полимеразы – ACV, валацикловир (Valacyclovir), фамцикловир (Famciclovir), фоскарнет (Foscarnet), цидофовир (Cidofovir), бринцидофовир (Brincidofovir), ганцикловир (Ganciclovir). В Европе, кроме того, лицензированы ингибиторы комплекса хеликазы-праймазы – бривудин (Brivudin) и аменавир (Amenavir). Для всех этих препаратов описаны серьезные побочные эффекты: нейротоксичность, нефротоксичность, лекарственный гепатит, желудочно-кишечные расстройства и т.д. [25]. Вирусная резистентность к ACV, по оценкам, составляет от 5 до 30 %. Очевидно, что необходимы альтернативные концепции лечения герпесвирусных инфекций и это требует разработки и внедрения в практику новых малотоксичных противовирусных препаратов с различными мишенями противовирусного действия [26]. Полифенольные молекулы, получаемые из растений, в последнее время приобрели популярность как мощные нетоксичные противовирусные соединения [27]. Было показано, что полифенольные соединения подавляют репликацию ДНК и

PHK-содержащих вирусов, вызывающих болезни человека, с помощью различных механизмов действия на разных молекулярных уровнях. Например, Stamos с соавт. сообщили, что эпигаллокатехин-3-галлат (epigallocatechin-3-gallate, EGCG) и его стабильный аналог EGCG-стеарат (EGCG-S), выделенные из листьев чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze, *Theaceae*), блокируют *in vitro* прикрепление свободных вирионов HSV-2 к чувствительным клеткам в концентрации 75 μ M (25 мкг/мл). Эти результаты подтверждены данным *in silico* – EGCG-S имеет высокую аффинность связывания с вирусным гликопротеином gD [27]. Фенольные кислоты могут ингибировать ДНК-полимеразу HSVs – важнейший фермент, необходимый для вирусной репликации [28]. Наличие хлорогеновой, кофейной и ванилиновой кислот, а также других полифенольных соединений, обнаруженных в сухом этанольном экстракте баклажана (*Solanum melongena* L., *Solanaceae*), растворенном в ДМСО, авторы связывают с воздействием на экспрессию вирусного gB HSV-1 со значением 50 %-й ингибирующей концентрацией (IC₅₀) 83,4 мкг/мл [29]. Описаны исследования разных флавоноидов, активных против HSVs, таких как, например, рутин, кверцетин, кемпферол, лютеолин, теофлавин-3,3'-дигаллат и др. [30]. В научных центрах разных стран исследуются цельные экстракты растений на активность против HSVs, т.к. они содержат широкий диапазон биологически активных веществ (БАВ). Авторами отмечается, что БАВ растительных препаратов могут влиять на разные этапы «жизненного» цикла HSV-2, как на блокирование прикрепления и проникновения вируса в чувствительную клетку, так и на ингибирование вирусной репликации внутри инфицированной клетки. Соотношение этих механизмов действия БАВ цельных растительных экстрактов составляет примерно 1/1 [31].

Известно, что препараты разных видов полыней (*Artemisia* spp., *Asteraceae*) обладают широким спектром различных терапевтических эффектов – противопаразитарным, инсектицидным, мочегонным, желчегонным, противомаларийным, гепатопротекторным, спазмолитическим, противодиабетическим, противоревматическим, антиоксидантным, антиоцицептивным, противоопухолевым, противовоспалительным, нейпротекторным, антисептическим, антибактериальным, а также противовирусным действием [32]. В литературе в настоящее время описана активность *in vitro* препаратов (водных, метанольных и этанольных экстрактов целых растений или отдельных частей в виде листьев и соцветий) 23-х видов полыней, произрастающих в разных регионах мира, против 17-ти видов вирусов – ВИЧ, гриппа, гепатита С, SARS-CoV-2 и др., в том числе и против HSVs, в основном, против HSV-1. Это такие виды полыней как *A. annua* L. (регионы произрастания: Корея, Китай, Испания, Иран, Германия, Африка), *A. arborescens* (Vaill.) L. (Италия), *A. chamaemelifolia* Vill. (Иран, Болгария), *A. caruifolia* Roxb. (Непал, Китай), *A. douglasiana* Bess. (Аргентина), *A. fragrans* Willd. (Иран), *A. herba-alba* Asso. (Марокко), *A. incana* L. Druce (Иран), *A. kermanensis* Podl. (Иран), *A. mendozaana* D.C. (v.n. ajenjo) (Аргентина), *A. persica* Boiss. (Иран), *A. absinthium* L. (Марокко, Индия). Антивирусную активность *Artemisia* spp. связывают с многочисленными флавоноидами (такими как, например, полиметоксифлавоноиды), и терпенами (такими как,

например, артемизин и артезунат [33]. Несколько научных групп выявили активность эфирного масла листьев *A. arborescens* (Vaill.) L. (Италия) [34], эфирного масла травы *A. chamaemelifolia* Vill. (Иран и Болгария) [35] и этанольного экстракта листьев *A. argyi* H. Lev. & Vaniot (Китай) против HSV-2 [36].

Целью работы была оценка *in vitro* ингибирующей и ингибирующей активности сухих этанольных экстрактов разных видов полыни (*Artemisia* spp.), произрастающих в природе Новосибирской области и Республики Алтай, на репликацию вируса простого герпеса 2 типа (*Herpes simplex virus*, HSV-2).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительное сырье. Определение видов растений проводили на местности с использованием данных [37] и в лаборатории «Гербарий» Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск. Разные виды полыни были собраны в период цветения в природе (в районах Новосибирской области и в Чемальском районе Республики Алтай) и некоторые из них описаны ранее [38] – *A. vulgaris* L., *A. absinthium* L., (Лесной массив на территории Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН), г. Новосибирск, 54°48'10.08" с.ш. 83°5'44.88" в.д.); *A. glauca* Pall. Ex Willd. (Новосибирская область, Черепановский район, окрестности деревни Крутишка, 54°10'50" с.ш. 83°08'55" в.д.); *A. dracunculus* L.* (г. Бердск, 54°45' с.ш. 83°06' в.д.), *A. dracunculus* L.** (Новосибирская область, Черепановский район, окрестности деревни Крутишка 54°10'50" с.ш. 83°08'55" в.д.), *A. dracunculus* L.*** (Новосибирская область, Коченевский район, окрестности р.п. Коченево, 55°01' с.ш. 82°13' в.д.); *A. frigida* Willd.* и *A. sieversiana* Ehrh. ex Willd.* (Новосибирская область, Сузунский район, окрестности села Верх-Сузун, 53°40'47" с.ш. 82°17'20" в.д.); *A. frigida* Willd.***, *A. sieversiana* Ehrh. ex Willd.** и *A. macrantha* Ledeb (Чемальский муниципальный район Республики Алтай России, село Эдиган, 51°06'25" с.ш. 86°15'35" в.д. Сухое растительное сырье для получения экстрактов разделяли на отдельные части (стебли, соцветия, листья). Вид *A. pontica* L. собран в пос. Усть-Сумы Каргатского района Новосибирской области (54°50'39" с.ш. 80°14'56" в.д.) и идентифицирован на кафедре фармакогнозии и ботаники НГМУ и исследован в виде экстракта травы.

Основные материалы и методы: получение этанольных экстрактов отдельных частей полыни, подготовка растительных препаратов (растворение сухих экстрактов в диметилсульфоксиде (ДМСО) для исследования цитотоксичности и ингибирующей активности на вирусную репликацию, используемые культура клеток Vero E6 и отрицательные контроли, описаны ранее [38].

В качестве препарата сравнения использовали лиофилизированный препарат ацикловир («ФАРМЛЕНД», Республика Беларусь), растворенный в физиологическом растворе.

Цитотоксичность исследуемых растительных препаратов и ацикловира определяли согласно [39] по 50 %-ной цитотоксичной концентрации в мл (50 % cytotoxic concentration, CC₅₀/ml) на культуре клеток Vero E6 в лунках 96-луночных планшетов (Corning, США), в

поддерживающей питательной среде. В первом варианте эксперимента монослой клеток отмывали и оставляли в поддерживающей питательной среде, а во втором варианте монослой клеток не отмывали от экстрактов.

Вирус простого герпеса 2 типа (HSV-2, штамм MS) пассировали на чувствительной для вируса культуре клеток Vero E6 [40].

Инфекционный титр HSV-2 выражали в бляшко-образующих единицах в мл (БОЕ/мл) как показано в работах [41] и [36].

Анализ ингибирующей активности исследуемых растительных препаратов и ацикловира при прямой нейтрализации (инактивации) свободных вирионов HSV-2 проводили методом общепринятой классической реакции нейтрализации (инактивации) вирусов, в соответствии с «Руководством...» [42], в течение 1 часа при 37 °С в CO₂-инкубаторе до проявления цитопатического действия (ЦПД) вируса в контрольных лунках, содержащих инфицированные клетки.

Анализ ингибирующей активности исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов по «профилактической» схеме (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток перед их инфицированием) проводили, как описано нами ранее [38].

Анализ ингибирующей активности растительных препаратов по схеме «лечения» клеток (при предварительном инфицировании клеток) проводили, как описано нами ранее [38].

Учет результатов проводили визуально в соответствии с [36] при наблюдении в инвертированный микроскоп при 10-кратном увеличении, а затем после фиксации клеток в течение 30 мин раствором формальдегида и 0,05 %-ным раствором кристаллического фиалетового с 20 % спирта.

Эффективность инактивации и ингибирования репликации вируса экстрактами выражали в 50 %-х эффективных концентрациях (50 % effective concentrations, EC₅₀) по общепринятым методикам и как описано [38].

Селективный индекс (Selectivity index, SI) для 50 %-х цитотоксичных и эффективных концентраций исследуемых экстрактов рассчитывали по общепринятой формуле: SI₅₀=CC₅₀/EC₅₀ как описано [39].

Статистическую обработку результатов по определению цитотоксичности (CC₅₀) и 50 %-ным эффективным концентрациям (EC₅₀) проводили с применением метода Спирмена-Кербера в программе Excel при 95 %-ном уровне надежности (p<0,05). Все анализы *in vitro* проводили и фиксировали в четырех повторях в двух независимых экспериментах. Чтобы подтвердить специфичность противовирусной активности (по значению EC₅₀) в трех в схемах эксперимента (нейтрализация, «лечение» инфицированных клеток и «профилактика» заражения)

исследованных экстрактов по сравнению с их цитотоксичностью (по значению CC_{50}) был проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). В каждый анализ были включены 34 экстракта ($n=8$, т.е. четыре технических повтора в двух независимых экспериментах). В целях выявления различий между конкретными экстрактами был проведен множественный попарный анализ с использованием t-критерия Стьюдента (Welch's t-test, без предположения равенства дисперсий). Суммарное количество попарных сравнений в каждом анализе составило 561. Для коррекции уровня значимости в условиях множественных сравнений была применена поправка Холма (Holm correction). Для оценки зависимости противовирусной активности экстрактов от состава БАВ провели корреляционный анализ по методу Пирсона.

Определение процентного содержания БАВ в растительных экстрактах проводили методами прямой и дифференциальной спектрофотометрии, как описано [43]. Получение извлечения: 0,1 г экстракта растворяли в 10 мл 70 % этанола. В две мерные колбы на 10 мл добавили по 100 мкл полученного раствора и 100 мкл 3 % уксусной кислоты. Далее в одной из колб приготовили раствор А, добавив 70 % этанол до метки; во вторую колбу добавили 1 мл 2 % раствора $AlCl_3$ в 90 % этаноле и затем довели до метки 70 % этанолом – раствор В. После 30 мин выдержки проводили снятие спектров раствора А относительно 70 % этанола и измерение оптической плотности на длине волны 282 нм (характерный максимум катехина) и 330 нм (характерный максимум для хлорогеновой кислоты). Для определения флавоноидов проводили снятие

спектра раствора В относительно раствора А и измерение оптической плотности при длине волны 410 нм – характерный максимум хромогенного комплекса рутина и $AlCl_3$.

Определение содержания X в % полифенольных соединений в пересчете на катехин, суммы оксикоричных кислот в пересчете на хлорогеновую кислоту и суммы флавоноидов в пересчете на рутин проводили по формуле Бугера-Ламберта-Бера по величине оптической плотности измеренной на характерной длине волны максимума для катехина – 282 нм [44] хлорогеновой кислоты – 330 нм и флавоноидов в пересчете на рутин 410 нм [ГФ РФ 15].

$$X = \frac{D \cdot V_2 \cdot V_{МК}}{A_{1\text{см}}^{1\%} \cdot V_a \cdot m_2}$$

D – оптическая плотность

V_2 – объем экстрагента, в котором развели навеску, мл

$V_{МК}$ – объем мерной колбы, мл

V_a – объем аликвоты, мл

m_2 – масса навески экстракта, г

$A_{1\text{см}}^{1\%}$ – процентный коэффициент экстинкции катехина, хлорогеновой кислоты и рутина с $AlCl_3$

Статистический анализ полученных результатов (объем выборки – $n=10$) проводили по стандартной методике с определением среднего арифметического, стандартного отклонения и доверительного интервала. Расчет выполнялся с использованием программы Microsoft Excel. Спектры исследуемого извлечения и стандартных образцов представлены на рис. 1.

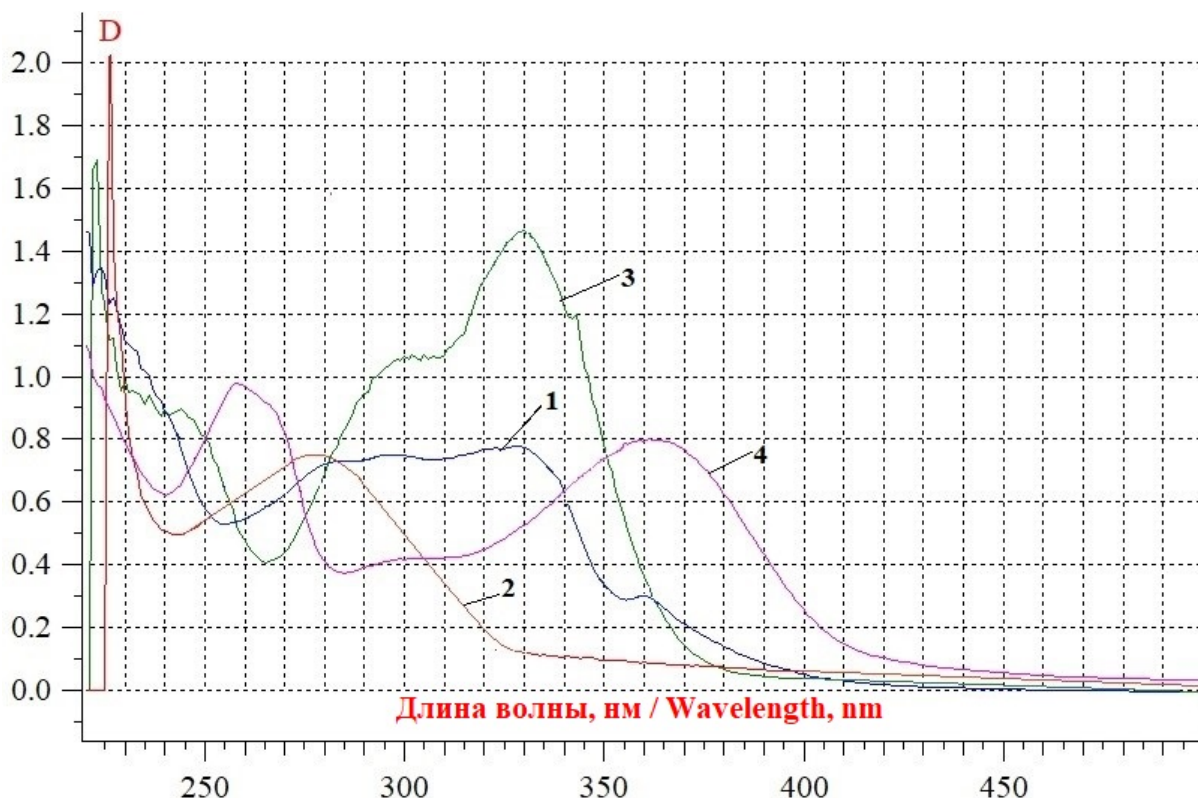


Рисунок 1. УФ-спектры извлечения (1) и стандартных образцов катехина (2), хлорогеновой кислоты (3) и рутина (4)
Figure 1. UV-vis spectra: extract (1) and reference samples of catechin (2), chlorogenic acid (3) and rutin (4)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Тестирование цитотоксичности экстрактов полыни и анализ инактивирующей активности на свободные вирионы HSV-2 при прямой нейтрализации

По данным, представленным в табл. 1, видно, что из всех исследованных экстрактов более высокую цитотоксичность проявляют сухие этанольные экстракты листьев *A. dracunculus** и *A. dracunculus**** – 437,50±80,18 мкг/мл, а также *A. vulgaris* – 633,12±171,25. Экстракт травы *A. macrantha* с CC_{50} = 875,0±160,32 мкг/мл оказался более токсичным, чем экстракт травы *A. pontica* (6750,00±2151,81 мкг/мл). Экстракты стеблей, в основном, оказались практически не токсичны для клеток VeroE6 – при концентрации 1750±320,77 мкг/мл, за исключением *A. vulgaris* (875,0±160,32 мкг/мл) и *A. dracunculus**** (750,00±185,19 мкг/мл). Экстракты соцветий также, в основном, проявили низкую цитотоксичность со значением CC_{50} , равной 1750±320,77 мкг/мл, за исключением *A. dracunculus** (437,50±80,18 мкг/мл), *A. dracunculus**** (750,00±185,19 мкг/мл), *A. sieversiana*** (875,0±160,32 мкг/мл). Ацикловир, как контрольный образец, в данном тестировании оказался токсичен при 3125,00±801,93 мкг/мл (табл. 1). По данным литературы, цитотоксичность спиртовых (метанольных и этанольных) растительных экстрактов в диапазоне 100–500 мкг/мл считается невысокой [45–47].

Вирусы простого герпеса необычны тем, что, в отличие от большинства оболочечных вирусов, им требуется, по меньшей мере, четыре гликопротеина – gD, gB, gH и gL – для проникновения в клетки-мишени [48]. Прямая инаktivация (нейтрализация) HSV-2 влияет на его способность адсорбироваться и проникать в клетки-«хозяева», поэтому этот метод применяется для первичного скрининга препаратов с антивирусным действием [40; 49–51]. В наших экспериментах при прямой инаktivации HSV-2 с инфекционным титром

10^3 БОЕ/мл выявлены 50 %-ные концентрации (EC_{50}) в таком диапазоне: для экстрактов листьев полыней от 2,46±0,63 мкг/мл (*A. vulgaris*) до 27,34±5,01 мкг/мл (*A. frigida** и *A. frigida***); для экстрактов стеблей от 27,34±5,01 мкг/мл (*A. glauca*) до 218,75±40,09 мкг/мл (*A. dracunculus***) и для экстрактов соцветий от 8,29±2,50 мкг/мл (*A. dracunculus****) до 117,18±15,30 мкг/мл (*A. absinthium*); для экстрактов травы *A. macrantha* и *A. pontica* – 13,67±2,50 и 30,85±7,91 мкг/мл, соответственно. В соответствии с показателями CC_{50} , наиболее высокие индексы селективности (SI_{50}) экстрактов в при прямой инаktivации HSV-2 можно расположить в следующем порядке (по убывающей) для экстрактов листьев: 257 (*A. vulgaris*), 179,67 (*A. sieversiana**), 119,53 (*A. frigida***), 102,45 (*A. absinthium*), 92,53 (*A. glauca*) и 90,47 (*A. dracunculus****). Высокий показатель SI_{50} выявлен для экстракта травы *A. pontica* – 218,80, что связано с его самой низкой токсичностью среди исследованных препаратов полыни (CC_{50} =6750,00±2151,81 мкг/мл) (табл. 1). По данным Cheng с соавт., метанольный экстракт листьев *Pterocarya stenoptera* C. DC. (*Juglandaceae*) при прямой инаktivации вируса с EC_{50} в диапазоне концентраций 8,0–52,0 мкг/мл оказывает высокую вирулицидную активность против 10^3 БОЕ/мл HSV-2 [50]. Liu соавт. показали, что сухой этанольный экстракт полыни и вида *A. argyi* в концентрации 10 мкг/мл оказывает мощное прямое противовирусное действие как на обычные, так и на устойчивые к ACV штаммы HSV-1 и HSV-2 [36]. Ацикловир по механизму действия встраивается в вирусную ДНК, предотвращая репликацию вируса внутри инфицированной клетки [24], тем не менее, в наших экспериментах по нейтрализации HSV-2 одного часа экспозиции оказалось достаточно для проникновения препарата в клетки и проявление активности при концентрации препарата 29,29±7,22 мкг/мл и SI_{50} =106,69 (табл. 1).

Таблица 1. Результаты по цитотоксичности и инактивирующей активности экстрактов полыни на свободные вирионы HSV-2 при прямой нейтрализации

Table 1. Results on cytotoxicity and inactivating activity of wormwood extracts on free HSV-2 virions during direct neutralisation

Вид полыни Type of wormwood	Части растения Parts of plant	50%-ная цитотоксичная концентрация (в мкг/мл) CC_{50} in µg/ml	50%-ная эффективная концентрация (в мкг/мл) EC_{50} in µg/ml	SI_{50}
полынь обыкновенная (чернобыльник) <i>A. vulgaris</i>	Листья Leaves	633,12±171,25	2,46±0,63	257,36
	Стебель Stem	875,0±160,32	54,68±10,02	16,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	42,96±11,20	40,76
полынь серая (сизая) <i>A. glauca</i>	Листья Leaves	812,50±179,31	8,78±1,91	92,53
	Стебель Stem	1750±320,77	27,34±5,01	64,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	54,68±10,02	32,00
полынь тархун (эстрагон)* <i>A. dracunculus*</i>	Листья Leaves	437,50±80,18	6,83±1,24	64,00
	Стебель Stem	1750±320,77	58,59±7,65	29,86
	Соцветия Inflorescences	437,50±80,18	54,68±10,02	8,00

полынь горькая A. absinthium	Листья Leaves	750,00±185,19	7,32±0,94	102,45
	Стебель Stem	1750±320,77	109,37±20,04	16,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	117,18±15,30	14,93
полынь тархун (эстрагон)** A. dracunculus**	Листья Leaves	1750±320,77	23,43±5,78	74,69
	Стебель Stem	1750±320,77	218,75±40,09	8,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	109,37±20,04	16,00
полынь тархун (эстрагон)*** A. dracunculus***	Листья Leaves	437,50±80,18	13,67±2,50	32,00
	Стебель Stem	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71
	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	8,29±2,50	90,47
полынь холодная* A. frigida*	Листья Leaves	1750±320,77	27,34±5,01	64,00
	Стебель Stem	1750±320,77	54,68±10,02	32,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	27,34±5,01	64,00
полынь Сиверса* A. sieversiana*	Листья Leaves	875,0±160,32	4,87±1,24	179,67
	Стебель Stem	1750±320,77	54,68±10,02	32,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	27,34±5,01	64,00
полынь холодная** A. frigida**	Листья Leaves	1750±320,77	27,34±5,01	64,00
	Стебель Stem	1750±320,77	54,68±10,02	32,00
	Соцветия Inflorescences	1750±320,77	14,64±1,91	119,53
полынь Сиверса** A. sieversiana**	Листья Leaves	875,0±160,32	19,53±5,01	44,80
	Стебель Stem	1750±320,77	54,68±10,02	32,00
	Соцветия Inflorescences	875,0±160,32	27,34±5,01	32,00
полынь крупноцветковая A. macrantha	Трава Grass	875,0±160,32	13,67±2,50	64,00
	Стебель Stem	1750±320,77	109,37±20,04	16,00
полынь понтийская A. pontica	Трава Grass	6750,00±2151,81	30,85±7,91	218,80
Ацикловир / Aciclovir		3125,00±801,93	29,29±7,22	106,69
Отрицательные контроли Negative controls		-	-	-

Примечание: – нет эффекта; трава – это соцветия и лист; отрицательные контроли (поддерживающая питательная среда для культуры клеток и ДМСО в объемах, соответствующих содержанию этого растворителя в исследуемых растительных препаратах, и физиологический раствор для растворения ацикловира; **A. dracunculus*** (г. Бердск), **A. dracunculus**** (Черепановский район, окрестности деревни Крутишка), **A. dracunculus***** (р.п. Коченево); **A. frigida*** и **A. sieversiana*** (Сузунский район, окрестности села Верх-Сузун), **A. frigida****, **A. sieversiana**** и **A. macrantha** (Чемальский муниципальный район Республики Алтай России, село Эдиган). HSV-2 использовали с инфекционным титром 10³ БОЕ/мл

Note: – there is no effect; grass is an inflorescence and a leaf; negative controls (a supportive nutrient medium for cell culture and DMSO in volumes corresponding to the content of this solvent in the studied herbal preparations and a saline solution for dissolving acyclovir; **A. dracunculus*** (city Berdsk), **A. dracunculus**** (Cherepanovsky district, surroundings of the village of Krutishka), **A. dracunculus***** (Kochenevo village); **A. frigida*** and **A. sieversiana*** (Suzun district, surroundings of the village of Verh-Suzun), **A. frigida****, **A. sieversiana**** and **A. macrantha** (Chemalsky municipal district of the Altai Republic of Russia, village of Edigan). HSV-2 was used with an infectious titer of 10³ PFU/ml

Результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) подтвердили наличие статистически значимых различий в показателях цитотоксичности экстрактов разных видов полыни (для схемы нейтрализации вируса) между группами: $F(33, 238) = 20,78$, $p = 6,76 \times 10^{-53}$, F критическое = 1,49 (табл. 2). Это свидетельствует о выраженной вариабельности цитотоксического действия экстрактов отдельных частей растений на клеточную культуру и необходимости уточнения различий с использованием парных статистических тестов. Для определения парных статистически значимых различий между экстрактами был проведен множественный анализ t-критерием Стьюдента (Welch's t-test, без предположения равенства дисперсий). Для учета множественных сравнений применена поправка Холма к p-value. Всего было проведено 561 сравнение. Полученные результаты показали, что наименее токсичными (т.е. с наибольшими значениями CC_{50}) оказались: стеблевые и травяные экстракты *A. frigida*, *A. sieversiana*, *A. dracunculus*, *A. macrantha* – CC_{50} до 2000 мкг/мл; *A. pontica* – CC_{50} от 333,3 до 1000 мкг/мл и ацикловир (контроль) с $CC_{50}=1111,1$ мкг/мл. В то же время,

наиболее токсичными оказались: экстракты листьев *A. vulgaris*, *A. absinthium*, *A. dracunculus* (Бердск, Коченево) с $CC_{50}=125-312,5$ мкг/мл и экстракты листьев *A. sieversiana* и *A. frigida* (Эдиган) – 312,5 мкг/мл. Статистически значимые различия по цитотоксичности выявлены между экстрактами: листьев и стеблей/соцветий большинства видов, географически различными образцами одного вида (например, *A. dracunculus* из Бердска и Коченево), контрольным препаратом (ацикловир) и подавляющим числом растительных образцов.

С целью определения различий между группами по EC_{50} , выявленных по схеме «нейтрализация» также был выполнен ANOVA, результаты которого показали наличие статистически значимых различий между экстрактами: $F(33, 238) = 57,61$, $p = 4,24 \times 10^{-95}$, F критическое = 1,49 (табл. 2). Таким образом, гипотеза о равенстве средних EC_{50} для всех исследованных экстрактов отвергается с высокой степенью достоверности. Это указывает на существование выраженной вариабельности антивирусной активности в зависимости от ботанического происхождения, используемой части растения и места сбора образцов.

Таблица 2. Суммарные данные по статистическому анализу различий исследованных экстрактов по цитотоксичности (по значению CC_{50}) и противовирусной активности (по значению EC_{50}) в трех в схемах эксперимента (нейтрализация, «лечение» инфицированных клеток и «профилактика» заражения)
Table 2. Summary data on the statistical analysis of differences between the studied extracts for cytotoxicity (CC_{50} value) and antiviral activity (EC_{50} value) in three experimental schemes (neutralisation, "treatment" of infected cells and "prevention" of infection)

Схема анализа Analysis scheme	F-значение F-value	P-значение P-value	F критическое F critical	Статистическая значимость Statistical significance
CC_{50} для схемы нейтрализации CC ₅₀ for scheme of neutralization	20,78	$6,76 \times 10^{-53}$	1,49	+
EC_{50} в реакции нейтрализации EC ₅₀ in the neutralization reaction	57,61	$4,24 \times 10^{-95}$	1,49	+
CC_{50} для схемы «лечение»/ «профилактика» CC ₅₀ for the "treatment" or "prevention" schemes	13,65	$1,53 \times 10^{-38}$	1,49	+
EC_{50} в реакции «лечение» EC ₅₀ in the "treatment" response	43,99	$3,89 \times 10^{-83}$	1,49	+
EC_{50} в реакции «профилактика» EC ₅₀ in the "prevention" reaction	50,46	$3,68 \times 10^{-89}$	1,49	+

Для более детального анализа были проведены множественные попарные сравнения между всеми экстрактами с использованием t-критерия Стьюдента (Welch's t-test для независимых выборок). Всего было выполнено 561 попарное сравнение. Для контроля вероятности ошибки первого рода была применена поправка Холма к p-value. На основании результатов t-теста установлено следующее: наиболее активные экстракты (с низким значением EC_{50}): *A. vulgaris* (листья) с $EC_{50}=2,47$ мкг/мл, *A. glauca* (листья) с $EC_{50}=8,79$ мкг/мл, *A. absinthium* (соцветия) с $EC_{50}=13,67$ мкг/мл, *A. dracunculus* (листья, Коченево) с $EC_{50}=14,65$ мкг/мл, *A. sieversiana* (листья, Сузун) с $EC_{50}=14,65$ мкг/мл. Наименее активные экстракты (с высокими значениями EC_{50}) получены из травы *A. pontica* (с $EC_{50} \approx 30,86$ мкг/мл), стеблей или травы *A. dracunculus*,

A. sieversiana, *A. frigida*, *A. macrantha* (с $EC_{50} > 109$ мкг/мл) и стебля *A. macrantha* (с $EC_{50} = 218,75$ мкг/мл). Таким образом, полученные данные показали четкую зависимость антивирусной активности экстрактов от используемой части растения, т.к. листья и соцветия продемонстрировали значительно более высокую активность по сравнению со стеблевыми и травяными экстрактами. Также отмечается географическая вариабельность активности у вида полыни *A. dracunculus*, собранной в разных географических регионах. Кроме того, анализ показал, что цитотоксичность экстрактов (при контакте с монослоем клеток в течение 1 часа и отмыжкой) варьирует в широких пределах. При этом стеблевые и травяные части растения обладают минимальной токсичностью, в то время как листья, обладающие

высокой противовирусной активностью, характеризуются умеренной или выраженной токсичностью. Это следует учитывать при расчете терапевтического индекса (SI_{50}) и дальнейшем выборе экстрактов для доклинических исследований по схеме «нейтрализация» (инактивация вируса). Контрольный препарат ацикловир в данной реакции проявил активность с $EC_{50}=29,29\pm 7,22$ мкг/мл, что можно не учитывать, т.к. его механизм действия не может быть связан с прямой инактивацией свободных вирионов – это результат проникновения препарата в инфицированные клетки в течение одного часа экспозиции с клеточным монослоем.

2. Тестирование цитотоксичности и анализ ингибирующей активности экстрактов полыни на репликацию HSV-2 по схемам «профилактика» заражения и «лечение» инфицированных клеток

Согласно данным литературы, такие схемы экспериментов как «профилактическая» схема (т.е. нанесение разведений экстрактов на монослой клеток перед их инфицированием) и схема «лечения» клеток (т.е. при предварительном инфицировании клеток и последующей обработкой препаратами) используют для анализа БАВ, действующих на важные этапы «жизненного» цикла вируса, находящегося внутри инфицированной клетки. Мы проводили тестирование цитотоксичности экстрактов, титрованных в поддерживающей питательной среде при их нанесении на монослой клеток Vero E6, и не отмывали. В результате, очевидно повышение токсичности экстрактов для клеток (табл. 3), в отличие от экспозиции в течение часа и отмывкой с монослоя, как показано выше (табл. 1). Особенно это заметно для экстрактов листьев. Например, повысилась токсичность экстрактов листьев *A. dracunculus* и *A. absinthium*, *A. dracunculus**** до $156,25\pm 40,09$ мкг/мл; *A. vulgaris* до $187,5\pm 46,29$ мкг/мл; *A. dracunculus***, *A. sieversiana**,

*A. frigida*** и *A. sieversiana** до $312,50\pm 80,18$ мкг/мл. также значительно повысились значения CC_{50} для экстрактов трав *A. macrantha* и *A. pontica* – до $312,50\pm 80,18$ и $666,66\pm 246,93$ мкг/мл, соответственно (табл. 3). По данным Karamoddini с соавт., токсичность для клеток Hela (клеток опухоли матки), используемых для исследования метанольных экстрактов видов полыни *A. annua*, *A. chamaemelifolia*, *A. campestris*, *A. fragrans*, *A. incana*, *A. persica* и *A. vulgaris* на ингибирующую активность HSV-1 по схеме «лечения» клеток (т.е. без отмывки экстрактов с монослоя), определена в диапазоне концентраций 200–400 мкг/мл [52].

В результате наших экспериментов, как и при прямой инактивации вируса, наиболее эффективными оказались экстракты листьев полыни в диапазоне концентраций от $14,64\pm 1,91$ до $54,68\pm 10,02$ мкг/мл. С учетом низкой цитотоксичности, наиболее высокие индексы селективности определены для экстракта листьев *A. glauca* – 51,22 и 32,01, соответственно. Экстракты стеблей полыни в данных схемах проявили низкую активность – в диапазоне концентраций от $54,68\pm 10,02$ до $218,75\pm 40,09$ мкг/мл. Активность экстрактов соцветий полыней определена в широком диапазоне – от $13,67\pm 2,50$ до $218,75\pm 40,09$ мкг/мл. Наиболее эффективными оказались экстракты соцветий *A. absinthium* (с $EC_{50}=13,67\pm 2,50$ мкг/мл в двух схемах и $SI_{50}=45,72$), *A. dracunculus*** (с $EC_{50}=14,64\pm 1,91$ и $27,34\pm 5,01$ мкг/мл), *A. frigida** (с $EC_{50}=27,34\pm 5,01$ мкг/мл в двух схемах и $SI_{50}=54,86$). Для экстракта травы *A. macrantha* с $EC_{50}=27,34\pm 5,01$ мкг/мл в двух схемах, $SI_{50}=11,43$ в связи с более высокой цитотоксичностью. Экстракт травы *A. pontica* был менее активен – с $EC_{50}=55,55$ и $74,07$ мкг/мл (табл. 3). Ацикловир, как и ожидалось при его проникновении в инфицированные клетки, проявил значительную эффективность по двум схемам эксперимента – «профилактической» и «лечебной» – с $EC_{50}=1,9$ мкг/мл и $SI_{50}=584,78$.

Таблица 3. Результаты по цитотоксичности и ингибирующей активности экстрактов полыни по схемам «профилактики» и «лечения» клеток, инфицированных HSV-2

Table 3. Results on cytotoxicity and inhibitory activity of wormwood extracts according to the schemes of "prevention" and "treatment" of HSV-2 infected cells

Вид полыни A type of wormwood	Части растения Parts of plant	50%-ная цитотоксичная концентрация (в мкг/мл) CC_{50} in $\mu\text{g/ml}$	Схема «профилактика» заражения Scheme of Infection "prevention"		Схема «лечение» инфицированных клеток Scheme of "treatment" of infected cells	
			EC_{50} мкг/мл EC_{50} $\mu\text{g/ml}$	SI_{50}	EC_{50} мкг/мл EC_{50} $\mu\text{g/ml}$	SI_{50}
<i>A. vulgaris</i>	Листья Leaves	$187,5\pm 46,29$	$14,64\pm 1,91$	12,80	$19,53\pm 5,01$	9,60
	Стебель Stem	$750,00\pm 185,19$	$54,68\pm 10,02$	13,71	$109,37\pm 20,04$	6,85
	Соцветия Inflorescences	$750,00\pm 185,19$	$54,68\pm 10,02$	13,71	$109,37\pm 20,04$	6,85
<i>A. glauca</i>	Листья Leaves	$750,00\pm 185,19$	$14,64\pm 1,91$	51,22	$23,43\pm 5,78$	32,01
	Стебель Stem	$875,0\pm 160,32$	$109,37\pm 20,04$	8,00	$54,68\pm 10,02$	16,00
	Соцветия Inflorescences	$750,00\pm 185,19$	$27,34\pm 5,01$	27,43	$54,68\pm 10,02$	13,71
<i>A. dracunculus</i> *	Листья Leaves	$156,25\pm 40,09$	$27,34\pm 5,01$	5,71	$27,34\pm 5,01$	5,71
	Стебель Stem	$875,0\pm 160,32$	$109,37\pm 20,04$	8,00	$203,12\pm 44,82$	4,30

	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71	109,37±20,04	6,85
A. absinthium	Листья Leaves	156,25±40,09	27,34±5,01	5,71	54,68±10,02	2,85
	Стебель Stem	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71	109,37±20,04	6,85
	Соцветия Inflorescences	625,00±160,38	13,67±2,50	45,72	13,67±2,50	45,72
A. dracunculus**	Листья Leaves	312,50±80,18	27,34±5,01	11,43	14,64±1,91	21,34
	Стебель Stem	1500,00±370,39	218,75±40,09	6,85	218,75±40,09	6,85
	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	27,34±5,01	27,43	27,34±5,01	27,43
A. dracunculus***	Листья Leaves	156,25±40,09	27,34±5,01	5,71	14,64±1,91	10,67
	Стебель Stem	312,50±80,18	54,68±10,02	5,71	54,68±10,02	5,71
	Соцветия Inflorescences	312,50±80,18	14,64±1,91	21,34	27,34±5,01	11,43
A. frigida*	Листья Leaves	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71	109,37±20,04	6,85
	Стебель Stem	1500,00±370,39	109,37±20,04	13,71	218,75±40,09	6,85
	Соцветия Inflorescences	1500,00±370,39	27,34±5,01	54,86	27,34±5,01	54,86
A. sieversiana*	Листья Leaves	312,50±80,18	27,34±5,01	11,43	54,68±10,02	5,71
	Стебель Stem	1500,00±370,39	218,75±40,09	6,85	218,75±40,09	6,85
	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	109,37±20,04	6,85	218,75±40,09	3,42
A. frigida**	Листья Leaves	312,50±80,18	27,34±5,01	11,43	14,64±1,91	21,34
	Стебель Stem	750,00±185,19	109,37±20,04	6,85	109,37±20,04	6,85
	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71	109,37±20,04	6,85
A. sieversiana**	Листья Leaves	312,50±80,18	27,34±5,01	11,43	54,68±10,02	5,71
	Стебель Stem	750,00±185,19	109,37±20,04	6,85	218,75±40,09	3,42
	Соцветия Inflorescences	750,00±185,19	54,68±10,02	13,71	109,37±20,04	6,85
A. macrantha	Трава Grass	312,50±80,18	27,34±5,01	11,43	27,34±5,01	11,43
	Стебель Stem	750,00±185,19	218,75±40,09	3,42	218,75±40,09	3,42
A. pontica	Трава Grass	666,66±246,93	55,55±23,76	12,00	74,07±27,43	9,00
Ацикловир / Aciclovir		1111,10±411,55	1,9±0,48	1,9	1,9±0,48	584,78
Отрицательные контроли Negative controls		-	-	-	-	-

Примечание: соответствует табл. 1. HSV-2 использовали с инфекционным титром 10^2 БОЕ/мл
 Note: corresponds to Table 1 but HSV-2 was used with an infectious titer of 10^2 PFU/ml.

Анализ результатов с использованием ANOVA для оценки различий в цитотоксичности экстрактов полыни для схемы «лечения» и/или «профилактики» показал наличие выраженной статистической неоднородности: $F(33, 238) = 13,65$, $p = 1,53 \times 10^{-38}$, F критическое = 1,49 (см. табл. 2). Полученные значения подтверждают существование значимых различий в токсичности между экстрактами, что обосновывает применение парных сравнений. На втором этапе были проведены

множественные попарные сравнения t-критерием Стьюдента (Welch's t-test, без предположения о равенстве дисперсий). Общее число сравнений составило 561. Для контроля ошибки первого рода в условиях множественных сравнений была применена поправка Холма к значению p-value. В результате анализа установлено, что наименее токсичными (с наибольшим значением CC_{50}) являются: стеблевые и травяные экстракты: *A. dracunculus*, *A. frigida*,

A. sieversiana, *A. macrantha* с CC_{50} до 2000 мкг/мл, *A. pontica* (трава) с CC_{50} 333,3–1000 мкг/мл и ацикловир (контроль) с CC_{50} = 1666,6 мкг/мл. Наиболее токсичными экстрактами оказались: экстракты листьев *A. vulgaris*, *A. absinthium*, *A. dracunculus* с CC_{50} =125–312,5 мкг/мл и экстракты листьев *A. sieversiana*, *A. frigida* с CC_{50} =312,5 мкг/мл. Статистически значимые различия выявлены между: листьями и стеблями большинства ботанических видов ($p < 0,05$, поправка Холма); образцами одного вида *A. dracunculus*, собранными в разных географических регионах; большинством растительных экстрактов и контрольным препаратом (ацикловир).

Чтобы подтвердить различия исследованных экстрактов в противовирусной активности по значению EC_{50} в схеме «лечение» инфицированных клеток также был проведен ANOVA. Результаты показали (см. табл. 2) наличие статистически значимых различий между группами ($F(33, 238) = 43,99$, $p < 0,0001$), что показывает, что различные растительные препараты эффективны неоднородно по этой схеме эксперимента. С целью выявления различий между конкретными экстрактами был проведен множественный попарный анализ с использованием t-критерия Стьюдента (Welch's t-test, без предположения равенства дисперсий). Суммарное количество попарных сравнений составило 561. Для коррекции уровня значимости в условиях множественных сравнений была применена поправка Холма (Holm correction). Наименьшие значения EC_{50} были выявлены для экстрактов листьев *A. absinthium* ($13,67 \pm 2,5$ мкг/мл), *A. dracunculus* (Сузун и Коченево; $14,65 \pm 1,91$ мкг/мл), а также для экстракта соцветий *A. absinthium*. Эти образцы оказались статистически значимо более эффективными ($p < 0,05$, Holm-коррекция) по сравнению с большинством других экстрактов, в том числе со всеми экстрактами стеблей и трав. Экстракты стеблей, независимо от вида полыни, показали существенно более высокие значения EC_{50} (в диапазоне 109,37–250 мкг/мл), что статистически подтверждено в ряде сравнений ($p < 0,05$). Аналогично, экстракты травы *A. pontica* и *A. macrantha* продемонстрировали высокие значения EC_{50} ($74,07 \pm 27,43$ и $218,75 \pm 40,09$ мкг/мл соответственно), значимо превышающие показатели наиболее эффективных препаратов. Выраженные различия противовирусной активности, выявленной по схеме «лечение» инфицированных клеток, между экстрактами, полученными из одного и того же вида полыни *A. dracunculus*, но собранными в разных географических точках (из Бердска, Сузуна и Коченево), также были статистически подтверждены. Это позволяет предположить влияние места сбора на концентрацию биологически активных соединений и соответствующую активность препаратов. В качестве положительного контроля использовался ацикловир (с EC_{50} = $1,9 \pm 0,48$ мкг/мл), который показал ожидаемо высокую эффективность, статистически значимо превосходя все растительные экстракты ($p < 0,001$).

Результаты ANOVA по профилактической схеме эксперимента подтвердили наличие статистически значимых различий между экстрактами ($F(33, 238) = 50,46$, $p < 0,0001$) (см. табл. 2), что свидетельствует о выраженной вариабельности EC_{50} и, следовательно, эффективности препаратов в данной схеме. Для уточнения различий между конкретными парами экстрактов были проведены множественные

попарные сравнения с использованием t-критерия Стьюдента (с допущением неравенства дисперсий). Общее количество попарных сравнений составило 561. Для контроля уровня ошибки первого рода при множественных сравнениях использована поправка Холма. В результате, наименьшие значения EC_{50} были выявлены для экстрактов листьев *A. vulgaris* и *A. glauca* (с EC_{50} = $14,65$ мкг/мл), а также экстракта соцветий *A. absinthium* (с EC_{50} = $13,67$ мкг/мл), что статистически значимо отличает их от большинства других экстрактов ($p < 0,05$, Holm-коррекция). Эти образцы проявили антигерпетическую эффективность, сопоставимую с наиболее активными экстрактами, выделенными по схеме «лечение» инфицированных клеток. Для стеблевых экстрактов (например, *A. dracunculus*, *A. sieversiana*, *A. frigida*, *A. macrantha*) определены наивысшие значения EC_{50} (до $218,75$ мкг/мл), что подтверждает их значительно меньшую эффективность. Различия между стеблевыми и листовыми/соцветий экстрактами большинства видов полыни оказались статистически значимыми. Также были выявлены также различия между экстрактами одного и того же ботанического вида, но собранными в различных географических локациях. В частности, экстракты листьев *A. dracunculus* из Коченево и Сузуна оказались значимо эффективнее, чем экстракты стеблей и соцветий этого вида полыни, собранного в Бердске. Это позволяет предполагать вклад региональных условий в вариацию накопления БАВ. Экстракты травы (*A. pontica*, *A. macrantha*) показали средние и высокие значения EC_{50} ($55,5 \pm 23,76$ и $218,75 \pm 40,09$ мкг/мл) и не отличались по эффективности от наименее активных образцов. Контрольный препарат ацикловир проявил активность с EC_{50} = $1,9 \pm 0,48$ мкг/мл, как и по схеме «лечение» инфицированных клеток, что значительно превосходит все растительные препараты по эффективности по профилактической схеме эксперимента ($p < 0,001$ в каждом попарном сравнении). В целом, статистический анализ подтвердил высокую эффективность экстрактов листьев и соцветий *A. absinthium*, *A. glauca* и *A. vulgaris* в профилактической схеме, а также продемонстрировал значимые различия, связанные как с ботанической принадлежностью, так и с анатомо-географическим происхождением сырья.

Таким образом, дополнительный статистический анализ подтверждает, что экстракты листьев и соцветий разных видов полыни обладают не только высокой противовирусной активностью (согласно выявленным показателям EC_{50}) при сравнении с литературными данными, но и более выраженной цитотоксичностью, тогда как стеблевые и травяные фракции характеризуются существенно меньшей токсичностью, но и слабой эффективностью против вируса герпеса *in vitro*. Полученные данные подчеркивают важность учета CC_{50} при выборе экстрактов для дальнейшей оценки терапевтического индекса (SI_{50}) и доклинического тестирования по схеме «лечение» инфицированных клеток и/или «профилактика» заражения.

3. Определение БАВ в экстрактах методом спектрофотометрии

Спектрофотометрический анализ показал, что экстракты ***A. dracunculus***** (место сбора Черепановский район, окрестности деревни Крутишка, $54^{\circ}10'50''$ с.ш. $83^{\circ}08'55''$ в.д.) содержит более высокий уровень

флавоноидов в процентном отношении (15,83 % в листьях, 9,89 % в стеблях, 13,17 % в соцветиях), полифенольных соединений (26,0 % в листьях, 25,0 % в стеблях, 31,60 % в соцветиях) и оксикоричных кислот (34,00 % в листьях, 12,40 % в стеблях, 12,60 % в соцветиях) в отличие от экстрактов этого вида полыни, собранных в других местах Новосибирской области – * г. Бердск (54°45' с.ш. 83°06' в.д.) и *** Коченевский район, окрестности р.п. Коченево (55°01' с.ш. 82°13' в.д.). Сравнение содержания БАВ *A. frigida*, собранной в Новосибирской области и Республике Алтай, не выявило значительных отличий, кроме того, что экстракт листьев полыни, собранной в Сузунском районе, содержит более значительное количество полифенольных соединений в пересчете на катехин – 27,20 %, чем экстракт листьев этого вида полыни, собранной в горном Алтае – 8,7 %. Немного отличается содержание БАВ в экстрактах *A. sieversiana* – в листьях и соцветиях *A. sieversiana** (место сбора Сузунский район Новосибирской области) выше уровень флавоноидов – 11,37 и 8,46 %, соответственно, чем в соответствующих экстрактах *A. sieversiana*** (место сбора Чемальский муниципальный район Республики Алтай) – 2,74 и 2,77 %, соответственно. В экстрактах листьев и стеблей *A. sieversiana*** выше уровень полифенольных соединений в пересчете на катехин – 16,30 и 16,50 %, соответственно (табл. 4).

По содержанию суммы флавоноидов в пересчете на рутин приготовленные нами экстракты (части растения) можно расположить в следующем порядке (по убывающей): соцветия *A. glauca* (26,11 %), листья *A. dracunculus*** (15,83 %), листья *A. glauca* (14,23 %), соцветия *A. dracunculus*** (13,17 %), стебель *A. glauca* и трава *A. pontica* (12,80 %), соцветия *A. frigida** (11,71%), листья *A. sieversiana** (11,37 %), соцветия *A. frigida*** (10,86 %), стебель *A. dracunculus*** (9,89 %), трава *A. macrantha* (9,71 %), листья *A. frigida*** (8,65 %), соцветия *A. sieversiana** (8,46 %), стебель *A. frigida** (6,67 %), соцветия *A. vulgaris* (6,40 %), стебель *A. sieversiana*** (6,06 %), стебель *A. frigida*** (5,43 %), соцветия *A. absinthium* (4,16 %), листья *A. vulgaris* (3,74 %), стебель *A. dracunculus***** (3,35 %), соцветия *A. dracunculus***** (2,94 %), листья *A. dracunculus** (2,66 %), соцветия *A. dracunculus** (2,11 %), листья *A. frigida** (1,59 %), стебель *A. dracunculus**(1,13 %), стебель *A. absinthium* (2,91 %), соцветия *A. sieversiana*** (2,77 %), листья *A. absinthium* (2,79 %), листья *A. sieversiana*** (2,74 %), стебель *A. macrantha* (2,0 %), стебель *A. sieversiana** (2,0 %), листья *A. dracunculus***** (0,89 %) (табл. 4).

По содержанию полифенольных соединений в пересчете на катехин экстракты (части растения) можно расположить в следующем порядке (по убывающей): соцветия *A. dracunculus*** (31,6 %), соцветия *A. glauca* (31,4 %), листья *A. glauca* (30,8 %), соцветия *A. vulgaris* (27,7 %), листья *A. frigida** (27,2 %), листья *A. dracunculus*** (26,0 %), стебель *A. dracunculus*** (25,0 %), соцветия *A. dracunculus** (21,6 %), стебель *A. glauca* (21,4 %), соцветия *A. dracunculus***** (21,3 %), соцветия *A. absinthium* (21,20 %), стебель *A. macrantha* (20,3 %), листья *A. absinthium* (20,0 %), соцветия *A. sieversiana** (19,8 %), соцветия *A. frigida*** (19,7 %), соцветия *A. frigida** (19,2 %), соцветия *A. sieversiana*** (18,2 %), листья *A. dracunculus** (16,7 %), стебель *A. sieversiana*** (16,5 %), трава *A. pontica* (16,5 %),

листья *A. sieversiana*** (16,3 %), листья *A. dracunculus**** (15,5 %), трава *A. macrantha* (15,0 %), стебель *A. dracunculus**** (15,3 %), стебель *A. absinthium* (14,6 %), стебель *A. dracunculus** (14,1 %), листья *A. sieversiana** (13,8 %), листья *A. vulgaris* (12,1 %), стебель *A. frigida** (11,8 %), стебель *A. frigida*** (11,2 %), листья *A. frigida*** (8,7 %), стебель *A. sieversiana** (6,7 %) (табл. 4).

По содержанию оксикоричных кислот в пересчете на хлоргеновую кислоту экстракты (части растения) можно расположить в следующем порядке (по убывающей): листья *A. glauca* (40,4 %), листья *A. dracunculus*** (34,0 %), соцветия *A. vulgaris* (31,0 %), трава *A. pontica* (23,9 %), соцветия *A. glauca* (23,5 %), стебель *A. macrantha* (21,1 %), соцветия *A. frigida*** (17,3 %), листья *A. vulgaris* (17,0 %), трава *A. macrantha* (16,50 %), стебель *A. sieversiana*** (16,2 %), соцветия *A. dracunculus** (14,1 %), соцветия *A. frigida** (13,4 %), листья *A. frigida** (12,8 %), соцветия *A. dracunculus*** (12,60 %), листья *A. frigida*** (12,6 %), соцветия *A. sieversiana** (12,5 %), стебель *A. dracunculus*** (12,4 %), стебель *A. glauca* (9,4 %), листья *A. sieversiana** (9,3 %), соцветия *A. sieversiana*** (9,0 %), соцветия *A. absinthium* (8,10 %), стебель *A. frigida** (6,6 %), стебель *A. frigida*** (6,4 %), листья *A. dracunculus** (6,0 %), соцветия *A. dracunculus**** (5,8 %), листья *A. absinthium* (5,7 %), листья *A. sieversiana*** (5,3 %), стебель *A. dracunculus** (4,1 %), стебель *A. sieversiana** (3,7 %), стебель *A. absinthium* (3,5 %), листья *A. dracunculus**** (3,3 %), стебель *A. dracunculus**** (2,8 %) (табл. 4).

Для определения взаимосвязи между антигерпетической активностью экстрактов полыни и содержанием БАВ был проведен корреляционный анализ, который выполнялся по методу Пирсона, позволяющему количественно оценить степень линейной связи между двумя непрерывными переменными. Выбор метода Пирсона обусловлен тем, что исходные переменные (содержание флавоноидов, полифенольных соединений и оксикоричных кислот, а также значения EC_{50} и CC_{50}) представлены в виде непрерывных чисел и варьируют в достаточно широком диапазоне. Для каждой пары переменных рассчитывался коэффициент корреляции r и соответствующее значение p -value. Последнее отражает статистическую значимость наблюдаемой связи: при $p < 0,05$ связь считается статистически значимой на 95 % уровне доверия.

Анализ экстрактов листьев полыни показал (табл. 5), что ни одна из оцененных пар «состав и активность» не продемонстрировала статистически значимой корреляции (все $p > 0,05$). Наиболее выраженной, но остающейся на уровне тенденции, оказалась положительная корреляция между уровнем полифенолов (в пересчете на катехин) и CC_{50} при нейтрализации свободных вирионов ($r = 0,518$, $p = 0,020$). Также наблюдалась положительная, но статистически незначимая корреляция между флавоноидами (в пересчете на рутин) и CC_{50} (по схемам «лечение» и/или «профилактика») ($r = 0,714$, $p = 0,088$), что может указывать на потенциальную роль полифенольных компонентов в общей антивирусной активности сухих этанольных экстрактов разных видов полыни. Содержание оксикоричных кислот не продемонстрировало сколько-нибудь систематических или значимых связей.

Таблица 4. Содержание биологически активных соединений в сухих этанольных экстрактах *Artemisia* spp. в процентах**Table 4.** Percentage content of biologically active compounds in dry ethanol extracts of *Artemisia* spp.

Вид полыни Type of wormwood	Части растения Parts of plant	Примечание Note	Флавоноиды в пересчете на рутин Flavonoids in terms of rutin	Полифенольные соединения в пересчете на катехин Polyphenolic compounds in terms of catechin	Оксикоричные кислоты в пересчете на хлорогеновую кислоту Oxycoric acids in terms of chlorogenic acid
<i>A. dracunculus</i>	Листья Leaves	*	2,66±0,05	16,70±0,56	6,00±0,15
		**	15,83±0,30	26,00±0,78	34,00±0,95
		***	0,89±0,01	15,50±0,59	3,30±0,07
	Стебель Stem	*	1,13±0,02	14,10±0,59	4,10±0,13
		**	9,89±0,17	25,00±12,40	12,40±0,39
		***	3,35±0,04	15,3±0,64	2,80±0,06
	Соцветия Inflorescences	*	2,11±0,03	21,60±0,71	14,10±0,37
		**	13,17±0,18	31,60±0,98	12,60±0,32
		***	2,94±0,06	21,30±0,72	5,80±0,15
<i>A. frigida</i>	Листья Leaves	*	1,59±0,03	27,20±0,86	12,80±0,24
		**	8,65±0,15	8,70±0,37	12,60±0,35
	Стебель Stem	*	6,67±0,10	11,8±0,35	6,60±0,19
		**	5,43±0,08	11,20±0,40	6,40±0,13
	Соцветия Inflorescences	*	11,71±0,24	19,20±0,68	13,40±0,30
		**	10,86±0,15	19,70±0,72	17,30±0,53
<i>A. sieversiana</i>	Листья Leaves	*	11,37±0,15	13,80±0,59	9,30±0,19
		**	2,74±0,05	16,30±0,55	5,30±0,14
	Стебель Stem	*	2,00±0,03	6,70±0,26	3,70±0,08
		**	6,06±0,11	16,50±0,65	16,20±0,52
	Соцветия Inflorescences	*	8,46±0,12	19,80±0,65	12,50±0,35
		*	2,77±0,05	18,20±0,64	9,00±0,25
<i>A. vulgaris</i>	Листья Leaves		3,74±0,06	12,10±0,50	17,00±0,46
	Стебель Stem		н.о. n.o.	н.о. n.o.	н.о. n.o.
	Соцветия Inflorescences		6,40±0,12	27,70±1,00	31,00±0,63
<i>A. glauca</i>	Листья Leaves		14,23±0,26	30,80±1,06	40,40±1,24
	Стебель Stem		12,80±0,25	21,40±0,66	9,40±0,18
	Соцветия Inflorescences		26,11±0,32	31,40±0,95	23,50±0,4
<i>A. absinthium</i>	Листья Leaves		2,79±0,06	20,00±0,73	5,70±0,18
	Стебель Stem		2,91±0,05	14,60±0,48	3,50±0,09
	Соцветия Inflorescences		4,16±0,06	21,20±0,67	8,10±0,16
<i>A. macrantha</i>	Трава Grass		9,71±0,13	15,00±0,57	16,50±0,34
	Стебель Stem		2,00±0,03	20,30±0,78	21,10±0,37
<i>A. pontica</i>	Трава Grass		12,8±0,21	16,50±0,56	23,9±0,76

Примечание: значения (среднее арифметическое ± доверительный интервал)

представлены в процентах; н.о. – не определяли

Note: the values (arithmetic mean ± confidence interval) are presented as a percentage; n.o. – not determined.

Для экстрактов стеблей разных видов полыни ни один из коэффициентов корреляции не достиг уровня статистической значимости. Наиболее выраженными, но также статистически незначимыми оказались:

отрицательная корреляция между флавоноидами и ЕС₅₀ по схеме «лечения» инфицированных клеток ($r = -0,305$, $p = 0,39$), умеренная положительная корреляция между полифенолами и СС₅₀ экстрактов (для реакции

нейтрализация) ($r = 0,528$, $p = 0,077$). Аналогичная связь наблюдается между содержанием оксикоричных кислот и EC_{50} экстрактов по схеме «лечение» инфицированных клеток ($r = 0,537$, $p = 0,13$) (табл. 6). Таким образом, для стеблевой части наблюдаются лишь

слабые и разрозненные тенденции, не позволяющие однозначно интерпретировать влияние отдельных групп соединений на антивирусную активность или токсичность.

Таблица 5. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи между антигерпетической активностью экстрактов листьев полыни и состава БАВ

Table 5. Results of the correlation analysis of the relationship between the antiherpetic activity of wormwood leaf extracts and the composition of BAS

БАВ BAS	CC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	EC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	$CC_{50}^{**/***}$	$p\text{-value}^{**/***}$	EC_{50}^{**}	$p\text{-value}^{**}$	EC_{50}^{***}	$p\text{-value}^{***}$
Флавоноиды Flavonoids	0,39341	0,26070	0,06634	0,85552	0,31970	0,36786	-0,26221	0,46245	-0,35982	0,30713
Полифенолы Polyphenols	0,23219	0,51860	0,16320	0,65237	0,71412	0,02034	0,35969	0,30731	0,23147	0,51994
Оксикорич- ные кислоты Oxycoric acids	0,34671	0,32635	0,08442	0,81664	0,56635	0,08785	-0,17705	0,62461	-0,32701	0,35638

Примечание: CC_{50}^* и $p\text{-value}^*$ – значения CC_{50} и $p\text{-value}$ для реакции нейтрализации; EC_{50}^* и $p\text{-value}^*$ – значения EC_{50} и $p\text{-value}$ в реакции нейтрализации; EC_{50}^{**} и $p\text{-value}^{**}$ – значения EC_{50} и $p\text{-value}$ в реакции «лечение» инфицированных клеток; EC_{50}^{***} и $p\text{-value}^{***}$ – значения EC_{50} и $p\text{-value}$ в реакции «профилактика» заражения клеток; $CC_{50}^{**/***}$ и $p\text{-value}^{**/***}$ – значения CC_{50} и $p\text{-value}$ для реакций «лечение» инфицированных клеток и «профилактика» заражения клеток

Note: CC_{50}^* and $p\text{-value}^*$ – CC_{50} and $p\text{-value}$ for the neutralisation reaction; EC_{50}^* and $p\text{-value}^*$ – EC_{50} and $p\text{-value}$ for the neutralisation reaction; EC_{50}^{**} and $p\text{-value}^{**}$ – EC_{50} and $p\text{-value}$ for the "treatment" of infected cells; EC_{50}^{***} and $p\text{-value}^{***}$ – EC_{50} and $p\text{-value}$ for the "prevention" of infection; $CC_{50}^{**/***}$ and $p\text{-value}^{**/***}$ – CC_{50} and $p\text{-value}$ for the "treatment" of infected cells and for the "prevention" of infection

Таблица 6. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи между антигерпетической активностью экстрактов стеблей полыни и состава БАВ

Table 6. Results of the correlation analysis of the relationship between the antiherpetic activity of extracts of wormwood stems and the composition of BAS

БАВ BAS	CC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	EC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	$CC_{50}^{**/***}$	$p\text{-value}^{**/***}$	EC_{50}^{**}	$p\text{-value}^{**}$	EC_{50}^{***}	$p\text{-value}^{***}$
Флавоноиды Flavonoids	0,17432	0,63006	0,12766	0,72525	0,24776	0,49009	-0,30527	0,39106	0,01564	0,96580
Полифенолы Polyphenols	0,02544	0,94439	0,58214	0,07745	-0,10115	0,78098	-0,09535	0,79330	0,19927	0,58099
Оксикоричные кислоты Oxycoric acids	0,33181	0,34893	0,32135	0,36525	-0,01293	0,97173	0,22258	0,53653	0,51639	0,12648

Примечание: соответствует табл. 5

Note: corresponds to Table 5

В экстрактах соцветий разных видов полыни также не выявлено статистически значимых корреляций. Однако определенные слабые или умеренные тренды присутствуют: умеренная положительная корреляция между содержанием флавоноидов и CC_{50} при нейтрал-

зации свободных вирионов ($r = 0,588$, $p = 0,073$), слабая отрицательная корреляция между содержанием полифенольных соединений и EC_{50} по схеме «лечения» инфицированных клеток ($r = -0,291$, $p = 0,415$) (табл. 7).

Таблица 7. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи между антигерпетической активностью экстрактов соцветий полыни и состава БАВ

Table 7. Results of the correlation analysis of the relationship between the antiherpetic activity of extracts of wormwood inflorescences and the composition of BAS

БАВ BAS	CC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	EC_{50}^*	$p\text{-value}^*$	$CC_{50}^{**/***}$	$p\text{-value}^{**/***}$	EC_{50}^{**}	$p\text{-value}^{**}$	EC_{50}^{***}	$p\text{-value}^{***}$
Флавоноиды Flavonoids	0,58808	0,07376	0,15036	0,77207	0,27877	0,43542	-0,15390	0,67120	-0,18354	0,70270
Полифенолы Polyphenols	0,34495	0,32899	0,49434	0,14640	-0,14319	0,69311	-0,29069	0,41518	-0,28713	0,42118
Оксикорич- ные кислоты Oxycoric acids	0,41337	0,23507	-0,06655	0,85506	0,18794	0,60309	0,21491	0,55101	0,18605	0,60681

Примечание: соответствует табл. 5

Note: corresponds to Table 5

Оказалось, что ни одна из корреляций по совокупности антигерпетической активности экстрактов всех органов растений не является статистически значимой при уровне значимости $p < 0,05$. Самая близкая – между

содержанием флавоноидов и значениями CC_{50} экстрактов (для реакции нейтрализации): $r=0,315$, $p=0,079$ – это тенденция, но не достоверный результат (табл. 8).

Таблица 8. Совокупность статистически значимой антигерпетической активности экстрактов всех органов (листьев, стебля и соцветий) разных видов полыни от содержания БАВ

Table 8. Totality of statistically significant antiherpetic activity of extracts of all organs (leaves, stems and inflorescences) of different types of wormwood from the content of BAS

Показатель Indicator	Флавоноиды Flavonoids		Полифенолы Polyphenols		Оксикоричные кислоты Oxycoric acids	
	r	p-value	r	p-value	r	p-value
CC₅₀ (нейтрализация) CC ₅₀ (neutralisation)	0,315	0,0791	–0,0015	0,9933	0,258	0,1539
EC₅₀ (нейтрализация) EC ₅₀ (neutralisation)	–0,003	0,9877	0,196	0,2833	–0,101	0,5808
CC₅₀ (лечение или профилактика) CC ₅₀ (treatment or prevention)	0,162	0,3758	0,0239	0,8968	0,0183	0,9207
EC₅₀ (лечение) EC ₅₀ (treatment)	–0,235	0,1956	–0,170	0,3509	–0,142	0,4390
EC₅₀ (профилактика) EC ₅₀ (prevention)	–0,187	0,3059	–0,203	0,2653	–0,136	0,4589

Таким образом, несмотря на отсутствие строгой статистической значимости, можно предположить, что компоненты, ассоциированные с фенольным метаболизмом, могут оказывать умеренное влияние на биологические эффекты экстрактов разных видов полыни (и частей растения), в частности, на цитотоксичность. Однако вариабельность значений и ограниченный размер выборки не позволяют сделать окончательные выводы. Проведенный дополнительный статистический анализ показал, что линейные корреляции между химическим составом (в пересчете на рутин, катехин и хлорогеновую кислоту) и антивирусной активностью экстрактов разных видов полыни не носят выраженного характера, за исключением отдельных тенденций, преимущественно относящихся к цитотоксичности. Полученные данные подтверждают, что влияние БАВ на EC_{50} и CC_{50} носит многокомпонентный и, вероятно, нелинейный характер, а вклад отдельных соединений затруднительно интерпретировать без более комплексного моделирования и расширения выборки.

По данным литературы, экстракты полыни могут влиять на важные стадии «жизненного» цикла HSVs, такие как прикрепление и проникновение в чувствительную клетку, а также ингибирование вирусной репликации внутри инфицированной клетки. Например, Liu соавт. на основании данных электронной микроскопии, показали, что сухой этанольный экстракт *A. argyi* в концентрации 10 мкг/мл разрушает целостность мембраны вирусных частиц HSVs, что приводит к нарушению прикрепления и проникновения патогенов в клетку [36]. Также недавно представлены результаты по активности *in vitro* сухого этанольного экстракта полыни *A. vulgaris*, произрастающей в Китае. Авторы наблюдали 70 %-е ингибирование HSV-1 при концентрации растительного препарата 40 мкг/мл в реакции прямой инактивации вируса. Отмечается, что по данным иммуноблоттинга (с использованием специфических антител), механизм действия БАВ этого экстракта может быть связан с его прямым воздействием на структурные вирусные гликопротеины

gB и gD, т.е. на снижение способности проникновения вируса в клетки и, соответственно, уменьшение количества образования потомственных вирионов. Методом жидкостной хроматографии выявлены основные компоненты экстракта – это фенопрофен кальций (FenoprofenCa, нестероидное противовоспалительное вещество) и налоксон (Naloxone, антагонист опиоидных рецепторов). Xiao с соавт. анализом *in silico* подтверждено, что домены вирусных гликопротеинов gB и gD, необходимые для контакта с чувствительной клеткой – «хозяином», могут быть блокированы этими соединениями [53]. В Италии Sinico с соавт. количественным колориметрическим методом (Tetrazolium-based colorimetric method, MTT) было оценено эффективное влияние липосомального включения эфирного масла, полученного из листьев полыни древовидной (*A. arborescens* (Vail.) L.), на противогерпетическую активность (против HSV-1) *in vitro*. Определено также, что состав эфирного масла представляет собой сложную смесь органических соединений, среди которых монотерпеновые кетоны β-туйон и камфора составляют более 50% [54]. Saddi M. с соавт. (также в Италии) показано, что противогерпетическая активность эфирного масла *A. arborescens* обусловлена, главным образом, прямым вирулицидным действием, т.е. при непосредственном воздействии препарата на патоген. Значения IC_{50} , определенные методом по снижению количества БОЕ по сравнению с контролем на культуре клеток Vero, составили 2,4 и 4,1 мкг/мл для HSV-1 и HSV-2, соответственно. С учетом значения CC_{50} , равного 132,0 мкг/мл, SI_{50} для эфирного масла оказался достаточно высоким – на уровне 55 против HSV-1 и 32,2 против HSV-2 [34]. Эксперименты *in vivo* (на новорожденном поросенке) позволили продемонстрировать способность накопления в коже наночастиц эфирного масла *A. arborescens* в липосомальной оболочке. На основе результатов по стабильности наночастиц при хранении в течение двух лет, успешной трансдермальной доставке и положительном анти HSV-1 эффекте на культуре клеток Vero, авторы

предполагают полезность фитокомплекса эфирного масла *A. arborescens* для лечения проявлений герпеса на коже [55]. Эфирное масло, полученное из листьев калифорнийской полыни или полыни Дугласа (*A. douglasiana* Bess.), собранной в провинции Сан-Луис Аргентины, проявило *in vitro* (на культуре клеток Vero) вирулицидную активность в отношении HSV-1 в диапазоне концентраций 0,065 – 0,15 мг/мл. В эфирном масле выделены активные вещества – α -туйон (α -thujone), β -туйон (β -thujone), борнеол (borneol), п-цимен (*p*-cymene), 1,8-цинеол (1,8-cineole) и изокариофилэнопоксид (isocaryophyllene-epoxide) [56]. По результатам газовой хроматографии/масс-спектрометрии, эфирное масло листьев полыни *A. mendozana* D.C. (v.n. ajenjo), естественный ареал которой находится на северо-западе Аргентины, содержит терпеноид камфору (Camphor), артемизол (Artemisole), спирт артемизии (artemisial alcohol) и терпеновый спирт борнеол (Borneol). При концентрации 0,3 мг/мл эфирное масло проявляло прямое вирулицидное действие в отношении HSV-1 на культуре клеток Vero [57]. Angelova с соавт. исследовали эфирное масло полыни ромашколистной (*A. chamaemelifolia* Vill.), собранной в Болгарии, против штаммов HSV-2 – как чувствительного к ацикловиру, так и устойчивого к этому противовирусному препарату. В результате оказалось, что растительный препарат *in vitro* снижал «урожай» инфекционного вируса двух штаммов на 80 % и 70 %, соответственно, на перевиваемой культуре клеток почек крупного рогатого скота (MDBK) при концентрации 0,562 мг/мл [35]. Karamoddini с соавт. показали, что метанольные экстракты видов полыни *A. annua*, *A. chamaemelifolia*, *A. campestris*, *A. fragrans*, *A. incana*, *A. persica* и *A. vulgaris* проявляют ингибирующую активность на репликацию HSV-1 по схеме «лечения» клеток в диапазоне 12,5–25,0 мкг/мл [52].

В наших экспериментах самая высокая инактивирующая активность с $EC_{50}=2,46\pm0,63$ мкг/мл с $SI_{50}=257,36$ была определена для экстракта листьев *A. vulgaris*. Этот же экстракт проявил и ингибирующую активность в схемах «профилактики» заражения и «лечения» инфицированных клеток с EC_{50} , равными $4,64\pm1,91$ и $19,53\pm5,01$ мкг/мл, соответственно. Полынь обыкновенная *A. vulgaris* L. (чернобыльник) в средние века называли «матерью трав», т.к. этот вид распространен почти во всем мире и имеет большое значение в истории медицины разных стран. Ареал вида – Европа, Малая Азия до Индии, Китая, Монголии, Маньчжурии, Кореи, Японии, Явы и Северной Америки. В РФ *A. vulgaris* распространена по всей европейской части, на Кавказе, в Сибири, на Дальнем Востоке и в Центральной Азии, широко интродуцирована в регионах Южной и Северной Америки. Препарат *Artemisia vulgaris herba* включена в Европейскую фармакопею в качестве гомеопатического средства благодаря наличию эфирного масла, флавоноидов, сесквитерпеноидов-лактонов и связанной с ними биологической активностью. Кроме того, этот вид полыни используется в традиционной китайской, индуистской и европейской медицине для регулирования функционирования желудочно-кишечного тракта и лечения различных гинекологических заболеваний [58]. Известно, что *A. vulgaris*, как и другие полыни содержит терпеноиды, флавоноиды, фенольные кислоты, полисахариды, фенилпропаноиды, стероиды и жирные кислоты [53].

Полынь горькая *A. absinthium* L. голарктический вид, естественный ареал которого простирается от Европы до Сибири и Западных Гималаев, Северной Африки, интродуцирован во многих регионах мира. Водный экстракт этого растения традиционно используется для облегчения боли в желудке. Несмотря на то, что использование полыни может вызывать некоторые сомнения в безопасности, в основном, из-за наличия психоактивных туйонов (производных терпенов), ее популярность как лекарственного растения очень высока. Она также является основным ингредиентом абсента – алкогольного напитка. Поэтому *A. absinthium* можно использовать как в качестве лекарственного растения, так и в пищу, при условии, что содержание туйона контролируется и не превышает допустимых пределов [59]. *A. absinthium* является единственным официальным лекарственным растением из рода *Artemisia* в РФ. Препараты «Полыни горькой трава» и «Полыни настойка» входят в Государственный реестр лекарственных средств и применяются при заболеваниях желудочно-кишечного тракта [60]. В наших экспериментах экстракт листьев *A. absinthium* проявил активность с $EC_{50}=7,32\pm0,94$ мкг/мл с $SI_{50}=102,45$ при прямой инактивации 10^3 БОЕ/мл HSV-2. Интересно, что экстракт соцветий этого вида полыней одинаково эффективен в схемах «профилактики» заражения и «лечения» инфицированных клеток с EC_{50} , равными $13,67\pm2,50$ мкг/мл и $SI_{50}=45,72$, соответственно.

Полынь римская *A. pontica* L. – многолетний вид, распространенный по всей Юго-Восточной Европе, в Сибири и Центральной Азии. По сравнению с родственными видами *Artemisia*, фитохимический профиль растительных экстрактов *A. pontica* не был всесторонне изучен, хотя в нескольких исследованиях сообщалось о присутствии сесквитерпеновых лактонов (артемина, гидрокситаурина и гидроксизудесманолидов), эфирного масла и флавоноидов – генкванина (Genkwanin) и метиловых эфиров апигенина. Надземные части *A. pontica* традиционно используются как горькое тонизирующее средство, а также как седативные и противоглистные средства. Недавние исследования доказали дополнительные полезные эффекты, такие как противовоспалительные, обезболивающие, антиоксидантные и инсектицидные свойства [61–63]. В наших экспериментах для экстракта травы *A. pontica* с $EC_{50}=30,85\pm7,91$ мкг/мл, при очень низкой цитотоксичности ($CC_{50}=6750,00\pm2151,81$ мкг/мл) при прямой инактивации вируса определен $SI_{50}=218,80$.

По данным спектрофотометрии, все части растений исследованных *Artemisia* spp. содержат флавоноиды (в пересчете на рутин от 0,89 до 26 %), полифенольные соединения (в пересчете на катехин от 6,7 до 30,80 %) и сумму оксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую кислоту от 2,8 до 40,40 %). Прямой зависимости от процентного соотношения этих БАВ на инактивирующую и ингибирующую активность нами не выявлено. Полифенольные соединения могут влиять на разные стадии «жизненного» цикла вирусов сочетано или индивидуально в разной концентрации. Например, протокатеховая кислота из цветков гибискуса сабдарифа (*Hibiscus sabdariffa* L., *Malvaceae*) была идентифицирована как вещество, деактивирующее репликацию ДНК HSV-2 в клетках Vero при $EC_{50}=0,92$ мкг/мл, что эффективнее при сравнении с

активностью ACV (с $EC_{50}=1,43$ мкг/мл) и с $IS_{50}>217$ и >140 соответственно [64].

Таким образом, на основе полученных нами результатов можно сделать вывод о наличии в этанольных экстрактах *Artemisia* spp., растворенных в ДМСО, БАВ (это флавоноиды, полифенольные соединения и оксикоричные кислоты), способствующих инактивации свободных вирионов и эффективно действующих на репликацию HSV-2 внутри инфицированных клеток *in vitro*. Необходимы дополнительные исследования на определение содержания в представленных *Artemisia* spp. терпенов, таких как артемизин, артезунат и др.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Заведующему лаборатории ООО НПФ «Золотая долина» (г. Новосибирск), кандидату биологических наук Романюку Владимиру Владимировичу за определение видов полыни на местности. Заведующему лабораторией «Гербарий» Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС) СО РАН (г. Новосибирск), кандидату биологических наук Шауло Дмитрию Николаевичу за подтверждение определенных видов и идентификацию вида *A. macrantha* Ledeb.
2. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ 23-64-00005 «Геномика и эволюция вирусных патогенов, вызывающих наиболее распространенные респираторные заболевания» и в рамках госзадания № 122032300158-5, выполняемого в НИИ вирусологии ФИЦ ФТМ.

ACKNOWLEDGMENT

1. To Dr Vladimir V. Romanyuk (Head of the laboratory of the Zolotaya Dolina research and production company, Novosibirsk) for the identification of wormwood species on the ground. To Dr Dmitry N. Shaulo (Head, Herbarium Laboratory, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk), for confirming certain species and identifying the species *A. macrantha* Ledeb.
2. The work was supported by the Russian Science Foundation (project no. 23-64-00005) Genomics and Evolution of Viral Pathogens Causing the Most Common Respiratory Diseases, and within the framework of state task No. 122032300158-5 performed at the Research Institute of Virology of FRCFTM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McQuillan G., Kruszon-Moran D., Flagg E.W., Paulose-Ram R. Prevalence of Herpes Simplex Virus Type 1 and Type 2 in Persons Aged 14–49: United States, 2015–2016 // National Center for Health Statistics; Hyattsville, MD, USA: 2018. P. 1–8. CHS Data Brief. PMID: 29442994
2. Burrell S., Boutolleau D., Ryu D., Agut H., Merkel K., Leendertz F.H., Calvignac-Spencer S. Ancient Recombination Events between Human Herpes Simplex Viruses // Mol Biol Evol. 2017. V. 34. N 7. P. 1713–1721. DOI: 10.1093/molbev/msx113
3. Koelle D.M., Norberg P., Fitzgibbon M.P. Russell R.M., Greninger A.L., Huang M.-L., Stensland L., Jing L., Magaret A.S., Diem K., Selke S., Xie H., Celum C. et al. Worldwide circulation of HSV-2 × HSV-1 recombinant strains // Sci Rep. 2017. N 7. Article ID: 44084. DOI: 10.1038/srep44084
4. Crawford K.H.D., Selke S., Pepper G., Goecker E., Sobel A., Wald A., Johnston C., Greninger A.L. Performance

characteristics of highly automated HSV-1 and HSV-2 IgG testing // J Clin Microbiol. 2024. V. 62. N 6. Article number: e0026324. DOI: 10.1128/jcm.00263-24
5. Casto A.M., Roychoudhury P., Xie H., Selke S., Perchetti G.A., Wofford H., Huang M.-L., Verjans G.M.G.M., Gottlieb G.S., Wald A. et al. Large, Stable, Contemporary Interspecies Recombination Events in Circulating Human Herpes Simplex Viruses // J Infect Dis. 2020. V. 221. N 8. P. 1271–1279. DOI: 10.1093/infdis/jiz199
6. Andrei G., Snoeck R. Herpes Simplex Virus Drug-Resistance: New Mutations and Insights // Current Opinion in Infectious Diseases. 2013. V. 26. N 6. P. 551–560. DOI: 0000000000000015
7. Sallee L., Boutolleau D. Management of Refractory/Resistant Herpes Simplex Virus Infections in Haematopoietic Stem Cell Transplantation Recipients: A Literature Review // Rev Med Virol. 2024. V. 34. N 5. Article number: e2574. DOI: 10.1002/rmv.2574
8. Fatahzadeh M., Schwartz R.A. Human Herpes Simplex Virus Infections: Epidemiology, Pathogenesis, Symptomatology, Diagnosis, and Management // Journal of the American Academy of Dermatology. 2007. V. 57. N 5. P. 737–763. DOI: 10.1016/j.jaad.2007.06.027
9. Brady R.C., Bernstein D.I. Treatment of herpes simplex virus infections // Antiviral Res. 2004. N 61. P. 73–81. DOI: 10.1016/j.antiviral.2003.09.006
10. Megli C.J., Coyne C.B. Infections at the maternal-fetal interface: an overview of pathogenesis and defence // Nat Rev Microbiol. 2022. V 20. N 2. P. 67–82. DOI: 10.1038/s41579-021-00610-y
11. Smith A.E., McKenney A., Rabinowitz L., Das A. Case Rep Diagnosis of neonatal herpes simplex infection from the placenta // Pediatr. 2020. N 2020. Article ID: 8898612. DOI: 10.1155/2020/8898612
12. Сайт ВОЗ. Интернет ресурс. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/herpes-simplex-virus> (дата обращения: 15.10.2024)
13. Groves M.J. Genital Herpes: A Review // Am Fam Physician. 2016. V. 93. N 11. P. 928–34.
14. Mathew J.Jr., Sapra A. Herpes Simplex Type 2. Book. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan. NBK554427
15. Awasthi S., Friedman H.M. An mRNA vaccine to prevent genital herpes // Transl Res. 2022. V. 242. P. 56–65. DOI: 10.1016/j.trsl.2021.12.006
16. Wald A. Genital HSV-1 infections // Sex Transm Infect. 2006. V. 82. N 3. P. 189–90. DOI: 10.1136/sti.2006.019935
17. Zheng T., Jiang L., Li G., Zeng N., Yu B., Duan S., Wang G., Liu Z. Association between human herpes simplex virus and severe headache or migraine among aged 20–49 years: a cross-sectional study // Front Neurol. 2024. N 15. Article ID: 1476863. DOI: 10.3389/fneur.2024.1476863
18. Okoye J.O., Ngokere A.A., Erinle C., Mbamalu C. Co-existence of Herpes simplex virus type 2 and two other oncoviruses is associated with cervical lesions in women living with HIV in South-Western Nigeria // Afr Health Sci. 2020. V. 20. N 3. P. 1015–1023. DOI: 10.4314/ahs.v20i3.4
19. Looker K.J., Elmes J.A.R., Gottlieb S.L., Schiffer J.T., Vickerman P., Turner K.M.E., Boily M.-C. Effect of HSV-2 infection on subsequent HIV acquisition: an updated systematic review and meta-analysis // Lancet Infect Dis. 2017. V. 17. N 12. P. 1303–1316. DOI: 10.1016/S1473-3099(17)30405-X
20. McClymont E., Tan D.H., Bondy S., Albert A., Coutlée F., Lee M., Walmsley S., Ogilvie G., Money D. HSV-2 infection and HPV incidence, persistence, and precancerous lesions in a cohort of HPV-vaccinated women living with HIV // Int J STD

- AIDS. 2023. V. 34. N 6. P. 402–407. DOI: 10.1177/09564624231154298
21. Navarro-Bielsa A., Gracia-Cazaña T., Aldea-Manrique B., Abadías-Granado I., Ballano A., Bernad I., Gilaberte Y. COVID-19 infection and vaccines: potential triggers of Herpesviridae reactivation // *An Bras Dermatol*. 2023. V. 98. N 3. P. 347–354. DOI: 10.1016/j.abd.2022.09.004
22. Bai L., Xu J., Zeng L., Zhou F. A review of HSV pathogenesis, vaccine development, and advanced applications // *Mol Biomed*. 2024. V. 5. N 1. Article number: 35. DOI: 10.1186/s43556-024-00199-7
23. Rathbun M.M., Szpara M.L. A holistic perspective on herpes simplex virus (HSV) ecology and evolution // *Advances in Virus Research*. 2021. V. 110. N 110. P. 27–57. DOI: 10.1016/bs.aivir.2021.05.001
24. Desai D., Londhe R., Chandane M., Kulkarni S. Altered HIV-1 Viral Copy Number and Gene Expression Profiles of Peripheral (CEM CCR5+) and Mucosal (A3R5.7) T Cell Lines Co-Infected with HSV-2 In Vitro // *Viruses*. 2022. V. 4. N 8. Article ID: 1715. DOI: 10.3390/v14081715
25. Taylor M., Gerriets V. Acyclovir. Book In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. PMID: 31194337. Bookshelf ID: NBK542180.
26. Bautista L., Sirimanatham C., Espinoza J., Cheng D., Tay S., Drayman N. A drug repurposing screen identifies decitabine as an HSV-1 antiviral // *Microbiol. Spectr*. 2024. N 12. Article number: e0175424. DOI: 10.1128/spectrum.01754-24
27. Stamos J.D., Lee L.H., Taylor C., Elias T., Adams S.D. In Vitro and In Silico Analysis of the Inhibitory Activity of EGCG-Stearate against Herpes Simplex Virus-2 // *Microorganisms*. 2022. V. 10. N 7. Article ID: 1462. DOI: 10.3390/microorganisms10071462
28. Todorova N., Rangelov M., Dincheva I., Badjakov I., Enchev V., Markova N. Potential of Hydroxybenzoic Acids from *Graptopetalum Paraguayense* for Inhibiting of Herpes Simplex Virus DNA Polymerase—Metabolome Profiling, Molecular Docking and Quantum-Chemical Analysis // *Pharmacia*. 2022. N 69. P. 113–123. DOI: 10.3897/pharmacia.69.e79467
29. Di Sotto A., Di Giacomo S., Amatore D., Locatelli M., Vitalone A., Toniolo C., Rotino G.L., Scalzo R.L., Palamara A.T., Marocchi M.E., et al. A Polyphenol Rich Extract from *Solanum Melongena* L. DR2 Peel Exhibits Antioxidant Properties and Anti-Herpes Simplex Virus Type 1 Activity In Vitro // *Molecules*. 2018. N 23. Article number: E2066. DOI: 10.3390/molecules23082066
30. Trembl J., Gazdová M., Šmejkal K., Šudomová M., Kubatka P., Hassan S.T.S. Natural Products-Derived Chemicals: Breaking Barriers to Novel Anti-HSV Drug Development // *Viruses*. 2020. V. 12. N 2. Article number: 154. DOI: 10.3390/v12020154
31. Mohan S., Taha M.M.E., Makeen H.A., Alhazmi H.A., Bratty M.A., Sultana S., Ahsan W., Najmi A., Khalid A. Bioactive Natural Antivirals: An Updated Review of the Available Plants and Isolated Molecules // *Molecules*. 2020. V. 25. N 21:4878. DOI: 10.3390/molecules25214878
32. Sharifi-Rad J., Herrera-Bravo J., Semwal P., Painuli S., Badoni H., Ezzat S.M., Farid M.M., Merghany R.M., Aborehab N.M., Salem M.A. et al. *Artemisia* spp.: An Update on Its Chemical Composition, Pharmacological and Toxicological Profiles // *Oxid Med Cell Longev*. 2022. V. 2022. Article ID: 5628601. DOI: 10.1155/2022/5628601
33. Hussain A. A phylogenetic perspective of antiviral species of the genus *Artemisia* (Asteraceae-Anthemideae): A proposal of anti SARS-CoV-2 (COVID-19) candidate taxa // *J Herb Med*. 2022. N 36. Article ID: 100601. DOI: 10.1016/j.hermed.2022.100601
34. Saddi M., Sanna A., Cottiglia F., Chisu L., Casu L., Bonsignore L., De Logu A. Antiherpesvirus activity of *Artemisia arborescens* essential oil and inhibition of lateral diffusion in Vero cells // *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob*. 2007. N 6. Article ID: 10. DOI: 10.1186/1476-0711-6-10
35. Angelova P., Hinkov A., Tsvetkov V., Todorov D., Shishkova K., Dragolova D., Shishkov S., Kapchina-Toteva V. Antiherpes virus activity of extracts from *Artemisia chamaemelifolia* Vill. // *Acad. Bulg. Sci*. 2019. V. 72. N 11. P. 1475–1483. DOI: 10.7546/CRABS.2019.11.04
36. Liu P., Zhong L., Xiao J., Hu Y., Liu T., Ren Z., Wang Y., Zheng K. Ethanol extract from *Artemisia argyi* leaves inhibits HSV-1 infection by destroying the viral envelope // *Virol J*. 2023. V. 20. N 1. Article number: 8. DOI: 10.1186/s12985-023-01969-5
37. Красноборов И.М. Полынь – *Artemisia L.* // Определитель растений Новосибирской области. Новосибирск: Наука, 2000. С. 335–339.
38. Казачинская Е.И., Романова В.Д., Иванова А.В., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Шауло Д.Н., Романюк В.В., Шестопапов А.М. Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 4. С. 111–129. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-111-129>
39. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomova M., Malanik M., Smejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice // *J. Clin. Med*. 2018. N 7. Article ID: 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
40. Benzekri R., Limam F., Bouslama L. Combination effect of three anti-HSV-2 active plant extracts exhibiting different modes of action // *Adv. Tradit. Med*. 2020. N. 20. P. 223–231. DOI: 10.1007/s13596-020-00430-0
41. Казачинская Е.И., Чепурнов А.А., Шелемба А.А., Гусейнова С.А., Магомедов М.Г., Кононова Ю.В., Романюк В.В., Шестопапов А.М. Ингибирующая активность водных экстрактов чайных композиций, индивидуальных ингредиентов для их составления и некоторых растений на репликацию вируса простого герпеса 2 типа *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3. С. 135–152. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-135-152
42. Фисенко В.П. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Под ред. Минздрав РФ, ЗАО ИИА «Ремедиум», М., 2000. 398 с.
43. Величко В.В., Круглов Д.С. Спектрофотометрическое определение А-витаминной активности каротиноидосодержащего сырья // *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2021. N 4. С. 17–26. DOI: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26
44. Курдюков Е.Е., Водопьянова О.А., Антропова Н.В., Митишев А.В., Евграшкина Н.Е. Методика количественного определения суммы дубильных веществ в плодах *Euterpe oleracea* // *Химия растительного сырья*. 2021. N 4. С. 225–229. DOI: 10.14258/jcprm.2021049158
45. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalin inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2 // *J Enzyme Inhib Med Chem*. 2021. V. 36. N 1. P. 497–503. DOI: 10.1080/14756366.2021.1873977
46. Zannella C., Giugliano R., Chianese A., Buonocore C., Vitale G.A., Sanna G., Sarno F., Manzin A., Nebbioso A., Termolino P. et al. Antiviral Activity of *Vitis vinifera* Leaf Extract against SARS-CoV-2 and HSV-1 // *Viruses*. 2021. V. 13. N 7. Article ID: 1263. DOI: 10.3390/v13071263. 25;12(9):2573
47. Mohamed F.F., Anhlán D., Schöföbänker M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrinicius E.R. et al. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2 // *Pharmaceuticals (Basel)*. 2022. V. 15. N 5. P. 530. DOI: 10.3390/ph15050530
48. White E.M., Stampfer S.D., Heldwein E.E. Expression, Purification, and Crystallization of HSV-1 Glycoproteins for

- Structure Determination // *Methods Mol Biol.* 2020. N 2060. P. 377–393. DOI: 10.1007/978-1-4939-9814-2_23
49. Benzekri R., Bouslama L., Papetti A., Hammami M., Smaoui A., Limam F. Anti HSV-2 activity of *Peganum harmala* (L.) and isolation of the active compound // *Microb Pathog.* 2018. N 114. P. 291–298. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.12.017
50. Cheng H.-Y., Lin T.-C., Yang C.-M., Wang K.-C., Lin C.-C. Mechanism of action of the suppression of herpes simplex virus type 2 replication by pterocarnin A // *Microbes Infect.* 2004. N 6. P. 738–744. DOI: 10.1016/j.micinf.2004.03.009
51. Churqui M.P., Lind L., Thörn K., Svensson A., Savolainen O., Aranda K.T., Eriksson K. Extracts of *Equisetum giganteum* L and *Copaifera reticulata* Ducke show strong antiviral activity against the sexually transmitted pathogen herpes simplex virus type 2 // *J. Ethnopharmacol.* 2018. N 210. P. 192–197. DOI: 10.1016/j.jep.2017.08.010
52. Karamoddini M.K., Emami S.A., Ghannad M.S., Sani E.A., Sahebkar A. Antiviral activities of aerial subsets of *Artemisia* species against herpes simplex virus type 1 (HSV1) in vitro // *Asian Biomed.* 2011. V. 5. N 1. P. 63–68. DOI: 10.5372/1905-7415.0501.007
53. Xiao J., Liu P., Hu Y., Liu T., Guo Y., Sun P., Zheng J., Ren Z., Wang Y. Antiviral activities of *Artemisia vulgaris* L. extract against herpes simplex virus // *Chin Med.* 2023. V. 18. N 1. Article number: 21. DOI: 10.1186/s13020-023-00711-1
54. Sinico C., De Logu A., Lai F., Valenti D., Manconi M., Loy G., Bonsignore L., Fadda A. M. Liposomal incorporation of *Artemisia arborescens* L. essential oil and in vitro antiviral activity // *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2005. V. 59. P. 161–168. DOI: 10.1016/j.ejpb.2004.06.005
55. Lai F., Sinico C., De Logu A., Zaru M., Müller R.H., Fadda A.M. SLN as a topical delivery system for *Artemisia arborescens* essential oil: In vitro antiviral activity and skin permeation study // *Int. J. Nanomed.* 2007. V. 2. N 3. P. 419–425.
56. García C.C., Talarico L., Almeida N., Colombes S., Duschatzky C., Damonte E.B. Virucidal activity of essential oils from aromatic plants of San Luis, Argentina // *Phytother. Res.* 2003. V. 17. P. 1073–1075. DOI: 10.1002/ptr.1305
57. Duschatzky C.B., Possetto M.L., Talarico L.B., García C.C., Michis F., Almeida N.V., de Lampasona M.P., Schuff C., Damonte E.B. Evaluation of chemical and antiviral properties of essential oils from South American plants // *Chem. Chemother.* 2005. V. 16. P. 247–251. DOI: 10.1177/095632020501600404
58. Ekiert H., Pajor J., Klin P., Rzepiela A., Ślesak H., Szopa A. Significance of *Artemisia Vulgaris* L. (Common Mugwort) in the History of Medicine and Its Possible Contemporary Applications Substantiated by Phytochemical and Pharmacological Studies // *Molecules.* 2020. V. 25. N 19. Article ID: 4415. DOI: 10.3390/molecules25194415
59. Государственный реестр лекарственных средств. URL: <http://grls.rosminzdrav.ru> (дата обращения: 04.01.2025)
60. Boeing T., de Souza J., da Silva R. de Cássia, Mariano L.N.B., da Silva L.M., Gerhardt G.M., Cretton S., Klein-Junior L.C., de Souza P. Gastroprotective effect of *Artemisia absinthium* L.: A medicinal plant used in the treatment of digestive disorders // *J. Ethnopharmacol.* 2023. V. 312. Article ID: 116488. DOI: 10.1016/j.jep.2023.116488
61. Макарова Д.Л., Ханина М.А., Амелеченко В.П., Домрачев Д.В., Ткачев А.В. Изучение химического состава эфирного масла *Artemisia pontica* L. флоры Сибири // *Химия растительного сырья.* 2008. N 2. С. 55–60.
62. Макарова Д.Л., Величко В.В., Ким Н.Е., Ханина М.Г., Ханина М.А. Фитохимическое исследование растений флоры Сибири // *Фармация.* 2008. N 3. С. 19–22.
63. Trifan A., Zengin G., Sinan K.I., Sieniawska E., Sawicki R., Maciejewska-Turska M., Skalikca-Woźniak K., Luca S.V. Unveiling the Phytochemical Profile and Biological Potential of *Five Artemisia* // *Antioxidants (Basel).* 2022. V. 11. N 5. Article ID: 1017. DOI: 10.3390/antiox11051017
64. Hassan S.T.S., Švajdlenka E., Berchová-Bímová K. Hibiscus sabdariffa L. and Its Bioactive Constituents Exhibit Antiviral Activity against HSV-2 and Anti-Enzymatic Properties against Urease by an ESI-MS Based Assay // *Molecules.* 2017. N 22. Article ID: 722. DOI: 10.3390/molecules22050722

REFERENCES

- McQuillan G., Kruszon-Moran D., Flagg E.W., Paulose-Ram R. Prevalence of Herpes Simplex Virus Type 1 and Type 2 in Persons Aged 14–49: United States, 2015–2016. National Center for Health Statistics; Hyattsville, MD, USA: 2018. P. 1–8. CHS Data Brief. PMID: 29442994
- Burrell S., Boutolleau D., Ryu D., Agut H., Merkel K., Leendertz F.H., Calvignac-Spencer S. Ancient Recombination Events between Human Herpes Simplex Viruses. *Mol Biol Evol.* 2017, vol. 34, no. 7, pp. 1713–1721. DOI: 10.1093/molbev/msx113
- Koelle D.M., Norberg P., Fitzgibbon M.P., Russell R.M., Greninger A.L., Huang M.-L., Stensland L., Jing L., Magaret A.S., Diem K., Selke S., Xie H., Celum C. et al. Worldwide circulation of HSV-2 × HSV-1 recombinant strains. *Sci Rep.*, 2017, no. 7, article id: 44084. DOI: 10.1038/srep44084
- Crawford K.H.D., Selke S., Pepper G., Goecker E., Sobel A., Wald A., Johnston C., Greninger A.L. Performance characteristics of highly automated HSV-1 and HSV-2 IgG testing. *J Clin Microbiol.*, 2024, vol. 62, no. 6, article number: e0026324. DOI: 10.1128/jcm.00263-24
- Casto A.M., Roychoudhury P., Xie H., Selke S., Perchetti G.A., Wofford H., Huang M.-L., Verjans G.M.G.M., Gottlieb G.S., Wald A. et al. Large, Stable, Contemporary Interspecies Recombination Events in Circulating Human Herpes Simplex Viruses. *J Infect Dis.*, 2020, vol. 221, no. 8, pp. 1271–1279. DOI: 10.1093/infdis/jiz199
- Andrei G., Snoeck R. Herpes Simplex Virus Drug-Resistance: New Mutations and Insights. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 2013, vol. 26, no. 6, pp. 551–560. DOI: 0000000000000015
- Sallee L., Boutolleau D. Management of Refractory/Resistant Herpes Simplex Virus Infections in Haematopoietic Stem Cell Transplantation Recipients: A Literature Review. *Rev Med Virol.*, 2024, vol. 34, no. 5, article number: e2574. DOI: 10.1002/rmv.2574
- Fatahzadeh M., Schwartz R. A. Human Herpes Simplex Virus Infections: Epidemiology, Pathogenesis, Symptomatology, Diagnosis, and Management. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2007, vol. 57, no. 5, pp. 737–763. DOI: 10.1016/j.jaad.2007.06.027
- Brady R.C., Bernstein D.I. Treatment of herpes simplex virus infections. *Antiviral Res.*, 2004, no. 61, pp. 73–81. DOI: 10.1016/j.antiviral.2003.09.006
- Megli C.J., Coyne C.B. Infections at the maternal-fetal interface: an overview of pathogenesis and defence. *Nat Rev Microbiol.*, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 67–82. DOI: 10.1038/s41579-021-00610-y
- Smith A.E., McKenney A., Rabinowitz L., Das A. Case Rep Diagnosis of neonatal herpes simplex infection from the placenta. *Pediatr.* 2020, no. 2020, article id: 8898612. DOI: 10.1155/2020/8898612
- The WHO website. Online resource. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/herpes-simplex-virus> (accessed 15.10.2024)
- Groves M.J. Genital Herpes: A Review. *Am Fam Physician.*, 2016, vol. 93, no. 11, pp. 928–34.
- Mathew J.Jr., Sapra A. Herpes Simplex Type 2. Book. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan. NBK554427.

15. Awasthi S., Friedman H.M. An mRNA vaccine to prevent genital herpes. *Transl Res.*, 2022, no. 242, pp. 56–65. DOI: 10.1016/j.trsl.2021.12.006
16. Wald A. Genital HSV-1 infections. *Sex Transm Infect.*, 2006, vol. 82, no. 3, pp. 189–90. DOI: 10.1136/sti.2006.019935
17. Zheng T., Jiang L., Li G., Zeng N., Yu B., Duan S., Wang G., Liu Z. Association between human herpes simplex virus and severe headache or migraine among aged 20–49 years: a cross-sectional study. *Front Neurol.*, 2024, no. 15, article id: 1476863. DOI: 10.3389/fneur.2024.1476863
18. Okoye J.O., Ngokere A.A., Erinle C., Mbamalu C. Co-existence of Herpes simplex virus type 2 and two other oncoviruses is associated with cervical lesions in women living with HIV in South-Western Nigeria. *Afr Health Sci.*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 1015–1023. DOI: 10.4314/ahs.v20i3.4
19. Looker K.J., Elmes J.A.R., Gottlieb S.L., Schiffer J.T., Vickerman P., Turner K.M.E., Boily M.-C. Effect of HSV-2 infection on subsequent HIV acquisition: an updated systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis.*, 2017, vol. 17, no. 12, pp. 1303–1316. DOI: 10.1016/S1473-3099(17)30405-X
20. McClymont E., Tan D.H., Bondy S., Albert A., Coutlée F., Lee M., Walmsley S., Ogilvie G., Money D. HSV-2 infection and HPV incidence, persistence, and precancerous lesions in a cohort of HPV-vaccinated women living with HIV. *Int J STD AIDS*, 2023, vol. 34, no. 6, pp. 402–407. DOI: 10.1177/09564624231154298
21. Navarro-Bielsa A., Gracia-Cazaña T., Aldea-Manrique B., Abadías-Granado I., Ballano A., Bernad I., Gilaberte Y. COVID-19 infection and vaccines: potential triggers of Herpesviridae reactivation. *An Bras Dermatol.*, 2023, vol. 98, no. 3, pp. 347–354. DOI: 10.1016/j.abd.2022.09.004
22. Bai L., Xu J., Zeng L., Zhou F. A review of HSV pathogenesis, vaccine development, and advanced applications. *Mol Biomed.* 2024, vol. 5, no. 1, article number: 35. DOI: 10.1186/s43556-024-00199-7
23. Rathbun M.M., Szpara M.L. A holistic perspective on herpes simplex virus (HSV) ecology and evolution. *Advances in Virus Research*, 2021, vol. 110, no. 110, pp. 27–57. DOI: 10.1016/bs.aivir.2021.05.001
24. Desai D., Londhe R., Chandane M., Kulkarni S. Altered HIV-1 Viral Copy Number and Gene Expression Profiles of Peripheral (CEM CCR5+) and Mucosal (A3R5.7) T Cell Lines Co-Infected with HSV-2 *In Vitro*. *Viruses*, 2022, vol. 4, no. 8, article id: 1715. DOI: 10.3390/v14081715
25. Taylor M., Gerriets V. Acyclovir. Book In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. PMID: 31194337. Bookshelf ID: NBK542180.
26. Bautista L., Sirimanatham C., Espinoza J., Cheng D., Tay S., Drayman N. A drug repurposing screen identifies decitabine as an HSV-1 antiviral. *Microbiol. Spectr.*, 2024, no. 12, article number: e0175424. DOI: 10.1128/spectrum.01754-24
27. Stamos J.D., Lee L.H., Taylor C., Elias T., Adams S.D. In Vitro and In Silico Analysis of the Inhibitory Activity of EGCG-Stearate against Herpes Simplex Virus-2. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 7, article id: 1462. DOI: 10.3390/microorganisms10071462
28. Todorova N., Rangelov M., Dincheva I., Badjakov I., Enchev V., Markova N. Potential of Hydroxybenzoic Acids from *Graptopetalum Paraguayense* for Inhibiting of Herpes Simplex Virus DNA Polymerase–Metabolome Profiling, Molecular Docking and Quantum-Chemical Analysis. *Pharmacia*, 2022, no. 69, pp. 113–123. DOI: 10.3897/pharmacia.69.e79467
29. Di Sotto A., Di Giacomo S., Amatore D., Locatelli M., Vitalone A., Toniolo C., Rotino G.L., Scalzo R.L., Palamara A.T., Marocchi M.E., et al. A Polyphenol Rich Extract from *Solanum Melongena* L. DR2 Peel Exhibits Antioxidant Properties and Anti-Herpes Simplex Virus Type 1 Activity In Vitro. *Molecules*, 2018, no. 23, article number: E2066. DOI: 10.3390/molecules23082066
30. Trembl J., Gazdová M., Šmejkal K., Šudomová M., Kubatka P., Hassan S.T.S. Natural Products-Derived Chemicals: Breaking Barriers to Novel Anti-HSV Drug Development. *Viruses*, 2020, vol. 12, no. 2, article id: 154. DOI: 10.3390/v12020154
31. Mohan S., Taha M.M.E., Makeen H.A., Alhazmi H.A., Bratty M.A., Sultana S., Ahsan W., Najmi A., Khalid A. Bioactive Natural Antivirals: An Updated Review of the Available Plants and Isolated Molecules. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 21, article id: 4878. DOI: 10.3390/molecules25214878
32. Sharifi-Rad J., Herrera-Bravo J., Semwal P., Painuli S., Badoni H., Ezzat S.M., Farid M.M., Merghany R.M., Aborehab N.M., Salem M.A. et al. *Artemisia* spp.: An Update on Its Chemical Composition, Pharmacological and Toxicological Profiles. *Oxid Med Cell Longev.*, 2022, vol. 2022, article id: 5628601. DOI: 10.1155/2022/5628601
33. Hussain A. A phylogenetic perspective of antiviral species of the genus *Artemisia* (Asteraceae-Anthemideae): A proposal of anti SARS-CoV-2 (COVID-19) candidate taxa. *J Herb Med.*, 2022, no. 36, article id: 100601. DOI: 10.1016/j.hermed.2022.100601
34. Saddi M., Sanna A., Cottiglia F., Chisu L., Casu L., Bonsignore L., De Logu A. Antiherpesvirus activity of *Artemisia arborescens* essential oil and inhibition of lateral diffusion in Vero cells. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.*, 2007, no. 6, article number: 10. DOI: 10.1186/1476-0711-6-10
35. Angelova P., Hinkov A., Tsvetkov V., Todorov D., Shishkova K., Dragolova D., Shishkov S., Kapchina-Toteva V. Antiherpes virus activity of extracts from *Artemisia chamaemelifolia* Vill. *Acad. Bulg. Sci.*, 2019, vol. 72, no. 11, pp. 1475–1483. DOI: 10.7546/CRABS.2019.11.04
36. Liu P., Zhong L., Xiao J., Hu Y., Liu T., Ren Z., Wang Y., Zheng K. Ethanol extract from *Artemisia argyi* leaves inhibits HSV-1 infection by destroying the viral envelope. *Viral J.*, 2023, vol. 20, no. 1, article number: 8. DOI: 10.1186/s12985-023-01969-5
37. Krasnoborov I.M. *Polyn' – Artemisia L.* [Wormwood – *Artemisia L.*]. In: *Opredelitel' rastenii Novosibirskoi oblasti* [Plant determinant of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2000, pp. 335–339. (In Russian)
38. Kazachinskaja E.I., Romanova V.D., Ivanova A.V., Chepurinov A.A., Murtazaliev Z.A., Kononova Yu.V., Shauro D.N., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 111–129. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-111-129>
39. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomová M., Malanik M., Šmejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice. *J. Clin. Med.*, 2018, no. 7, article id: 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
40. Benzekri R., Limam F., Bouslama L. Combination effect of three anti-HSV-2 active plant extracts exhibiting different modes of action. *Adv. Tradit. Med.*, 2020, no. 20, pp. 223–231. DOI: 10.1007/s13596-020-00430-0
41. Kazachinskaja E.I., Chepurinov A.A., Shelemba A.A., Guseinova S.A., Magomedov M.G., Kononova Yu.V., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of aqueous extracts of tea compositions, individual ingredients for their preparation and some plants against replication of Herpes simplex virus type 2 *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 135–152. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-135-152
42. Fisenko V.P. *Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv* [Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances]. Moscow, Remedium Publ., 2000, 398 p. (In Russian)

43. Velichko V.V., Kruglov D.S. Spectrophotometric determination of A-vitamin activity of carotenoid-containing raw materials. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 2021, no. 4, pp. 17–26. (In Russian). DOI: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26
44. Kurdyukov E.E., Vodop'yanova O.A., Antropova N.V., Mitishev A.V., Evgrashkina N.E. The method of quantitative determination of the amount of tannins in the fruits of Euterpe oleracea. *Khimiya Ras-titel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 225–229. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2021049158
45. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalein inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2. *J Enzyme Inhib Med Chem.*, 2021, vol. 36, no. 1, pp. 497–503. DOI: 10.1080/14756366.2021.1873977
46. Zannella C., Giugliano R., Chianese A., Buonocore C., Vitale G.A., Sanna G., Sarno F., Manzin A., Nebbioso A., Termolino P. et al. Antiviral Activity of *Vitis vinifera* Leaf Extract against SARS-CoV-2 and HSV-1. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 7, article id: 1263. DOI: 10.3390/v13071263.25;12(9):2573
47. Mohamed F.F., Anhlán D., Schöfänkner M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrinčius E.R. et al. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2022, vol. 15, no. 5, pp. 530. DOI: 10.3390/ph15050530
48. White E.M., Stampfer S.D., Heldwein E.E. Expression, Purification, and Crystallization of HSV-1 Glycoproteins for Structure Determination, *Methods Mol Biol.*, 2020, no. 2060, pp. 377–393. DOI: 10.1007/978-1-4939-9814-2_23
49. Benzekri R., Bouslama L., Papetti A., Hammami M., Smaoui A., Limam F. Anti HSV-2 activity of *Peganum harmala* (L.) and isolation of the active compound. *Microb Pathog.*, 2018, no. 114, pp. 291–298. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.12.017
50. Cheng H.-Y., Lin T.-C., Yang C.-M., Wang K.-C., Lin C.-C. Mechanism of action of the suppression of herpes simplex virus type 2 replication by pterocarnin A. *Microbes Infect.*, 2004, no. 6, pp. 738–744. DOI: 10.1016/j.micinf.2004.03.009
51. Churqui M.P., Lind L., Thörn K., Svensson A., Savolainen O., Aranda K.T., Eriksson K. Extracts of *Equisetum giganteum* L. and *Copaifera reticulata* Ducke show strong antiviral activity against the sexually transmitted pathogen herpes simplex virus type 2. *J. Ethnopharmacol.*, 2018, no. 210, pp. 192–197. DOI: 10.1016/j.jep.2017.08.010
52. Karamodini M.K., Emami S.A., Ghannad M.S., Sani E.A., Sahebkar A. Antiviral activities of aerial subsets of *Artemisia* species against herpes simplex virus type 1 (HSV1) in vitro. *Asian Biomed.*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 63–68. DOI: 10.5372/1905-7415.0501.007
53. Xiao J., Liu P., Hu Y., Liu T., Guo Y., Sun P., Zheng J., Ren Z., Wang Y. Antiviral activities of *Artemisia vulgaris* L. extract against herpes simplex virus. *Chin Med.*, 2023, vol. 18, no. 1, article number: 21. DOI: 10.1186/s13020-023-00711-1
54. Sinico C., De Logu A., Lai F., Valenti D., Manconi M., Loy G., Bonsignore L., Fadda A. M. Liposomal incorporation of *Artemisia arborescens* L. essential oil and in vitro antiviral activity. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 2005, vol. 59, pp. 161–168. DOI: 10.1016/j.ejpb.2004.06.005
55. Lai F., Sinico C., De Logu A., Zaru M., Müller R.H., Fadda A.M. SLN as a topical delivery system for *Artemisia arborescens* essential oil: In vitro antiviral activity and skin permeation study. *Int. J. Nanomed.*, 2007, vol. 2, no. 3, pp. 419–425.
56. García C.C., Talarico L., Almeida N., Colombres S., Duschatzky C., Damonte E.B. Virucidal activity of essential oils from aromatic plants of San Luis, Argentina. *Phytother. Res.*, 2003, vol. 17, pp. 1073–1075. DOI: 10.1002/ptr.1305
57. Duschatzky C.B., Possetto M.L., Talarico L.B., Garciam C.C., Michis F., Almeida N.V., de Lampasona M.P., Schuff C., Damonte E.B. Evaluation of chemical and antiviral properties of essential oils from South American plants. *Chem. Chemother.*, 2005, vol. 16, pp. 247–251. DOI: 10.1177/095632020501600404
58. Ekiert H., Pajor J., Klin P., Rzepiela A., Ślesak H., Szopa A. Significance of *Artemisia Vulgaris* L. (Common Mugwort) in the History of Medicine and Its Possible Contemporary Applications Substantiated by Phytochemical and Pharmacological Studies. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 19, article id: 4415. DOI: 10.3390/molecules25194415
59. The State Register of Medicines. An online resource. Available at: <http://grls.rosminzdrav.ru>. (accessed 04.01.2025)
60. Boeing T., de Souza J., da Silva R. de Cássia, Mariano L.N.B., da Silva L.M., Gerhardt G.M., Cretton S., Klein-Junior L.C., de Souza P. Gastroprotective effect of *Artemisia absinthium* L.: A medicinal plant used in the treatment of digestive disorders. *J. Ethnopharmacol.*, 2023, vol. 312, article id: 116488. DOI: 10.1016/j.jep.2023.116488
61. Makarova D.L., Khanina M.A., Amelchenko V.P., Domrachev D.V., Tkachev A.V. Study of the chemical composition of *Artemisia pontica* L. essential oil flora of Siberia. *Khimiya Ras-titel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant materials]. 2008, no. 2, pp. 55–60. (In Russian)
62. Makarova D.L., Velichko V.V. Kim N.E. Khanina M.G., Khanina M.A. Phytochemical study of plants of the flora of Siberia. *Farmatsiya* [Pharmacy]. 2008, no. 3, pp. 19–22. (In Russian)
63. Trifan A., Zengin G., Sinan K.I., Sieniawska E., Sawicki R., Maciejewska-Turska M., Skalikca-Woźniak K., Luca S.V. Unveiling the Phytochemical Profile and Biological Potential of Five *Artemisia*. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11, no. 5, article id: 1017. DOI: 10.3390/antiox11051017
64. Hassan S.T.S., Švajdlénka E., Berchová-Bímová K. Hibiscus sabdariffa L. and Its Bioactive Constituents Exhibit Antiviral Activity against HSV-2 and Anti-Enzymatic Properties against Urease by an ESI-MS Based Assay. *Molecules*, 2017, no. 22, article id: 722. DOI: 10.3390/molecules22050722

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена И. Казачинская внесла идею исследования, провела сбор растительного сырья и приготовление этанольных экстрактов, оформила литературный обзор, провела эксперименты по исследованию ингибирующей активности, а также обработала результаты. Виктория В. Величко осуществила выбор основных групп определяемых веществ и провела пробоподготовку для анализа на спектрофотометре. Валерия Д. Романова работала с сухим растительным сырьем по разделению на отдельные части (листья, цветки, стебли), провела экстракцию для получения сухих экстрактов и эксперименты по тестированию цитотоксичности экстрактов. Дарья Л. Прокушева сбор

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena I. Kazachinskaya introduced the idea of the study, carried out the collection of plant raw materials and the preparation of ethanol extracts, designed a literature review, conducted experiments for study of inhibitory activity and processed the results. Victoriya V. Velichko chose the main groups of determined substances and undertook sample preparation for analysis by spectrophotometer. Valeriya D. Romanova worked with dry plant raw materials by dividing them into separate parts (stems, inflorescences, leaves) and carried out extraction to obtain dry extracts and conducted experiments for testing of cytotoxicity. Dar'ya L. Prokusheva collected, identified and prepared herb raw material from *Artemisia pontica* L. Dmitriy S. Kruglov conducted

и определение вида *Artenisia pontica* L. Дмитрий С. Круглов проведение измерений спектров на спектрофотометре, их анализ и расчет содержания БАВ. Александр А. Чепурнов культивировал вирус. Юлия В. Кононова культивировала клетки Vero E6, провела титрование вируса и подготовку аликвот с определенным инфекционным титром. Лифон Фу проводил исследования противовирусного действия экстрактов на культуре клеток. Шуай Шао проводила исследования по оценке противовирусного действия экстрактов на культуре клеток. Марина А. Гуляева координировала выполнение работ с китайскими партнерами. Александр М. Шестопалов руководил организационной и материальной частью лабораторного исследования. Все вышеуказанные авторы участвовали в обсуждении полученных результатов в формате научной дискуссии. 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.

measurements of spectra on a spectrophotometer, their analysis and calculation of the content of biologically active substances. Alexander A. Chepurnov cultivated viruses. Yulia V. Kononova cultured Vero E6 cells, performed virus titration and aliquots with the appropriate infection titer. Lifeng Fu conducted studies of the antiviral effect of extracts on cell culture. Shuai Shao conducted evaluation studies of the antiviral effect of extracts on cell culture. Marina A. Gulyaeva coordinated the execution of works with Chinese partners. Alexander M. Shestopalov led the organisational and material part of the laboratory research. All of the above authors participated in the discussion of the results obtained in the format of a scientific discussion. 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

Елена И. Казачинская / Elena I. Kazachinskaya <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>
Виктория В. Величко / Victoriya V. Velichko <https://orcid.org/0000-0002-9224-9350>
Валерия Д. Романова / Valeriya D. Romanova <https://orcid.org/0000-0002-0485-4818>
Дмитрий С. Круглов / Dmitriy S. Kruglov <https://orcid.org/0000-0003-1904-7901>
Дарья Л. Прокушева / Dar'ya L. Prokusheva <https://orcid.org/0009-0009-0480-2311>
Александр А. Чепурнов / Alexander A. Chepurnov <https://orcid.org/0000-0002-5966-8633>
Юлия В. Кононова / Yulia V. Kononova <https://orcid.org/0000-0002-3677-3668>
Лифон Фу / Lifeng Fu <https://orcid.org/0000-0003-0431-5424>
Шуай Шао / Shuai Shao <https://orcid.org/0000-0003-2460-9921>
Марина А. Гуляева / Marina A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>
Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov <https://orcid.org/0000-0002-9734-0620>

Оригинальная статья / Original article

УДК 619:616.9-036.22 УДК 578.4

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-3



Генетическое разнообразие вируса лейкоза крупного рогатого скота и его распространение в районах Республики Дагестан

Дмитрий А. Бабоско¹, Мадина Г. Даудова², Полина Ю. Ачигечева¹, Кирилл А. Елфимов¹,
Даниял К. Дандамаев², Заира Р. Шахбанова², Алексей В. Тотменин¹, Наталья М. Гашникова¹

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
Кольцово, Новосибирская область, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Дмитрий А. Бабоско, аспирант НГУ, сотрудник
отдела Ретровирусов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»
Роспотребнадзора; 630559 Россия,
Новосибирская область, г. Новосибирск,
р/п Кольцово.

Тел. +79831283892

Email baboshko_da@vector.nsc.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>

Формат цитирования

Бабоско Д.А., Даудова М.Г., Ачигечева П.Ю.,
Елфимов К.А., Дандамаев Д.К., Шахбанова З.Р.,
Тотменин А.В., Гашникова Н.М. Генетическое
разнообразие вируса лейкоза крупного рогатого
скота и его распространение в районах
Республики Дагестан // Юг России: экология,
развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 37-53.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-3

Получена 20 мая 2025 г.

Прошла рецензирование 10 июня 2025 г.

Принята 17 июня 2025 г.

Резюме

Цель – исследовать распространение инфекции, вызванной вирусом лейкоза крупного рогатого скота, в хозяйствах Республики Дагестан. Выполнена ПЦР-диагностика 212 проб крови КРС, собранных в хозяйствах Кизлярского, Кумторкалинского и Табасаранского районов, на наличие ДНК вируса лейкоза (ВЛКРС). Для ВЛКРС-положительных проб расшифрованы нуклеотидные последовательности фрагмента генома вируса, кодирующего основной белок оболочки (env), определен генотип вируса. Исследованы филогенетические отношения выделенных вариантов ВЛКРС с описанными ранее вирусами лейкоза коров.

Представленность генотипов вируса среди 80 ВЛКРС, выделенных в изученных районах, существенно отличалось. В Кизлярском и Кумторкалинском районе вирусы лейкоза G7 найдены в 7,4 %, в 92,6 % был выделен генотип G4. В одном хозяйстве Табасаранского района найдено 2 варианта G7 и один G4. При этом 10 из 11 вариантов G7 группировались друг с другом в три статистически достоверных кластера, включающих исследованные ВЛКРС, что указывает на передачу вируса внутри хозяйств и между ними. Филогенетический анализ 69 ВЛКРС генотипа G4 позволил заключить, что в Дагестане циркулирует гетерогенная популяция G4. Анализ случаев заражения лейкозом молодняка в неблагополучных хозяйствах и наличие филогенетических кластеров близких ВЛКРС подтверждают, что в настоящее время основной причиной регистрации новых случаев ВЛКРС является не занос ВЛКРС при закупках племенного скота, а передача инфекции внутри территорий Республики.

Молекулярно-генетический анализ ВЛКРС, выделенных в Дагестане, позволил описать связанные цепочки распространения вирусов как в одном хозяйстве, так и между хозяйствами. Результаты филогенетических исследований ВЛКРС имеют большую практическую значимость и могут быть использованы при планировании эффективных противозoonотических мероприятий в Дагестане. Кроме большой практической значимости выполненная работа демонстрирует новизну, так как вносит существенный вклад в изучение молекулярной эпидемиологии ВЛКРС в России.

Ключевые слова

ВЛКРС, генотип G4, генотип G7, филогенетический анализ, ПЦР-диагностика.

Genetic diversity of bovine leukemia virus and its distribution in the regions of the Republic of Dagestan, Russia

Dmitry A. Baboshko¹, Madina G. Daudova², Polina Y. Achigecheva¹, Kirill A. Elfimov¹, Daniyal K. Dandamaev², Zaira R. Shakhbanova², Alexey V. Totmenin¹ and Natalya M. Gashnikova¹

¹Vector State Research Center of Virology and Biotechnology, Koltsovo, Novosibirsk Region, Novosibirsk, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Dmitry A. Baboshko, postgraduate student at Novosibirsk State University and employee Department of Retroviruses, Vector State Research Center of Virology and Biotechnology; Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559. Tel. +79831283892

Email baboshko_da@vector.nsc.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>

How to cite this article

Baboshko D.A., Daudova M.G., Achigecheva P.Y., Elfimov K.A., Dandamaev D.K., Shakhbanova Z.R., Totmenin A.V., Gashnikova N.M. Genetic diversity of bovine leukemia virus and its distribution in the regions of the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):37-53. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-3

Received 20 May 2025

Revised 10 June 2025

Accepted 17 June 2025

Abstract

To study the spread of infection caused by the bovine leukemia virus in farms of the Republic of Dagestan.

PCR diagnostics of 212 cattle blood samples collected in farms of the Kizlyarsky, Kumtorkalinsky and Tabasaransky districts was performed for the presence of bovine leukemia virus DNA (BLV). For BLV-positive samples, nucleotide sequences of the viral genome fragment encoding the main envelope protein (env) were deciphered, and the virus genotype was determined. Phylogenetic relationships of the isolated BLV variants with previously described bovine leukemia viruses were studied.

The representation of virus genotypes among 80 BLV isolated in the studied districts differed significantly. In the Kizlyarsky and Kumtorkalinsky districts, G7 leukemia viruses were found in 7.4 %, and the G4 genotype was isolated in 92.6 %. In one farm in the Tabasaran district, 2 G7 variants and one G4 variant were found. At the same time, 10 out of 11 G7 variants were grouped with each other into three statistically significant clusters, including the studied BLV, which indicates virus transmission within and between farms. Phylogenetic analysis of 69 BLV of the G4 genotype allowed us to conclude that a heterogeneous G4 population circulates in Dagestan. Analysis of cases of leukemia infection of young animals in unfavourable farms and the presence of phylogenetic clusters of close BLV confirm that at present the main reason for registering new BLV cases is not the introduction of BLV during the purchase of breeding cattle, but the transmission of infection within the territories of the Republic.

Molecular genetic analysis of BLV isolated in Dagestan allowed us to describe the related chains of virus spread both within one farm and between farms. The results of phylogenetic studies of BLV have great practical significance and can be used in planning effective anti-epizootic measures in Dagestan. In addition to great practical significance, the work performed demonstrates novelty, as it makes a significant contribution to the study of molecular epidemiology of BLV in Russia.

Key Words

BLV, genotype G4, genotype G7, phylogenetic analysis, PCR diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации скотоводство является одной из ведущих отраслей животноводства. Республика Дагестан занимает 3 место по количеству поголовья крупного рогатого скота. Для активного развития животноводства в Республике требуется создание здорового высокопродуктивного поголовья. Одной из основных болезней, наносящей высокий экономический ущерб животноводству, на сегодняшний день остается лейкоз крупного рогатого скота [1; 2].

Причиной заболевания лейкозом является вирус, вызывающий хроническую инфекционную болезнь, которая характеризуется поражением органов лимфоидной и кровеносной систем, вызывая неестественную пролиферацию В-лимфоцитов и образование злокачественных опухолей из лимфоидной ткани. Вирус лейкоза крупного рогатого скота (ВЛКРС) относится к семейству Retroviridae, роду Deltavirus. Распространение ВЛКРС происходит через передачу биологических жидкостей, когда зараженные клетки (лимфоциты) попадают от больного животного к здоровому. Инфицирование может происходить вертикальным путем от инфицированной матери потомству с молоком, и горизонтальным путем при неправильной стерилизации медицинских инструментов при проведении ветеринарных манипуляций (искусственном осеменении, татуирования, проколов ушей крупного рогатого скота), совместный выпас здоровых и больных животных. Было экспериментально установлено, что достаточно ввести 2500 лейкоцитов, инфицированных возбудителем внутривенно корове, чтобы произошло заражение вирусом лейкоза [2]. По другим данным для заражения скота достаточно 0,5 микролитра крови, инфицированной ВЛКРС [2]. Провирус ВЛКРС встраивается в геном клетки хозяина и животное становится вирусоносителем и разносчиком заболевания [3].

Диагностика лейкоза крупного рогатого скота осуществляется серологическими (реакция иммунодиффузии (РИД), иммуноферментный анализ (ИФА) и молекулярно-генетическими методами. Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) является более точным для диагностики инфекции, особенно на ранней стадии, уже через 1–2 недели после заражения, и применим для телят старше 15-дневного возраста [4–6].

Оздоровление неблагополучных по лейкозу хозяйств продолжает оставаться необходимым условием повышения эффективности молочного и мясного скотоводства и обеспечения ветеринарно-санитарной безопасности продуктов животноводства.

В Республике Дагестан (РД) по данным на 01.01.2022 г. было официально объявлено о 158 пунктах с регистрацией ВЛКРС на всей территории республики. Наибольшее количество неблагополучных по лейкозу пунктов зафиксировано в Кизлярском (18), Тарумовском (17), Бабаюртовском (16), Гунибском (15), Тляртинском (10) районах и г. Махачкале (9), в Ботлихском, Кумторкалинском и Шамильском районах – по 7 очагов [7].

Задачей данной работы было изучение разнообразия циркулирующих генетических вариантов вируса лейкоза крупного рогатого скота в отдельных регионах Дагестана с разной пораженностью скота лейкозом с целью выявления возможных путей распространения ВЛКРС в хозяйствах Республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В сентябре 2024 года в Республике Дагестан был проведен сбор 212 образцов крови крупного рогатого скота, содержащегося в хозяйствах Кизлярского (44 образца), Кумторкалинского (77) и Табасаранского (91) районов. Животные для исследования были отобраны на основе желания их владельцев предоставить образцы скота для анализа на наличие ДНК ВЛКРС. Образцы крови коров были собраны сотрудниками управления ветеринарии регионов в строгом соответствии с документом СанПиН 3.3686-21. Забор образцов крови от крупного рогатого скота осуществляли из хвостовой вены с использованием одноразовых стерильных систем в пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА). Образцы собирали от коров широкой возрастной группы от 1 года и до 11 лет.

Для выделения суммарной ДНК из клеток крови крупного рогатого скота использовали коммерческий набор для выделения ДНК из культур клеток *diaGene* (*diaGene*, Россия). Диагностику наличия ДНК ВЛКРС в пробах проводили с использованием ПЦР в реальном времени коммерческими наборами *РеалБест-Вет* ДНК вируса лейкоза КРС V-5441 (производство АО Вектор-Бест). Для положительных по ВЛКРС образцов с помощью лабораторного набора праймеров синтезировали участок гена *env* протяженностью 1000 п.н. Для анализа размера и качества продуктов ПЦР использовали метод электрофореза ДНК в агарозном геле (1 %).

Секвенирование проводили с использованием генспецифичных праймеров и коммерческого набора *BigDye Terminator v3.1*. Образцы наносили в лунки 96-луночного планшета, который затем загружали в автоматический 8-капиллярный секвенатор 3130xl (*AppliedBiosystems*, США). Полученные нуклеотидные последовательности ВЛКРС редактировали в программе *Sequencher 4.1* [8] и сравнивали с референс-последовательностями различных генотипов ВЛКРС из международной базы данных (*Genbank*) [9]. Филогенетический анализ выполняли с помощью программы *IQ-TREE 2.4.0*, используя метод максимального правдоподобия (*ML – maximum likelihood*) [10]. Статистическую значимость топологии филогенетического дерева оценивали с помощью анализа бутстрепов ($n=1000$).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Республике Дагестан, с учетом природно-климатических условий и сезонных особенностей выпаса скота, созданы ветеринарные станции, где проводятся диагностические исследования перегнанных животных из горных и предгорных зон на равнину в зимний период, в летний период их перегоняют обратно. По данным ветеринарных станций в 2023 г. на предмет присутствия ВЛКРС были исследованы 25827 проб крови крупного рогатого скота методом РИД, в 287 (1,1 %) из них были обнаружены антитела к ВЛКРС.

В рамках данного исследования был проведен сбор 212 проб крови, взятых у молочного и мясного скота в хозяйствах Кизлярского, Кумторкалинского, Табасаранского районов Республики Дагестан для сравнительного анализа.

Для изучения разнообразия циркулирующих ВЛКРС в Республике Дагестан были выбраны районы,

территориально находящиеся в разных природных зонах, отличающиеся по рельефу местности, климатическим и гидрологическим характеристикам.

Кизлярский район относится к группе неблагополучных по ВЛКРС территорий Республики по количеству выявляемых инфицированных животных. По данным проводимого в хозяйствах скрининга доля пораженного ВЛКРС скота составляет 2 %, по абсолютному числу выявленных инфицированных животных – 388 голов. Кизлярский район находится на втором месте, уступая лишь Ботлихскому району с числом инфицированных ВЛКРС голов крупного рогатого скота – 450.

Кизлярский район расположен в северной части Республики Дагестан, на Прикаспийской низменности. Географически он находится в пределах Терско-Сулакской низменности, через которую протекают 2 транзитные реки (Сулак и Терек), с которыми связана разветвленная сеть каналов и коллекторов. Это благоприятствует распространению на территории района интразонального типа растительности. Благодаря увлажнению почв грунтовыми водами и поливу, здесь широко распространена луговая и лугово-болотная растительность, что крайне благоприятно для развития животноводства. Наличие собственной богатой кормовой базы, транспортная доступность,

относительно мягкие климатические условия, равнинный рельеф – это идеальное сочетание благоприятных факторов для развития высокопродуктивного животноводства молочного и мясного направления. В Кизлярском районе насчитывается 58455 голов КРС (в т.ч. коров 33462). В населенном пункте Некрасовка зарегистрировано 880 (в т.ч. коров 655) голов КРС. В исследуемом нами крупном фермерском хозяйстве с. Некрасовка (ООО Агрофирма «Молочник») содержится до 500 голов КРС породы красная степная в возрасте от 1 до 11 лет. В предприятии поддерживаются санитарно-гигиенические требования, видна оснащённость современным производственно-технологическим оборудованием. Для осеменения коров и телок эякулятом используется ректоцервикальная техника.

В фермерском хозяйстве с. Некрасовка Кизлярского района была собрана кровь от 44 животных. Выборка включала коров с ранее диагностированным лейкозом, и коров, которые контактировали с больными животными. В хозяйстве стойловое содержание скота, вскармливание сенажом и зеленой массой, применяется искусственное оплодотворение. Характеристика КРС и данные по выявленным генотипам ВЛКРС приведена в таблице 1.

Таблица 1. Сводная информация по КРС, отобранном для ПЦР-диагностики на наличие ДНК вируса лейкоза, и по выявленным генотипам ВЛКРС в хозяйстве с. Некрасовка Кизлярского района

Table 1. Summary information on cattle selected for PCR diagnostics for the presence of leukemia virus DNA and on the identified genotypes of BLV in the farm of the village of Nekrasovka, Kizlyar district

Порода Breed	Возраст Age	Где приобрели Where acquired	Кол-во животных Number of animals	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G7 Number of animals infected with BLV G7	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G4 Number of animals infected with BLV G4
Красная степная Krasnaya stepnaya	1 год 1 year-old	Дагестан Dagestan	1		1 (KIZ3)
Красная степная Krasnaya stepnaya	3 года 3 year-old	Дагестан Dagestan	1		1 (KIZ38)
Красная степная Krasnaya stepnaya	4 года 4 year-old	Дагестан Dagestan	2		2 (KIZ20, KIZ8)
Красная степная Krasnaya stepnaya	5 лет 5 year-old	Дагеста Dagestan	7		6 (KIZ5, KIZ12, KIZ15, KIZ18, KIZ24, KIZ42)
Голштинизированная красная степная Golshtinizirovannaya krasnaya stepnaya	5 лет 5 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	2	1 (KIZ34)	
Красная степная Krasnaya stepnaya	6 лет 6 year-old	Дагестан Dagestan	8		6 (KIZ2, KIZ9, KIZ14, KIZ16, KIZ33, KIZ37)
Красная степная Krasnaya stepnaya	6 лет 6 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1		1 (KIZ32)
Чёрно-пёстрая Chorno-pestraya	6 лет 6 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1		

Красная степная Krasnaya stepnaya	7 лет 7 year-old	Дагестан Dagestan	4	3 (KIZ11, KIZ19, KIZ41)
Голштинизированная красная степная Golshtinizirovannaya krasnaya stepnaya	7 лет 7 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	2	2 (KIZ44, KIZ6)
Красная степная Krasnaya stepnaya	8 лет 8 year-old	Дагестан Dagestan	1	
Красная степная Krasnaya stepnaya	8 лет 8 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1	1 (KIZ13)
Голштинизированная красная степная Golshtinizirovannaya krasnaya stepnaya	8 лет 8 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	2	2 (KIZ17, IZ31)
Голштинизированная красная степная Golshtinizirovannaya krasnaya stepnaya	9 лет 9 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1	
Красная степная Krasnaya stepnaya	10 лет 10 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	2	2 (KIZ7, KIZ40)
Красная степная Krasnaya stepnaya	10 лет 10 year-old	Дагестан Dagestan	2	2 (KIZ23, IZ28)
Красная степная Krasnaya stepnaya	11 лет 11 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	4	4 (KIZ4, KIZ27, KIZ36, KIZ39)
Палевая Palevaya	11 лет 11 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1	1 (KIZ22)
Красная степная Krasnaya stepnaya	14 лет 14 year-old	Каневской р-н, Краснодарский край Kanevskoy district, Krasnodar Region	1	1 (KIZ25)

В фермерском хозяйстве с. Некрасовка из 44 образцов КРС инфицированными вирусом лейкоза оказались 36. Из 44 КРС 18 голов было ранее закуплено в Краснодарском крае. Не было найдено взаимосвязи наличия инфекции ВЛКРС ни с возрастом животных, ни с их происхождением (местные или закупленные ранее в хозяйствах Краснодарского края).

В двух пробах был найден ВЛКРС генотипа G7. При этом филогенетический анализ расшифрованных нуклеотидных последовательностей фрагмента env ВЛКРС выявил, что вирусы G7, выделенные в с. Некрасовка, группируются не друг с другом. Один ВЛКРС G7 (KIZ34) был найден у голштинизированной красной степной коровы 5 лет, ранее закупленной в Каневском районе Краснодарского края. Вирус KIZ34

генетически был максимально близок к ВЛКРС G7, выделенному у 5-летней коровы породы красная степная из хозяйства с. Алмало Кумторкалинского района. Второй вирус G7 (KIZ25), выделенный в Некрасовке у красной степной коровы 14 лет, также ранее закупленной в Краснодарском крае, объединился с другой группой из четырёх генетически близких вирусов G7, два из которых были выделены в хозяйстве с. Алмало, а два – в хозяйстве с. Уллубиевка от коров красной степной породы 5–8 лет, которые имели дагестанское происхождение (рис. 1).

ВЛКРС генотипа G4 был обнаружен в 34 случаях у КРС от 1 года до 11 лет. Филогенетический анализ, выполненный для данных вирусов, позволил заключить, что этот генетический вариант лейкоза

коров объединяет гетерогенную популяцию ВЛКРС. Среди 34 вирусов 11 вариантов G4 образовали

филогенетический кластер вирусов, общий с ВЛКРС, выделенными в 2009 году в Ростовской области (рис. 2).

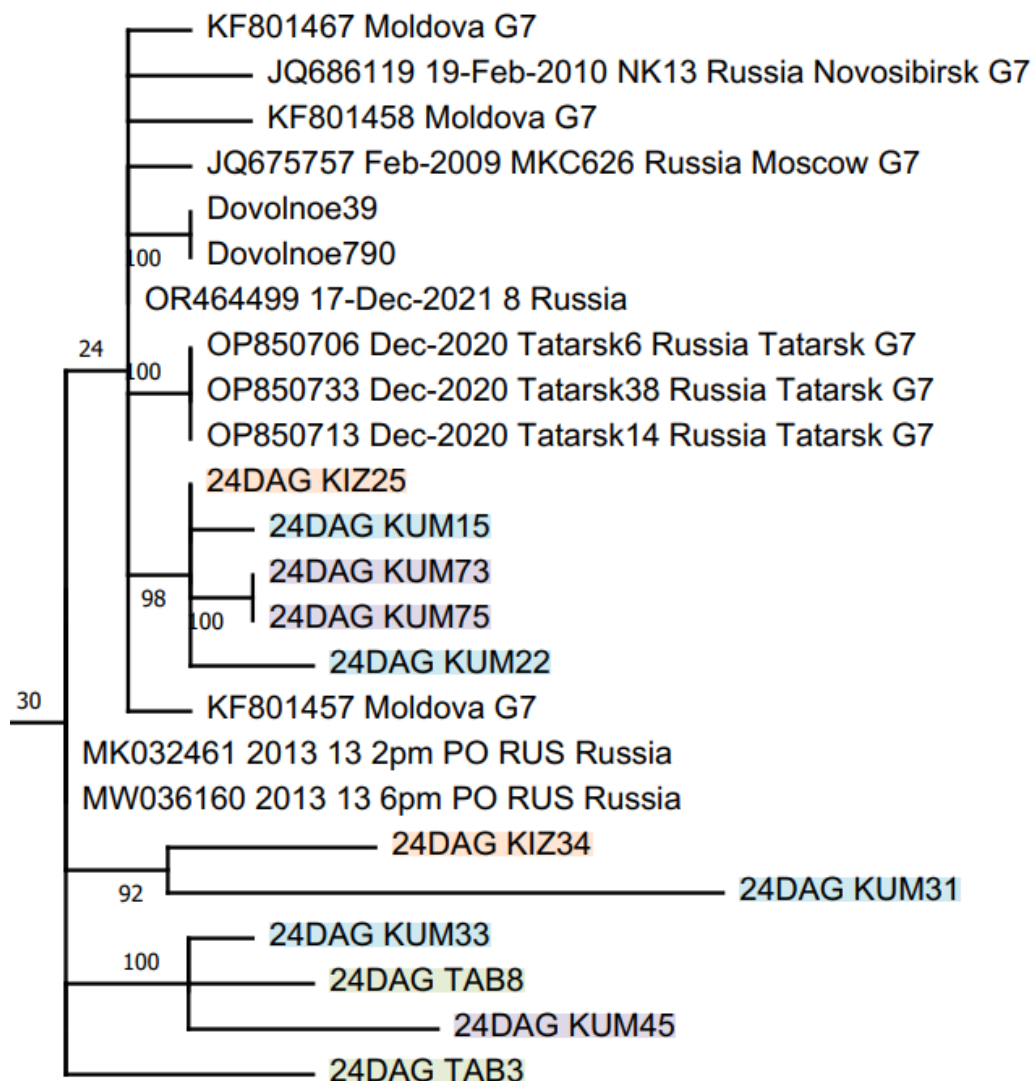


Рисунок 1. Фрагмент филогенетического дерева, построенного для области env исследованных вариантов ВЛКРС, выделенных в Дагестане. Фрагмент дерева включает ветвь ВЛКРС генотипа G7.

Оранжевым обозначены образцы ВЛКРС 2024 года из Кизлярского района. Фиолетовым обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Уллубиевка). Синим обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Алмало). Зеленым обозначены образцы из Табасаранского района

Figure 1. Fragment of the phylogenetic tree constructed for the env region of the studied BLV variants isolated in Dagestan.

The tree fragment includes the BLV branch of the G7 genotype. BLV samples from 2024 from the Kizlyar district are marked in orange. Samples from the Kumtorkalinsky district (Ullubievka village) are marked in purple.

Samples from the Kumtorkalinsky district (Almalo village) are marked in blue.

Samples from the Tabasaransky district are marked in green

Четыре вируса G4 вошли в кластер с ВЛКРС, выделенными ранее в Калуге и в Молдавии. Еще пара объединившихся вариантов G4 распределились между вирусами лейкоза, выделенными на различных территориях России с 2008 по 2021 годы. ВЛКРС, выделенный от телки 1 года жизни (KIZ3), с коэффициентом поддержки 95 группировался с вирусом лейкоза, выделенным от коровы того же хозяйства возраста 8 лет (KIZ17). Вирус, выделенный у телки 3 лет (KIZ38), группировался с KIZ28 с коэффициентом поддержки 100. Данные факты позволяют предположить, что инфицирование молодняка с высокой вероятностью произошло вирусами, циркулирующими в данном хозяйстве.

Оставшиеся 17 ВЛКРС G4 объединялись с другой группой вирусов, вероятно, имеющих общее происхождение с вирусами, ранее циркулировавшими в Казахстане (рис. 3). При этом два из 17 вирусов (KIZ31 и KIZ44) статистически достоверно группировались с вирусами, выделенными в Ростове в 2009 году и с ВЛКРС G4 из Кумторкалинского района (на дереве имеют обозначение 24DAG KUM). Три коровы (24DAG KIZ18, KIZ 27 и KIZ 36) породы красная степная, одна 5 лет (дагестанского происхождения) и две коровы 11 лет (Каневской район, Краснодарский край), сформировали группу генетически близких вирусов с ВЛКРС из Казахстана. Необходимо отметить, что на филогенетическом дереве мы также наблюдали пары, тройки и четвёрки ВЛКРС G4 из Кизлярского района,

сгруппированные в отдельные ветки с коэффициентом поддержки 100, что указывает на передачу лейкоза внутри одного хозяйства.

Кумторкалинский район относится к районам Дагестана с невысокой долей положительных проб, пораженность скота по данным выполняемого в хозяйствах скрининга составляет 0,2 % от общего числа диагностированных животных. Абсолютное число животных, положительных по РИД-анализу на ВЛКРС в хозяйствах Кумторкалинского района по отчетным данным составляет 26 голов. Кумторкалинский район расположен, по большей части, в низменной зоне республики и лишь южная часть захватывает предгорья. Основная территория района лежит в высотном диапазоне от 100 до 300 метров. Для климата района характерны засушливость, обилие тепла и солнечных дней. Значительное влияние на климат оказывает

Каспийское море. Летом в прибрежной полосе морские воздушные массы несколько снижают температуру, тем самым смягчая жару. Территория района отличается сухостью и распространением полупустынной и сухостепной растительности. На территории района достаточно много населенных пунктов, административно связанных с горными районами. Кормовыми ресурсами для скота выступают естественные полинно-злаковые луга в сочетании с пойменными лугами, которые довольно широко распространены в пределах района. Племенное животноводство частично развито на фермах колхозов, применяется активно искусственное оплодотворение, также имеются породистые быки, завезенные с племенных хозяйств Краснодарского края. Животные находятся в достаточно комфортных условиях и дают неплохие показатели надоя.

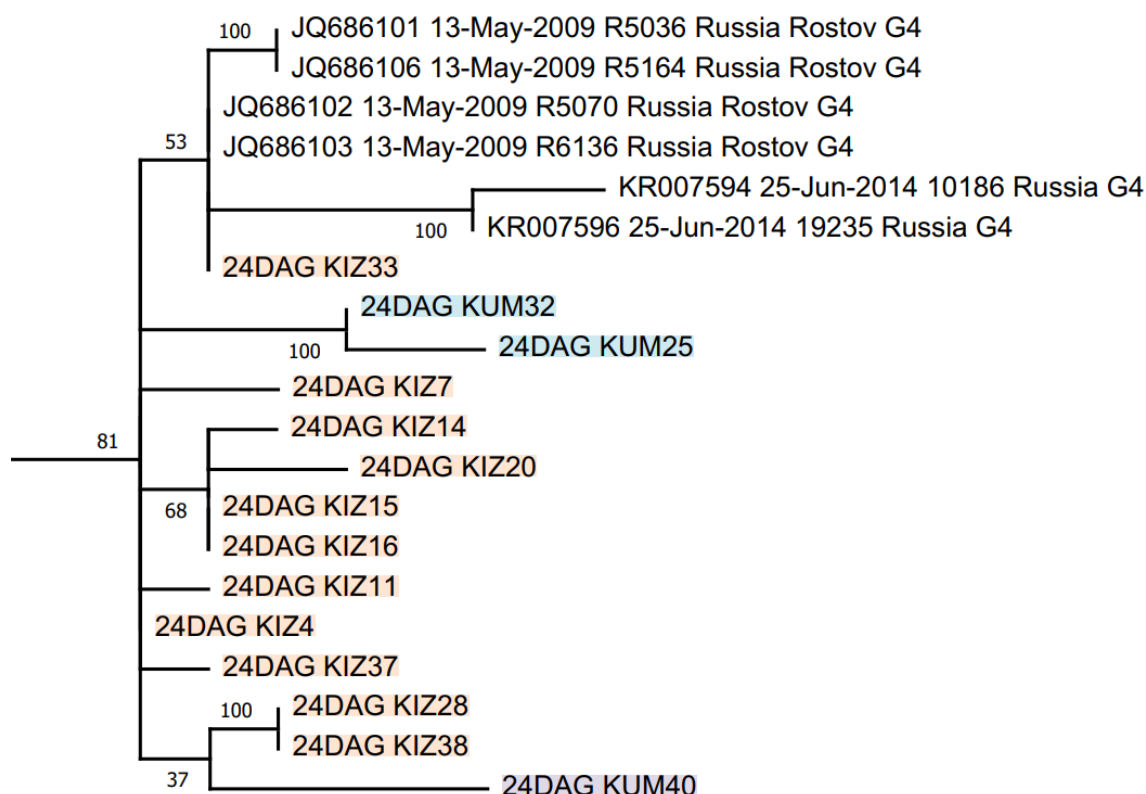


Рисунок 2. Фрагмент филогенетического дерева, построенного для области env исследованных вариантов ВЛКРС, выделенных в Дагестане. Фрагмент дерева включает ветвь ВЛКРС, имеющих общее происхождение с вирусами лейкоза из Ростова на Дону

Оранжевым обозначены образцы ВЛКРС 2024 года из Кизлярского района. Фиолетовым обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Уллубиевка). Синим обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Алмало)

Figure 2. Fragment of the phylogenetic tree constructed for the env region of the studied BLV variants isolated in Dagestan. The tree fragment includes a branch of BLV that has a common origin with the leukemia viruses from Rostov-on-Don
 BLV samples from 2024 from the Kizlyar district are marked in orange. Samples from the Kumtorkalinsky district (Ullubievka village) are marked in purple. Samples from the Kumtorkalinsky district (Almalo village) are marked in blue

В Кумторкалинском районе поголовье КРС составляет 11226 голов (в т.ч. коров 3824), из которых в исследуемых населенных пунктах с. Алмало и с. Уллубиевка насчитывается 628 голов (в т.ч. коров 374) и 580 голов (в т.ч. коровы 480) соответственно, преобладают красные степные породы с возрастом животных от 2 до 10 лет. Хозяйства обеспечены помещениями для содержания, дойки, изоляции КРС, необходимой кормовой базой и квалифицированным работниками ветеринарной службы района.

В фермерских хозяйствах с. Алмало и с. Уллубиевка Кумторкалинского района была собрана кровь от 77 животных, включая инфицированных ВЛКРС и коров, находящихся в контакте с больными животными. В хозяйствах применяется искусственное оплодотворение, кормление происходит при выгуле на разнотравном лугу. Характеристика КРС и данные по выявленным генотипам ВЛКРС приведена в таблице 2.

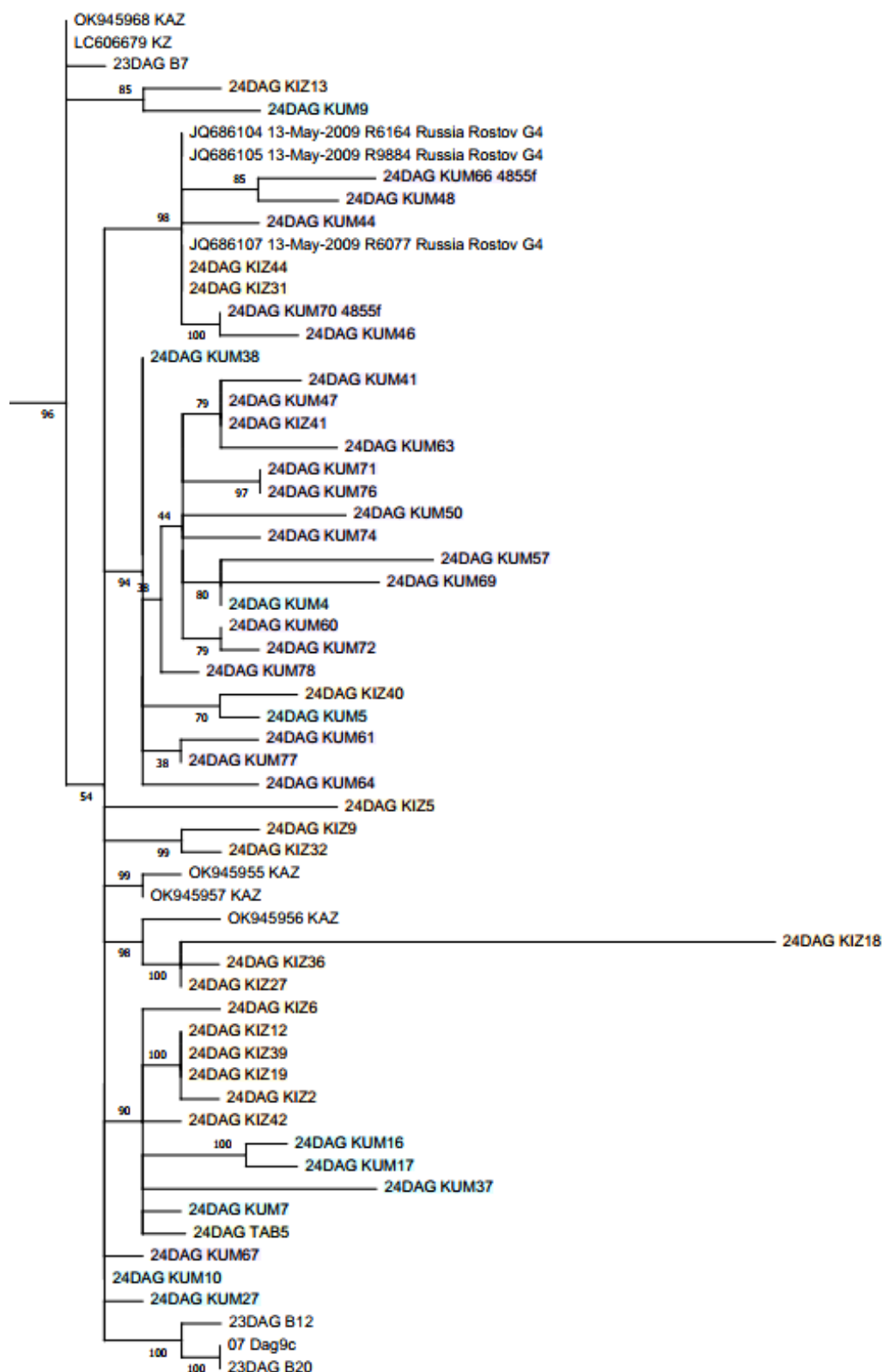


Рисунок 3. Фрагмент филогенетического дерева, построенного для области env исследованных вариантов ВЛРС, выделенных в Дагестане. Фрагмент дерева включает ветвь ВЛРС, имеющих общее происхождение с вирусами лейкоза из Казахстана

Оранжевым обозначены образцы ВЛРС 2024 года из Кизлярского района. Фиолетовым обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Уллубиевка). Синим обозначены образцы из Кумторкалинского района (с. Алмало). Зеленым обозначены образцы из Табасаранского района

Figure 3. Fragment of the phylogenetic tree constructed for the env region of the studied BLV variants isolated in Dagestan. The tree fragment includes a branch of BLV that has a common origin with leukemia viruses from Kazakhstan BLV samples from 2024 from the Kizlyar district are marked in orange. Samples from the Kumtorkalinsky district (Ullubievka village) are marked in purple. Samples from the Kumtorkalinsky district (Almalo village) are marked in blue. Samples from the Tabasaransky district are marked in green

Таблица 2. Сводная информация по КРС, отобранном для ПЦР-диагностики на наличие ДНК вируса лейкоза, и по выявленным генотипам ВЛКРС в хозяйстве с. Алмало**Table 2.** Summary information on cattle selected for PCR diagnostics for the presence of leukemia virus DNA and on the identified genotypes of BLV in a farm of the village of Almalo

Порода Breed	Возраст Age	Где приобрели Where bought	Кол-во животных Number of animals	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G7 Number of animals infected with BLV G7	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G4 Number of animals infected with BLV G4
Красная степная Krasnaya stepnaya	5-6 мес. 5-6 months-old	Дагестан Dagestan	1		
Красная степная Krasnaya stepnaya	1,5 года 1,5 year-old	Дагестан Dagestan	1		
Красная пёстрая Krasnaya pestraya	1,5 года 1,5 year-old	Дагестан Dagestan	1		
Красная степная Krasnaya stepnaya	2 года 2 year-old	Дагестан Dagestan	1		1 (KUM4)
Красная степная Krasnaya stepnaya	4 года 4 year-old	Дагестан Dagestan	4	1 (KUM22)	
Красная степная Krasnaya stepnaya	5 лет 5 year-old	Дагестан Dagestan	5		2 (KUM5 , KUM7)
Красная степная Krasnaya stepnaya	5-6 лет 5-6 year-old	Дагестан Dagestan	3		1 (KUM9)
Красная степная Krasnaya stepnaya	6 лет 6 year-old	Дагестан Dagestan	3	1 (KUM33)	1 (KUM37)
Красная пёстрая Krasnaya pestraya	6 лет 6 year-old	Дагестан Dagestan	1		
Каринтийская Karintijskaya	6 лет 6 year-old	Дагестан Dagestan	1		
Красная степная Krasnaya stepnaya	6-7 лет 6-7 year-old	Дагестан Dagestan	1		
Красная степная Krasnaya stepnaya	7 лет 7 year-old	Дагестан Dagestan	5	2 (KUM15, KUM31)	
Красная степная Krasnaya stepnaya	7-8 лет 7-8 year-old	Дагестан Dagestan	1		1 (KUM27)
Красная степная Krasnaya stepnaya	8 лет 8 year-old	Дагестан Dagestan	8		4 (KUM10, KUM16, KUM25, KUM32)
Красная степная Krasnaya stepnaya	9 лет 9 year-old	Дагестан Dagestan	1		1 (KUM17)

В хозяйстве с. Алмало (Ферма Гунибская, общее количество голов – 80, все имели местное происхождение) было собрано 37 образцов крови КРС, включая инфицированных ВЛКРС и коров, находящихся в контакте с больными животными. В 15 случаях была обнаружена ДНК ВЛКРС. У трех голов молодняка возраста младше 2-х лет ВЛКРС не был найден. У остальных коров возраста от 2-х до 9 лет было выявлено 4 вируса генотипа G7 и 11 – генотипа G4.

Два вируса генотипа G7 (24DAG KUM15, KUM22), выделенные от коров 5-ти и 7-ми лет, группировались в кластер генетически близких вирусов с поддержкой ветви 99 с двумя вирусами из с. Уллубиевка и одним из Кизлярского района. Третий ВЛКРС G7 (24DAG KUM33) статистически значимо (коэффициент поддержки 100) объединился с одним вирусом из с. Уллубиевка (24DAG KUM45) и с одним из с. Гасик (24DAG TAB8). Еще один ВЛКРС (24DAG KUM31) был генетически близок с вирусом из Кизлярского района Дагестана.

Среди 11 вирусов генотипа G4, найденных в с. Алмало, два (24DAG KUM25 и KUM32) попали в

общий кластер с 11 ВЛКРС из Кизлярского района. Эта группа ВЛКРС имела общее происхождение с вирусами лейкоза из Ростова (рис. 2).

Оставшиеся 9 вариантов ВЛКРС G4 располагались на ветви вирусов, возможно, имеющих связь с вирусами лейкоза из Казахстана (рис. 3). При этом один ВЛКРС (24DAG KUM9) группировался с образцом из Кизлярского района, два – с вирусами, выделенными в с. Уллубиевка. В том числе, у телки 2-х лет (KUM4) был выделен ВЛКРС, который объединился в кластер с вирусами лейкоза, выделенными у коров 8-ми и 5-ти лет (KUM57 и KUM69) из хозяйства с. Уллубиевка. Четыре ВЛКРС G4 (24DAG KUM7, KUM16, KUM17 и KUM37) имели статистически достоверную связь с вирусами из Кизлярского района (коэффициент поддержки ветви 90).

В хозяйстве Чохское с. Уллубиевка общая численность поголовья составляет 430 коров, что в 5,4 раза больше, чем в вовлеченном в исследование хозяйстве с. Алмало. В с. Уллубиевка было собрано и проанализировано 40 образцов, включая образцы от

инфицированных ВЛКРС и коров, находящихся в контакте с больными животными. Из 40 образцов 26 оказались положительными на ВЛКРС. Характе-

ристика КРС и данные по выявленным генотипам ВЛКРС приведена в таблице 3.

Таблица 3. Сводная информация по КРС, отобранном для ПЦР-диагностики на наличие ДНК вируса лейкоза, и по выявленным генотипам ВЛКРС в хозяйстве с. Уллубиевка

Table 3. Summary information on cattle selected for PCR diagnostics for the presence of leukemia virus DNA and on the identified genotypes of BLV in the farm of the village of Ullubiyevka

Порода Breed	Возраст Age	Где приобрели Where bought	Кол-во животных Number of animals	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G7 Number of animals infected with BLV G7	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G4 Number of animals infected with BLV G4
Красная степная Krasnaya stepnaya	3 года 3 year-old	Дагестан Dagestan	2		2 (KUM47, KUM77)
Красная степная Krasnaya stepnaya	4 года 4 year-old	Дагестан Dagestan	5		2 (KUM38, KUM67)
Красная степная Krasnaya stepnaya	5 лет 5 year-old	Дагестан Dagestan	8		5 (KUM44, KUM60, KUM64, KUM69, KUM72)
Красная степная Krasnaya stepnaya	6 лет 6 year-old	Дагестан Dagestan	6		3 (KUM50, KUM70, KUM71)
Красная степная Krasnaya stepnaya	7 лет 7 year-old	Дагестан Dagestan	6	1 (KUM45)	4 (KUM40, KUM48, KUM61, KUM74)
Красная степная Krasnaya stepnaya	8 лет 8 year-old	Дагестан Dagestan	9	2 (KUM73, KUM75)	5 (KUM41, KUM46, KUM57, KUM63, KUM78)
Красная степная Krasnaya stepnaya	9 лет 9 year-old	Дагестан Dagestan	3		2 (KUM66, KUM76)
Красная степная Krasnaya stepnaya	10 лет 10 year-old	Дагестан Dagestan	1		

Как и на ранее описанных территориях, среди вирусов существенно преобладали ВЛКРС генотипа G4, которых было найдено 23. Три вируса лейкоза, выделенные от коров 7 и 8 лет, относились к генотипу G7.

Два вируса генотипа G7 (24DAG KUM73 и KUM75), выделенные от коров 8 лет, статистически достоверно объединялись в кластер с двумя ВЛКРС из с. Алмало и одним вирусом из Кизлярского района. Ещё один вирус 24DAG KUM45 генотипа G7, выделенный у коровы 7 лет, входил в состав группы из трёх вирусов, объединенных в ветвь с коэффициентом поддержки 100, включающий ВЛКРС из с. Гасик и с. Алмало (рис. 1).

ВЛКРС генотипа G4 регистрировались практически среди всех возрастов животных. Среди 23 вариантов ВЛКРС G4 один вирус (24DAG KUM40) входил в общую группу с 11 кизлярскими и двумя вирусами G4 из с. Алмало (рис. 2)

Оставшиеся 22 варианта находились в кластере ВЛКРС, для которого предполагается общее происхождение с вирусами из Казахстана (рис. 3). При этом 5 вариантов G4 группировались вместе с вирусами, выделенными в 2009 году в Ростове и двумя вирусами из Кизлярского района.

В этом же кластере нами зарегистрирована большая ветвь, включающая 20 вирусов лейкоза G4 (коэффициент поддержки 96), 16 из которых было выделено в с. Уллубиевка, два – в с. Алмало и один – в Кизлярском районе (рис. 3). Вирусы KUM47 и KUM77, выделенные у телок 3-х лет, также входили в кластер ВЛКРС, объединивший 16 образцов вируса из с. Уллубиевка.

Табасаранский район по эпизоотологическим данным считается благополучным по распространению ВЛКРС. В 2023 году случаев обнаружения ВЛКРС в данном районе отмечено не было. Табасаранский район расположен в предгорной и среднегорной части РД. Рельеф характеризуется достаточно сильной пересечённостью и высокой вариабельностью ландшафтов – от нагорно-ксерофитных до альпийских. В верхней более увлажненной части хребтов произрастает альпийская и субальпийская растительность, и на этих территориях в основном располагаются основные районы выпаса крупного рогатого скота. В засушливых котловинах района содержат небольшие поголовья КРС для личного пользования. Климат в Табасаранском районе умеренно-тёплый со сравнительно мягкой зимой, жарким летом (особенно в долинах), дождливой и влажной осенью. Склоны гор, хребтов очень богаты растительностью и используются в качестве летних, а плоскогорья – и зимних пастбищ. В пределах района практически нет племенного скотоводства и основной способ оплодотворения в процессе естественного выгула. Коровы местных пород с малыми показателями надоя (3–4 литра), не проводится селекционная работа. Основное направление животноводства – мясное. Всего в Табасаранском районе насчитывается 33050 голов крупного рогатого скота, из которых 9929 – коровы. В исследуемых нами хозяйствах содержалось от 5 до 20 голов КРС местной породы в возрасте от 1 до 10 лет. Особенности местной породы является низкорослость и низкий уровень надоев. Способы оплодотворения в исследуемых хозяйствах естественные: в

основном своими бычками местной породы. Финансовая обеспеченность хозяйств на среднем уровне. Большая часть исследуемых в рамках данной работы фермерских хозяйств оснащены всеми необходимым условиями для содержания, выгула и изоляции КРС. Рядом со зданием находится выгульный двор. Общее санитарно-гигиеническое состояние помещений хорошее.

В Табасаранском районе было включено в исследование 9 хозяйств, в каждом из которых собирали по 10–11 образцов крови КРС. Характеристика КРС и данные по выявленным генотипам ВЛКРС приведена в таблицах 4–5.

В хозяйстве с. Гасик из 10 исследованных образцов в 3 случаях была выявлена ДНК ВЛКРС. Данный скот закупали в Краснодарском и Ставропольском крае. Соотношение генотипов вируса лейкоза коров было нетипичным. Обнаружено 2 варианта генотипа G7 и один G4. В одном случае G7 выделен у

быка трёх лет (24DAG TAB8), в другом – у коровы местной породы 4 лет (24DAG TAB3), при этом найденные вирусы между собой имели низкую степень генетической идентичности. Вирус, выделенный у быка, был высоко идентичен с двумя вирусами, выделенными в Кумторкалинском районе (у коров из с. Уллубиевка и из с. Алмало 7 и 6 лет). Можно предположить, что инфицирование коров из с. Уллубиевка и из с. Алмало произошло при их оплодотворении быком 24DAG TAB8.

ВЛКРС генотипа G4 выделен у коровы местной породы 6 лет. Филогенетический анализ выявил, что ВЛКРС G4 (24DAG TAB5), выделенный в с. Гасик, входит в статистически достоверный кластер, объединяющий 11 изученных нами вирусов лейкоза, 6 из которых выделены в Кизлярском районе, четыре – в с. Алмало, что указывает на возможную связь данных хозяйств в эпизоотических процессах по распространению ВЛКРС.

Таблица 4. Сводная информация по КРС, отобраным для ПЦР-диагностики на наличие ДНК вируса лейкоза, и по выявленным генотипам ВЛКРС в хозяйстве с. Гасик

Table 4. Summary information on cattle selected for PCR diagnostics for the presence of leukemia virus DNA and on the identified genotypes of BLV in the Gasik village farm

Порода Breed	Возраст Age	Где приобрели Where bought	Кол-во животных Number of animals	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G7 Number of animals infected with BLV G7	Кол-во животных, инфицир. ВЛКРС G4 Number of animals infected with BLV G4
Местная Local	3 года Бык 3 year-old Bull	Краснодарский край Krasnodar Region	1	1 (TAB8)	
Местная Local	4 года 4 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1	1 (TAB3)	
Местная Local	5 лет 5 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1		
Местная Local	5 лет 5 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1		
Местная Local	6 лет 6 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	2		1 (TAB5)
Местная Local	7 лет Бык 7 year-old Bull	Ставропольский край Stavropol Region	1		
Местная Local	7 лет 7 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	2		
Местная Local	8 лет 8 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1		

В девяти других хозяйствах Табасаранского района при исследовании 81 собранного образца не было выявлено КРС, инфицированного вирусом лейкоза коров. В таблице 5 приведены данные по собранным в хозяйствах образцам. Важно отметить, что в изученной выборке были здоровые животные возраста от года до 10 лет, завезенные из Казахстана, Ставропольского и Краснодарского края.

Обобщая результаты выполненного исследования, можно заключить, что выбранная стратегия включения в выборку ранее диагностированных на ВЛКРС инфицированных коров и контактировавших с ними животных позволила получить важные научные и практические результаты. На территориях Кизлярского, Кумторкалинского и Табасаранского районов было выделено 80 вариантов вируса лейкоза КРС и проведен

молекулярно-генетический анализ полученных вирусов (рис. 4).

Сводные данные генотипирования описанных ВЛКРС приведены в таблице 6. Показано, что в Кизлярском, Кумторкалинском и Табасаранском районах Дагестана, так же, как и в Карабудахкентском, Буйнакском и Бабаюртовском районах, где мы проводили исследование в 2023 году, наблюдается циркуляция ВЛКРС генотипов G4 и G7 [11].

В связи с тем, что в 2023 году ВЛКРС-положительные образцы были отобраны при ПЦР-диагностике на ВЛКРС 150 голов условно здорового скота, общее количество расшифрованных нуклеотидных последовательностей ВЛКРС составило 17, в том числе, 7 генотипа G4 и 10 последовательностей генотипа G7. Близкое распределение генотипов ВЛКРС было зарегистрировано в хозяйстве с. Гасик. Представ-

ленность генотипов ВЛКРС в выборке образцов, собранных от инфицированного лейкозом скота в Кизлярском и Кумторкалинском районах существенно отличалось. Вирусы лейкоза G7 встречались в

единичных случаях, нами было описано лишь 9 случаев заражения среди 121 изученной пробы (7,4 %), тогда как в 92,6 % был выделен G4.

Таблица 5. Сводная информация по КРС, отобранном для ПЦР-диагностики на наличие ДНК ВЛКРС в хозяйствах Табасаранского района

Table 5. Summary information on cattle selected for PCR diagnostics for the presence of BLV DNA in farms of the Tabasaran region

Порода Breed	Возраст Age	Где приобрели Where bought	Количество животных Number of animals
Хозяйство с. Ерси / Farm in Village of Ersi			
Местная Local	2 года Бык 2 year-old Bull	Казахстан Kazakhstan	1
Местная Local	2,5 года Бык 2.5 year-old Bull	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	4 года 4 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	5 лет 5 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	5 лет 5 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	6 лет 6 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	2
Местная Local	7 лет 7 year-old	Казахстан Kazakhstan	1
Местная Local	8 лет 8 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	9 лет 9 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Хозяйство с. Татиль / Farm in Village of Tatil			
Местная Local	2 года Бык 2 year-old Bull	Казахстан Kazakhstan	1
Местная Local	4 года 4 year-old	Казахстан Kazakhstan	1
Местная Local	5 лет 5 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	2
Местная Local	6 лет 6 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	6 лет 6 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	7 лет 7 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	2
Местная Local	8 лет 8 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	7 лет 7 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Хозяйство с. Арак / Farm in Village of Arak			
Местная Local	3 года Бык 3 year-old Bull	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	5 лет 5 year-old	Краснодарский край Krasnodar Region	2
Местная Local	6 лет 6 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	2
Местная Local	6 лет 6 yeas-old	Краснодарский край Krasnodar Region	1
Местная Local	7 лет 7 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	8 лет 8 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1
Местная Local	8 лет 8 year-old	Казахстан Kazakhstan	1
Местная Local	9 лет 9 year-old	Ставропольский край Stavropol Region	1

Хозяйство с. Марара / Farm in Village of Maraga			
Местная	6 лет	Казахстан	3
Local	6 year-old	Kazakhstan	
Местная	7 лет	Казахстан	1
Local	7 year-old	Kazakhstan	
Местная	8 лет	Краснодарский край	4
Local	8 year-old	Krasnodar Region	
Местная	8 лет	Ставропольский край	2
Local	8 year-old	Stavropol Region	
Местная	9 лет	Краснодарский край	1
Local	9 year-old	Krasnodar Region	
Хозяйство с. Гурик / Farm in Village of Gurik			
Местная	5 лет	Ставропольский край	1
Local	5 year-old	Stavropol Region	
Местная	6 лет	Казахстан	2
Local	6 year-old	Kazakhstan	
Местная	7 лет	Краснодарский край	1
Local	7 year-old	Krasnodar Region	
Местная	7 лет	Ставропольский край	1
Local	7 year-old	Stavropol Region	
Местная	8 лет	Ставропольский край	1
Local	8 year-old	Stavropol Region	
Местная	8 лет	Краснодарский край	1
Local	8 year-old	Krasnodar Region	
Местная	9 лет	Ставропольский край	2
Local	9 year-old	Stavropol Region	
Местная	10 лет	Ставропольский край	1
Local	10 year-old	Stavropol Region	
Хозяйство с. Пилиг / Farm in Village of Pilig			
Местная	1 год	Казахстан	1
Local	1 year-old	Kazakhstan	
Местная	2 года Бык	Казахстан	1
Local	2 year-old Bull	Kazakhstan	
Местная	2 года	Казахстан	2
Local	2 year-old	Kazakhstan	
Местная	3 года Бык	Краснодарский край	1
Local	3 year-old Bull	Krasnodar Region	
Местная	4 года	Краснодарский край	1
Local	4 year-old	Krasnodar Region	
Местная	5 лет	Ставропольский край	1
Local	5 year-old	Stavropol Region	
Местная	6 лет	Ставропольский край	1
Local	6 year-old	Stavropol Region	
Местная	7 лет	Краснодарский край	1
Local	7 year-old	Krasnodar Region	
Местная	9 лет	Ставропольский край	1
Local	9 year-old	Stavropol Region	
Хозяйство с. Турф / Farm in Village of Turuf			
Местная	3 года	Краснодарский край	1
Local	3 year-old	Krasnodar Region	
Местная	4 года	Ставропольский край	1
Local	4 year-old	Stavropol Region	
Местная	5 лет	Ставропольский край	1
Local	5 year-old	Stavropol Region	
Местная	6 лет	Краснодарский край	2
Local	6 year-old	Krasnodar Region	
Местная	7 лет	Ставропольский край	2
Local	7 year-old	Stavropol Region	
Местная	8 лет	Ставропольский край	1
Local	8 year-old	Stavropol Region	
Местная	9 лет	Ставропольский край	1
Local	9 year-old	Stavropol Region	
Местная	10 лет	Ставропольский край	1
Local	10 year-old	Stavropol Region	

Хозяйство с. Сика / Farm in Village of Sika			
Местная	4 года	Казахстан	2
Local	4 year-old	Kazakhstan	
Местная	4 года	Краснодарский край	1
Local	4 year-old	Krasnodar Region	
Местная	5 лет	Ставропольский край	1
Local	5 year-old	Stavropol Region	
Местная	5 лет	Казахстан	1
Local	5 year-old	Kazakhstan	
Местная	6 лет	Краснодарский край	1
Local	6 year-old	Krasnodar Region	
Местная	7 лет	Краснодарский край	1
Local	7 year-old	Krasnodar Region	
Местная	8 лет	Ставропольский край	1
Local	8 year-old	Stavropol Region	
Местная	8 лет	Краснодарский край	1
Local	8 year-old	Krasnodar Region	
Местная	9 лет	Ставропольский край	1
Local	9 year-old	Stavropol Region	

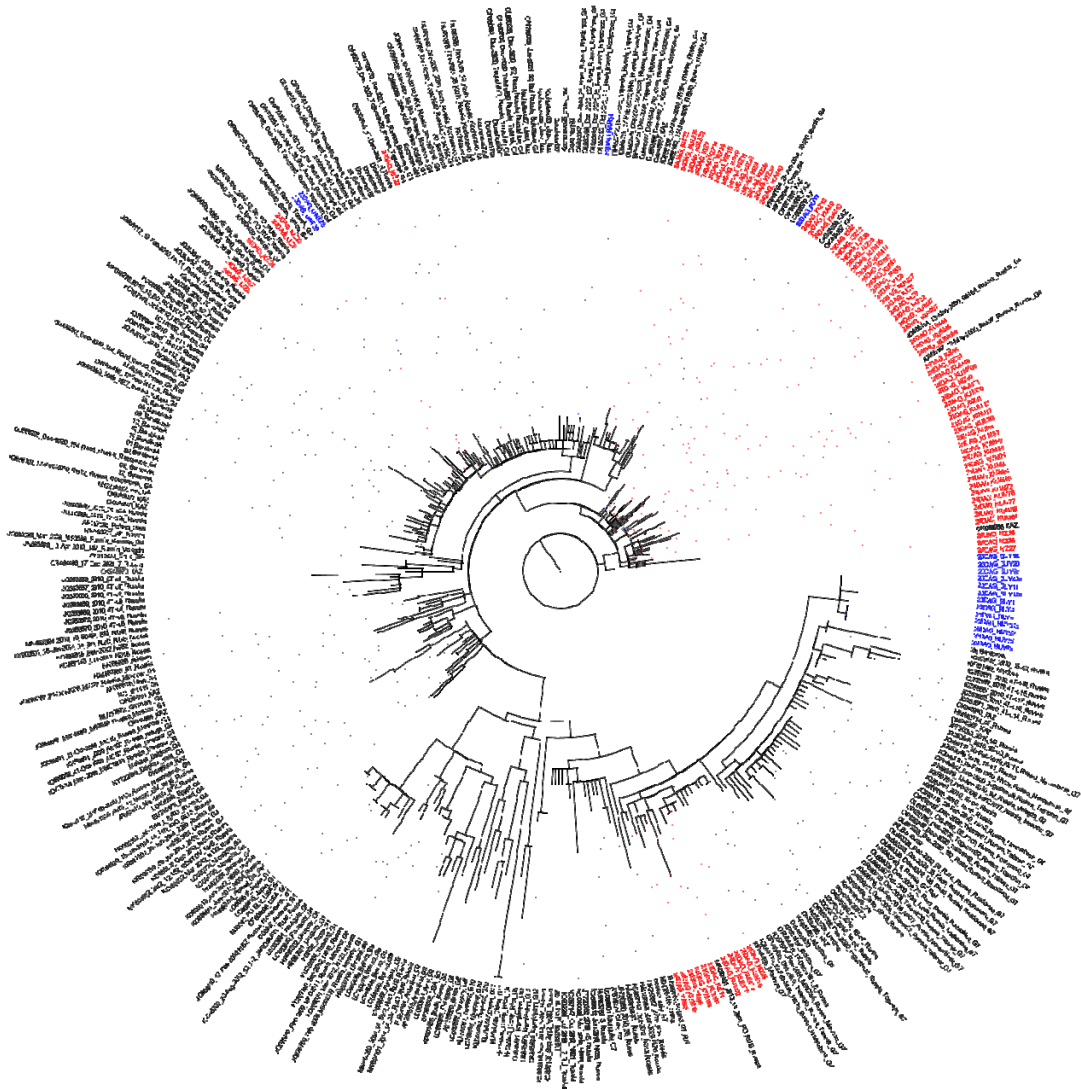


Рисунок 4. Общее кольцевое филогенетическое дерево, построенное для области env исследованных вариантов ВЛКРС, выделенных в Дагестане. Синим обозначены образцы ВЛКРС 2023 года, собранные в Республике Дагестан. Красным обозначены образцы ВЛКРС 2024 года

Figure 4. General ring phylogenetic tree constructed for the env region of the studied BLV variants isolated in Dagestan. BLV samples from 2023 collected in the Republic of Dagestan are shown in blue. BLV samples from 2024 are shown in red

Найденные 10 из 11 вариантов G7 лейкоза Кизлярского, Кумторкалинского и Табасаранского районов группировались друг с другом в три статистически достоверных кластера, включающих 5, 3 и 2 варианта ВЛКРС, что подтверждает преимущественную передачу данного геноварианта вируса лейкоза внутри хозяйств.

Филогенетический анализ ВЛКРС генотипа G4 позволил заключить, что на территориях Кизлярского, Кумторкалинского и Табасаранского районов циркули-

рует достаточно гетерогенная популяция ВЛКРС G4: большая часть ВЛКРС относится к кластеру вирусов лейкоза коров, имеющих общее происхождение с ВЛКРС, распространенными в Казахстане, кроме того, выделяется кластер вирусов, близких к геновариантам лейкоза, выделенным в Ростовской области и наблюдается распространение ВЛКРС, генетически близких к вирусам, распространяющимся на других территориях России, в том числе, в Сибири.

Таблица 6. Сводные данные ПЦР-исследования скота на наличие ДНК ВЛКРС в пробах крови
Table 6. Summary data of PCR testing of cattle for the presence of BLV DNA in blood samples

Населенный пункт Settlement	Возраст Age	Поголовье скота Livestock population	Кол-во образцов Number of samples	ПЦР (+) образцов PCR (+) samples	Распределение генотипов Genotype distribution
Район Кизлярский (KIZ обозначение на дереве) Kizlyarsky District (KIZ designation on the tree)					
Некрасовка Nekrasovka	1–14 лет 1–14 year-olds	800	44	36 (81.8 %)	G4-34, G7-2 94.4 %, 5.6 %
Район Кумторкалинский (КУМ обозначения на дереве) Kumtorkalinsky district (KUM designation on the tree)					
Алмало Almalo	1,5–9 лет 1.5–9 year-olds	628	37	15 (40.5 %)	G4-11, G7-4 73.3 %, 26.7 %
Уллубиевка Ullubievka	3–10 лет 3–10 year-olds	580	40	26 (65 %)	G4-23, G7-3 88.5 %, 11.5 %
Район Табасаранский (ТАВ обозначение на дереве) Tabasaransky District (TAB designation on the tree)					
Сика, Туруф, Пилиг, Татиль, Ерси, Гуми, Гурик, Марага, Арак, Гасик Sika, Turuf, Pilig, Tatil, Ersi, Gumi, Gurik, Maraga, Arak, Gasik	1–10 лет 1–10 year-olds	33050	91	3 (3.3 %)	G4-1, G7-2 33.3 %, 66.7 %

Образцы ВЛКРС, выделенные нами в 2023 году в Карабудахкентском, Буйнакском и Бабаюртовском районах Дагестана, не группируются с вирусами Кизлярского, Кумторкалинского и Табасаранского районов, что указывает на развитие территориальных эпизоотических процессов по распространению ВЛКРС.

ВЫВОДЫ

Впервые в Республике Дагестан выполнен анализ развития территориальных эпизоотических процессов по распространению ВЛКРС на основе изучения достаточно представительной выборки генетических вариантов вируса. Обобщая результаты исследования молекулярно-генетических особенностей 80 вариантов ВЛКРС, выделенных в хозяйствах Дагестана, можно подтвердить сделанный нами ранее вывод о том, что, вероятно, на территории Республики на протяжении длительного времени происходили различные независимые заносы ВЛКРС из разных регионов России и Казахстана, связанные с закупкой племенного скота. Занесенные ранее в Дагестан вирусы лейкоза в некоторых хозяйствах продолжают распространяться.

Филогенетический анализ случаев заражения лейкозом молодняка в неблагополучных по лейкозу хозяйствах и наличие филогенетически близких кластеров ВЛКРС в одном хозяйстве или в

территориально близких хозяйствах подтверждают, что в настоящее время основной причиной регистрации новых случаев ВЛКРС не является не занос ВЛКРС в хозяйства при закупках племенного скота. Абсолютное большинство исследованных случаев эпизоотии лейкоза можно отнести к передаче инфекции внутри территорий Республики.

В соответствии с нормативными рекомендациями Министерства сельского хозяйства (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 24.03.2021 N 156" «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов лейкоза крупного рогатого скота») в Республике Дагестан проводится скрининг животных на ВЛКРС, для диагностики ВЛКРС применяются методы РИД и ИФА. Одной из возможных причин продолжающейся циркуляции ВЛКРС является недостаточно эффективная (РИД, ИФА) либо недостаточно регулярная диагностика, проводимая в хозяйствах, что не позволяет своевременно выявлять и изолировать больных животных. Выводы настоящего исследования, основанного на изучении циркулирующих в Дагестане генетических вариантов ВЛКРС, согласуются с

результатом анализа официальных данных отчетности Комитета по ветеринарии Республики Дагестан [7].

Пример благополучных по лейкозу хозяйств Табасаранского района показывает, что в Дагестане есть хозяйства, свободные от ВЛКРС. ПЦР-диагностика 81 образца крови КРС, закупленных в разные годы в Казахстане, Ставропольском и Краснодарском крае, подтвердила, что все исследованные на наличие ДНК лейкоза животные здоровы независимо от их возраста и региона происхождения. Наличие в хозяйствах разновозрастного здорового стада с большим количеством скота, завозимого из других регионов России и Казахстана, подтверждает, что усиление мер контроля эпизоотической ситуации по инфекции ВЛКРС в Дагестане приносит ощутимый результат.

Тем не менее, ПЦР-диагностика позволила в одном из ранее благополучных хозяйств зарегистрировать наличие больных животных и распространение ВЛКРС. Данный факт указывает на необходимость активизации противоэпизоотических мероприятий в хозяйствах. Особенно важно проводить широкий скрининг скота на наличие лейкоза перед началом весенне-летнего сезона в хозяйствах, где практикуется выпас животных. Крайне актуальным является недопущение распространения ВЛКРС при оплодотворении коров. С целью повышения эффективности выявления зараженного лейкозом скота можно рекомендовать хозяйствам внедрение ПЦР-диагностики лейкоза КРС на первом этапе для племенных быков, которые используются для осеменения стада. Некоторые хозяйства России имеют успешный опыт применения ПЦР-диагностики телят для формирования стада, свободного от лейкоза [12]. Оздоровление поголовья отдельных сотрудничающих хозяйств обеспечивает создание племенного ядра для других ферм и может являться важным этапом эффективной борьбы с распространением ВЛКРС.

Выводы, полученные на основе филогенетических исследований выделенных вариантов ВЛКРС, имеют большую практическую значимость и могут быть использованы при планировании и внедрении более эффективных противоэпизоотических мероприятий в Дагестане.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания 4-21 ФБУН ГНЦ ВБ Вектор Роспотребнадзора.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the State Scientific Center VB, Vector, of Rospotrebnadzor.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. NAHMS-USDA Bovine Leukosis Virus on U.S. Dairy Operations. 2007.
2. Донник И.М., Гулюкин М.И., Бусол В.А., Коваленко Л.В., Коваленко А.М. Лейкоз крупного рогатого скота — диагностика, оздоровление, антропозоонозный потенциал (история вопроса) (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. N 2. С. 230–244. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.230rus
3. Гулюкин М.И., Иванова Л.А., Степанова Т.В., Барабанов И.И., Козырева Н.Г. Контроль и тенденции изменения

- эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в 2000–2016 годах // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. Т. 71. N 11. С. 530–537. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-11.70>
4. Зубова Т.В., Плешков В.А., Миронов А.Н. Современные методы и опыт борьбы с лейкозом крупного рогатого скота // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2018. Т. 10. N 5. С. 119–131. DOI: 10.12731/WSD-2018-5-119-131
5. Чижова Л.Н., Белов Д.Е. Использование полимеразной цепной реакции в диагностике лейкоза КРС // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2004. Т. 2. N 2–2. С. 65–69.
6. Крюков В.И., Шалимова О.А., Друшляк Н.Г., Пикунова А.В. ДНК-диагностика в селекции крупного рогатого скота // Вестник ОрелГАУ: Научное обеспечение животноводства. 2012. N 1. С. 62–68.
7. Budulov N.R., Mikailov M.M., Gunashev S.A., Yanikova E.A., Khalikov A.A. Bovine leukemia virus occurrence in Dagestan // Veterinary Science Today. FGI Federal Centre for Animal Health (FGI ARRIA). 2023. V. 12. N 2. P. 111–118.
8. Sequencher Demo Software Informer: version 4.1 information. URL: <https://sequencher.software.informer.com/4.1/> (дата обращения: 09.03.2025)
9. GenBank Overview. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (дата обращения: 16.04.2025)
10. Minh B.Q., Schmidt H.A., Chernomor O., Schrempf D., Woodhams M.D., Von Haeseler A., Lanfear R., Teeling E. IQ-TREE 2: New Models and Efficient Methods for Phylogenetic Inference in the Genomic Era // Mol Biol Evol. Mol Biol Evol. 2020. V. 37. N 5. P. 1530–1534. DOI: 10.1093/MOLBEV/MSAA015
11. Бабошко Д.А., Елфимов К.А., Даудова М.Г., Койчьев Х.Г., Гапизова Х.Ф., Гашникова Н.М. Оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в Республике Дагестан с помощью ПЦР-диагностики // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 4. С. 114–124. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-114-124>
12. Бабошко Д.А., Елфимов К.А., Кузьмин А.И., Рожков О.А., Тотменин А.В., Флеер М.В., Гашникова Н.М. Формирование свободного от энзоотического лейкоза крупного рогатого скота стада на основе ПЦР-диагностики телят // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. N 12. С. 68–79. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-12-8

REFERENCES

1. NAHMS-USDA Bovine Leukosis Virus on U.S. Dairy Operations. 2007
2. Donnik I.M., Gulyukin M.I., Busol V.A., Kovalenko L. V., Kovalenko A.M. Bovine leukemia virus INFECTION — diagnostics, eradication, and anthroponozoonotic potential (background) (review). *Agricultural Biology*, 2021, vol. 56, no. 2, pp. 230–244. (In Russian) doi: 10.15389/agrobiology.2021.2.230rus
3. Gulyukin M.I., Ivanova L.A., Stepanova T.V., Barabanov I.I., Kozyreva N.G. Control and trends in the epizootic situation of bovine leukemia in 2000–2016. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 2017, vol. 71, no. 11, pp. 530–537. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-11.70>
4. Zubova T.V., Pleshkov V.A., Mironov A.N. Modern methods and experience of struggle against leukemia of cattle. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2018, vol. 10, no. 5, pp. 119–131. DOI: 10.12731/WSD-2018-5-119-131
5. Chizhova L.N., Belov D.E. The use of polymerase chain reaction in the diagnosis of bovine leukemia. In: *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* [Collection of scientific works of the Stavropol Research Institute of

- Livestock and Feed Production]. 2004, vol. 2, no. 2–2, pp. 65–69. (In Russian)
6. Kryukov V.I., Shalimova O.A., Drushlyak N.G., Pikunova A.V. DNA diagnostics in cattle breeding. Vestnik OrelGAU: Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva [Bulletin of OrelSAU: Scientific support of livestock breeding]. 2012, no. 1, pp. 62–68. (In Russian)
7. Budulov N.R., Mikailov M.M., Gunashev S.A., Yanikova E.A., Khalikov A.A. Bovine leukemia virus occurrence in Dagestan. Veterinary Science Today. FGI Federal Centre for Animal Health (FGI ARRIA), 2023, vol. 12, no. 2, pp. 111–118.
8. Sequencher Demo Software Informer: version 4.1 information. URL: <https://sequencher.software.informer.com/4.1/> (accessed 09.03.2025)
9. GenBank Overview. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (accessed 16.04.2025)
10. Minh B.Q., Schmidt H.A., Chernomor O., Schrempf D., Woodhams M.D., Von Haeseler A., Lanfear R., Teeling E. IQ-TREE 2: New Models and Efficient Methods for Phylogenetic Inference in the Genomic Era. *Mol Biol Evol.* 2020, vol. 37, no. 5, pp. 1530–1534. DOI: 10.1093/MOLBEV/MSAA015
11. Baboshko D.A., Elfimov K.A., Daudova M.G., Koychuev Kh.G., Gapizova Kh.F., Gashnikova N.M. Assessment of the incidence of leukemia virus (BLV) in cattle in the Republic of Dagestan using PCR diagnostics. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 114–124. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-114-124>
12. Baboshko D.A., Elfimov K.A., Kuzmin A.I., Rozhkov O.A., Totmenin A.V., Fleer M.B., Gashnikova N.M. Formation of the herd free from enzootic bovine leukosis on the basis of pcr-diagnostics of calves. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 12, pp. 68–79. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-12-8

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья М. Гашникова и Мадина Г. Даудова составили концепцию исследования. Мадина Г. Даудова, Даниял К. Дандамаев и Заира Р. Шахбанова собрали эпидемиологические данные и оказали помощь в сборе образцов. Дмитрий А. Бабошко, и Полина Ю. Ачигечева выполнили пробоподготовку образцов, провели генотипирование ВЛКРС, проанализировали эпидемиологические данные. Алексей В. Тотменин выполнил филогенетический анализ и построение филогенетических деревьев. Наталья М. Гашникова руководила проектом. Наталья М. Гашникова, Дмитрий А. Бабошко и Кирилл А. Елфимов подготовили рукопись. 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

Natalya M. Gashnikova and Madina G. Daudova developed the concept of the study. Madina G. Daudova, Daniyal K. Dandamaev and Zaira R. Shakhbanova collected epidemiological data and assisted in collecting samples. Dmitry A. Baboshko and Polina Y. Achigecheva performed sample preparation, genotyping of BLV and analysed epidemiological data. Alexey V. Totmenin performed phylogenetic analysis and construction of phylogenetic trees. Natalya M. Gashnikova supervised the project. Natalya M. Gashnikova, Dmitry A. Baboshko and Kirill A. Elfimov prepared the manuscript. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дмитрий А. Бабошко / Dmitry A. Baboshko <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>
Мадина Г. Даудова / Madina G. Daudova <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>
Полина Ю. Ачигечева / Polina Y. Achigecheva <https://orcid.org/0009-0006-3120-6548>
Кирилл А. Елфимов / Kirill A. Elfimov <https://orcid.org/0009-0002-6635-2642>
Даниял К. Дандамаев / Daniyal K. Dandamaev <https://orcid.org/0009-0007-7652-8628>
Заира Р. Шахбанова / Zaira R. Shakhbanova <https://orcid.org/0009-0007-6496-8175>
Алексей В. Тотменин / Alexey V. Totmenin <https://orcid.org/0000-0002-7418-4872>
Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Обзорная статья / Review article
УДК 595.42: 598.1
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-4



Обзор клещей паразитов рептилий, входящих в состав отряда Mesostigmata

Вадим Р. Саитов¹, Алсу Х. Губейдуллина¹, Анатолий И. Голубев¹, Марина М. Сальникова¹, Людмила В. Малютина¹, Наталия В. Шакурова¹, Ислам Р. Нигметзянов¹, Анастасия С. Еловицкая¹, Глеб С. Кашеваров², Ксения А. Юсупова², Анна Н. Сибен³, Елена А. Ефремова⁴, Ольга М. Бонина⁴, Евгений А. Удальцов⁵

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

³Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

⁴Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

⁵Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Вадим Р. Саитов, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и общей биологии ИФМиБ, К(П)ФУ; 420008 Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, к. 011. Тел. +79196332777
Email sinsavara@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9815-1314>

Формат цитирования

Саитов В.Р., Губейдуллина А.Х., Голубев А.И., Сальникова М.М., Малютина Л.В., Шакурова Н.В., Нигметзянов И.Р., Еловицкая А.С., Кашеваров Г.С., Юсупова К.А., Сибен А.Н., Ефремова Е.А., Бонина О.М., Удальцов Е.А. Обзор клещей паразитов рептилий, входящих в состав отряда Mesostigmata // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 54-68. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-4

Получена 22 января 2025 г.
Прошла рецензирование 28 февраля 2025 г.
Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: проанализировать, обобщить и охарактеризовать современное состояние мировой фауны клещей, отряда Mesostigmata, паразитирующих на рептилиях.

Описательным анализом, основанном на данных отечественных и зарубежных акарологов, изучено нынешнее видовое разнообразие клещей, представителей семейств: Entonyssidae, Heterozetidae, Ixodidae, Laelapidae, Macronyssidae, Paramesitidae, Omentolaelapidae из отряда Mesostigmata, паразитирующих на рептилиях.

Проведен хронологический анализ и обобщены результаты акарологических исследований видового представительства клещей паразитов рептилий. Дополнены сведения по новым видам клещей и их хозяевам-прокормителям. Показаны различные уровни паразит-хозяинной специфичности, места локализации паразитов, широта распространения и эндемичность. Клещ *Ophionyssus natricis* самый представительный вид, паразит змей и ящериц, широко распространен во всем мире, как на домашних (зоопарковых), так и на диких рептилиях, может нападать и на других позвоночных включая человека.

Осведомленность о современном состоянии фауны клещей, паразитов, пресмыкающихся будет способствовать пополнению базы научных данных, расширению исследовательского кругозора, повышению уровня научно-исследовательской, преподавательской деятельности, пропаганде знаний, свидетельствующей о широком видовом разнообразии и распространении различных групп клещей.

Ключевые слова

Клещ, рептилии, Mesostigmata, акарология, *Ophionyssus natricis*, паразиты, сапрофаги, таксономический статус.

Review of ticks of the order Mesostigmata parasitic on reptiles

Vadim R. Saitov¹, Alsu H. Gubeidullina¹, Anatoliy I. Golubev¹, Marina M. Salnikova¹,
Ludmila V. Malutina¹, Natalia V. Shakurova¹, Islam R. Nigmatzyanov¹, Anastasia S. Elovitskaya¹,
Gleb S. Kashevarov², Ksenia A. Yusupova², Anna N. Siben³, Elena A. Efremova⁴,
Olga M. Bonina⁴ and Evgeniy A. Udaltsov⁵

¹Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

²Federal Centre for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia

³Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia

⁴Siberian Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

⁵Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Vadim R. Saitov, Doctor of Biological Sciences,
Professor, Department of Zoology and General
Biology, Institute of Fundamental Medicine and
Biology, Kazan (Volga Region) Federal University;
18 Kremlevskaya St, Kazan, Republic of Tatarstan,
Russia 420008.

Tel. +79196332777

Email sinsavara@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9815-1314>

How to cite this article

Saitov V.R., Gubeidullina A.H., Golubev A.I.,
Salnikova M.M., Malutina L.V., Shakurova N.V.,
Nigmatzyanov I.R., Elovitskaya A.S., Kashevarov
G.S., Yusupova K.A., Siben A.N., Efremova E.A.,
Bonina O.M., Udaltsov E.A. Review of ticks of the
order Mesostigmata parasitic on reptiles. *South of
Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):54-68.
(In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-4

Received 22 January 2025

Revised 28 February 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. Analyse, summarise and characterise the current state of the world fauna of ticks of the order Mesostigmata parasitic on reptiles.

Descriptive analysis based on data from Russian and foreign acarologists was used to study the current species diversity of ticks which are representatives of the families: Entonyssidae, Heterozetidae, Ixodidae, Ixodidae, Laelapidae, Macronyssidae, Paramegistiidae, Omentolaelapidae from the order Mesostigmata, which parasitise reptiles. A chronological analysis was conducted and the results of acarological studies of the species of ticks parasitising reptiles were summarised. Supplementary information on new species of ticks and hosts-feeders was compiled. Various levels of host-parasite specificity, localisation of parasites, distribution width and endemism are shown. The tick *Ophionyssus natricis* was found to be the most representative species: a parasite of snakes and lizards, widely distributed throughout the world, both on domestic (zoo) and wild reptiles and are capable of attacking other vertebrates, including humans.

Awareness of the current state of knowledge of the tick parasitic fauna on reptiles will contribute to updating of the scientific database, expansion of research horizons, increase in the level of research and teaching activities and the dissemination of knowledge on the wide species diversity and distribution of various groups of ticks.

Key Words

Tick, reptiles, Mesostigmata, acarology, *Ophionyssus natricis*, parasites, saprophages, taxonomic status.

ВВЕДЕНИЕ

Клещи играют важную роль в биоценозе и поддержании экологического равновесия. Среди клещей преобладают сапрофаги, хищники и фитофаги, питающиеся спорами и мицелием грибов. Многие вредят пищевым запасам и содействуют развитию дерматозов, аллергии, а также среди клещей встречаются паразиты [1; 2].

Эктопаразиты наземных позвоночных широко распространены во всем мире и являются предметом изучения арахноэнтомологии, одного из важных направлений паразитологии [3–5].

Большинство исследований показали, что клещи могут вызывать различные заболевания [6] и истощение у рептилий, например, анемию [7], снижение активности или раздражительность [8], дерматит [9], что очень заметно в коллекциях пресмыкающихся, содержащихся в неволе.

Помимо непосредственного вреда, причиняемого своим хозяевам, эктопаразиты позвоночных могут быть резервуарами и источниками распространения опасных, в том числе для человека и животных заболеваний инфекционной и инвазионной этиологии [10–18]. В этом отношении рептилии, как содержащиеся в искусственных условиях, так и особенно экзотические, обитающие в дикой природе, могут быть переносчиками разного рода заболеваний.

Клещи благодаря особенностям своей жизнедеятельности повышают вероятность передачи заболеваний между различными членами биологических сообществ. Весьма актуальным представляется изучение паразитов пресмыкающихся, содержащихся и в неволе (террариумах), так как в определенных условиях данных стаций может формироваться среда оптимальная для жизнедеятельности, к-примеру непостоянных эктопаразитов – клещей, блох, кровососущих клопов и т.д., также являющихся переносчиками ряда заболеваний.

Касаемо паразитизма стоит отметить, что по мнению корифея отечественной арахноэнтомологии – Юрия Сергеевича Балашова взаимоотношения паразит-хозяин между клещами и рептилиями или амфибиями уделялось лишь ограниченное внимание [11; 19] Эта тенденция в большей мере отмечается и в настоящее время, когда научные статьи чаще затрагивают паразит-хозяинные отношения клещей-млекопитающих [20–22], клещей-птиц [23–25], включая несколько аналитических обзоров [26–29].

Немаловажное значение в меньшей, по сравнению с насекомыми изученности клещей имеет, тот факт, что большинство их форм, в отличие от наиболее известных крупных представителей – иксодовых, аргасовых и водяных, характеризуются микроскопическими размерами и требуют более сложных методов исследования [1]. Отчасти поэтому некоторые обзорные источники [30–32] подробно описывают модели взаимоотношений клещей и их хозяев, частоту, с которой эти модели меняются, динамику популяций клещей, эволюцию биоразнообразия клещей, а также циркуляцию и эволюцию связанных с ними патогенов. Но рассматриваемые исследования, опять же касаются наиболее изученных и крупных клещей представителей Acari (Ixodidae и Argasidae).

В работе основное внимание уделяется обзору современного состояния представителей различных групп клещей, входящих в отряд Mesostigmata, чьи размеры значительно меньше, чем у иксодовых, аргасовых и водяных клещей и чьи жизненные циклы в той или иной мере связаны с жизнедеятельностью рептилий.

ОБСУЖДЕНИЕ

В аналитическом обзоре «*Acari (chelicerata) – parasites of reptiles*» Monika Fajfer [33] приводит сведения о клещах, паразитирующих на рептилиях. Сообщается, что «рептильные» клещи представлены 15 семействами временных и постоянных паразитов, которые принадлежат к 3 отрядам: **мезостигматические** (Entonyssidae, Heterozetidae, Ixodorhynchidae, Laelapidae, Macronyssidae, Omentolaelapidae, Paramesitidae), **метастигматические** (Amblyomidae (в России как правило не выделяют подобного семейства, отечественная систематика включает подсемейство Amblyomminae и род *Amblyomma* [34; 35], Argasidae, Ixodidae) и **простигматические** (Cloacaridae, Harpirhynchidae, Leeuwenhoekidae, Pterygosomatidae, Trombiculidae).

Дополнительно к приведенной информации считаем важным добавить к списку **астигматических** клещей – (семейство Tyroglyphidae). Так по информации [36] до 19 % в зависимости от семейства ящериц в их фекалиях обнаруживались тироглифидные клещи, особенно у насекомоядных ящериц. Также тироглифиды обнаруживались в некротическом материале панциря черепахи [37], внешне это проявлялось как будто клещи были истинными паразитами, однако на самом деле они не являлись главной причиной данной патологии, а лишь питались уже поврежденной и размягченной тканью панциря, которая, по-видимому, являлась для них полноценным источником пищи.

Согласно мнению профессора К.П. Федорова [38] паразитический образ жизни не является резко обособленным от свободного. Имеются промежуточные звенья, переходные состояния, как отражение адаптаций к паразитическому образу жизни. Одной из форм такого состояния является факультативный паразитизм. Он свойственен видам, обычно ведущим свободноживущий образ жизни. Тироглифидные клещи, обитающие в амбарной пыли, разного рода продуктах [39], попадая в кишечник животных и человека, и некоторое время живя там, вызывают кишечные расстройства [40] и по сути являются факультативными паразитами.

В работе [33] также проанализированы основные аспекты взаимоотношений хозяин-паразит. Подтверждена более высокая специфичность к хозяину у акариформных клещей по сравнению с паразитиформными. Акариды из шести семейств (Acarifomes: Cloacaridae, Harpirhynchidae, Pterygosomatidae и Parasitiformes: Entonyssidae, Ixodorhynchidae, Omentolaelapidae), были зарегистрированы как постоянные паразиты рептилий. Большинство эктопаразитарных клещей обитают под чешуей хозяина и в местах, сложных для физического доступа рептилий, например, в ушных каналах или локтевых суставах. Стоит отметить тот факт, что среди клещей, паразитирующих на рептилиях, имеются и эндопара-

зиты. Основные места их обитания – дыхательные пути своих хозяев-рептилий, клоака и мыщцы.

Мезостигматические или гамазоидные клещи (Mesostigmata, Gamasoidea)

Составляют большую часть отряда Parasitiformes. Хищные и многоядные формы обитают в почве, растительной подстилке и разлагающихся субстратах, переходя к сапрофагии. Активно заселяют гнезда птиц, общественных перепончатокрылых, термитов, млекопитающих и хладнокровных позвоночных. Среди них можно выделить хищников, паразитов, нахлебников и комменсалов [1]. Касаемо пресмыкающихся в исследовании [41] приводится мнение, что

мезостигматические клещи среди всех пресмыкающихся, чаще обнаруживаются у чешуйчатых рептилий – змей и ящериц.

Семейство Entonyssidae – паразитиформные эндопаразиты, постоянные паразиты, обитатели дыхательных путей змей [33; 42–44] По мнению Ю.А. Захваткина [1] полостные энтониисиды живут в воздушных мешках змей.

В аналитическом исследовании М. Fajfer [33] семейство включает 24 вида, принадлежащих к восьми родам (табл. 1). Данные паразитические клещи были обнаружены на большинстве континентов, за исключением Австралии.

Таблица 1. Клещи семейства Entonyssidae постоянные паразиты змей [33]

Table 1. Ticks of the Entonyssidae family, permanent parasites of snakes [33]

Вид клеща Tick species	Хозяин Host	Ареал Area
<i>Cobranysus schoutedeni</i> (Radford, 1953)	<i>Naja naja</i> (Linnaeus, 1758)	Asia
<i>Entonyssus asiaticus</i> (Fain, 1960)	<i>Rhabdophis chrysargos</i> (Schlegel, 1837)	Asia
<i>Entonyssus colubri</i> (Hubbard, 1938)	<i>Coluber constrictor constrictor</i> (Linnaeus, 1758); <i>Coluber constrictor flaviventris</i> (Say, 1823); <i>Coluber constrictor foxii</i> (Baird et Girard, 1853); <i>Coluber flagellum</i> (Shaw, 1802)	North America
<i>Entonyssus halli</i> (Ewing, 1922)	<i>Pituophis melanoleucus</i> (Daudin, 1803); <i>Pituophis</i> sp.	North America
<i>Entonyssus javanicus</i> (Fain, 1961)	<i>Xenochrophis vittatus</i> (Linnaeus, 1758)	Asia
<i>Entonyssus philippinensis</i> (Fain, 1961)	<i>Fordonia leucobalia</i> (Schlegel, 1837)	Asia
<i>Entonyssus rileyi</i> (Ewing, 1924)	<i>Crotalus atrox</i> (Baird et Girard, 1853); <i>Crotalus</i> sp.	North America
<i>Entonyssus squamatus</i> (Fain, Kutzer, Fordinal, 1983)	<i>Elaphe schrenckii</i> (Strauch, 1873)	Asia
<i>Entophionyssus glasmacheri</i> (Vitzthum, 1935)	<i>Lampropeltis getula</i> (Linnaeus, 1766); <i>Pantherophis alleghaniensis</i> (Holbrook, 1836); <i>Pantherophis emoryi</i> (Baird et Girard, 1853); <i>Pantherophis obsoletus</i> (Say, 1823); <i>Pituophis catenifer sayi</i> (Schlegel, 1837)	North America
<i>Entophionyssus hamertoni</i> (Radford, 1939)	<i>Thamnophis sirtalis parietalis</i> (Say, 1823); <i>Thamnophis sirtalis sirtalis</i> (Linnaeus, 1758)	North America
<i>Entophionyssus heterodontos</i> (Keegan, 1943)	<i>Heterodon platirhinos</i> (Latreille, 1801); <i>Lampropeltis calligaster</i> (Harlan, 1827)	North America
<i>Entophionyssus fragilis</i> (Keegan, 1946)	<i>Lampropeltis getula</i> (Linnaeus, 1766)	North America
<i>Entophionyssus natricis</i> (Keegan, 1943)	<i>Nerodia fasciata</i> (Linnaeus, 1766); <i>Nerodia sipedon sipedon</i> (Linnaeus, 1758)	North America
<i>Entophiophaga colubricola</i> (Fain, 1960)	<i>Dolichophis cassius</i> (Gmelin, 1789)	Europe
<i>Entophiophaga congolensis</i> (Fain, 1960)	<i>Crotaphopeltis hotamboeia</i> (Laurenti, 1768); <i>Scaphiophis albopunctatus</i> (Peters, 1870)	Africa
<i>Entophiophaga natriciteri</i> (Fain, 1960)	<i>Natriciteres olivacea</i> (Peters, 1854)	Africa
<i>Entophiophaga scaphiophis</i> (Fain, 1960)	<i>Scaphiophis albopunctatus</i> (Peters, 1870)	Africa
<i>Entophiotes liophis</i> (Fain 1960)	<i>Lygophis anomalus</i> (Günther, 1858)	South America
<i>Hamertonia bedfordi</i> (Radford, 1937)	<i>Dendroaspis angusticeps</i> (Smith, 1849)	Africa
<i>Hamertonia psammophis</i> (Till, 1957)	<i>Meizodon coronatus</i> (Schlegel, 1837); <i>Psammophis lineatus</i> (Bibron et Dumeril, 1854); <i>Psammophis sibilans</i> (Linnaeus, 1758); <i>Psammophis trinasalis</i> Werner, 1902; <i>Rhamphiophis oxyrhynchus</i> (Reinhardt, 1843)	Africa
<i>Hamertonia radfordi</i> (Fain, 1960)	<i>Hapsidophrys smaragdina</i> (Schlegel, 1837)	Africa
<i>Pneumophionyssus aristoterisi</i> (Fonseca, 1940)	<i>Erythrolamprus aesculapii</i> (Linnaeus, 1758)	South America
<i>Pneumophionyssus jellisoni</i> (Fain et Junker 1972)	–	–
<i>Viperacarus europaeus</i> (Fain, 1960)	<i>Vipera berus</i> (Linnaeus, 1758)	Europe

Семейство Heterozerconidae – малоизученные примитивные клещи, систематическое положение которых до сих пор вызывает споры, а вопросы биологии и анатомии, также не до конца изучены [45]. По мнению [46] биология гетероцерконид не менее интересна, чем вопросы морфологии. Большинство взрослых гетероцерконид связаны с многоножками, в то время как другие, паразитируют на рептилиях [47–50]. Личинки *N. ohioensis*, единственного вида гетероцерконид, у которого была описана эта стадия развития, являются хищниками в местах скопления или «гнездах» многоножек, которые служат хозяевами для их взрослых особей [51].

Пожалуй, первым научным сообщением о присутствии клещей семейства Heterozerconidae на змеях относится к [47]. Автор сообщает, что из пяти видов клещей, до настоящего времени составляющих род *Heterozercon*, один был зарегистрирован в гнездах термитов, другой, как эктопаразит многоножек, а остальные, как свободноживущие формы. Клещ *Heterozercon oudemansi*, sp.n. был извлечен доктором Джоаном Проктером в садах Зоологического общества из-под брюшной чешуи радужного удава (*Epicrates cenchris*), завезенного из региона Верхней Амазонки.

Второй вид клещей – *Heterozercon elegans* был описан [48] у змей трех родов из Бразилии, на основании нескольких коллекций.

Сравнивая [49] голотип самки и паратип самца *H. oudemansi* (S. Finnegan, 1931) с паратипами (2 самца и 1 самка) *H. elegans* (N.M. Lizaso, 1979) не выявил существенных различий между данными видами и ввел таксон *Amheterozercon oudemansi* (Fain, 1989).

И наконец [50] был описан новый род и вид *Zeterohercon amphisbaenae* n. sp. семейства Heterozerconidae из семейства ужеобразных в Бразилии. Подтверждена паразитическая связь гетероцерконид и чешуйчатых. Это первое подробное описание гетероцерконид, в частности впервые сообщается о наличии семенников у представителей этого семейства.

Семейство Ixodorhynchidae – представители, паразитируют на змеях под чешуей, в области головы, около глаз, имеют широкий ареал кроме Австралии [33; 52]. Постоянные паразиты.

Согласно сведениям М. Fajfer [33], семейство включает 30 видов клещей, принадлежащих к шести родам (табл. 2). Стоит отметить, что среди научных статей нами найдена работа [53] в которой приводятся данные о новом на тот момент виде паразитического клеща – *Ixodorhynchus unctatissimus*, обитающего на змеином теле – изменчивого или расписного псеустеса (*Pseustes poecilonotus*), жителя – Американского континента. По какой-то причине данный вид клеща не представлен в таблице, возможно за давностью лет его таксономическое значение было пересмотрено.

Таблица 2. Клещи семейства Ixodorhynchidae постоянные паразиты змей [33]

Table 2. Ticks of the Ixodorhynchidae family, permanent parasites of snakes [33]

Вид клеща Tick species	Хозяин Host	Ареал Area
<i>Chironobius alvus</i> (Lizaso, 1983)	<i>Chironius bicarinatus</i> (Wied, 1820)	South America
<i>Chironobius nordestinus</i> (Lizaso, 1983)	<i>Chironius carinatus</i> (Linnaeus, 1758)	South America
<i>Hemilaelaps caheni</i> (Fain, 1961)	<i>Bitis nasicornis</i> (Shaw, 1802); <i>Naja melanoleuca</i> (Hallowell, 1857)	Africa
<i>Hemilaelaps causicola</i> (Fain, 1961)	<i>Causus rhombeatus</i> (Lichtenstein, 1823)	Africa
<i>Hemilaelaps congolensis</i> (Fain, 1962)	<i>Causus rhombeatus</i> (Lichtenstein, 1823)	Africa
<i>Hemilaelaps dipsadoboeae</i> (Fain, 1962)	<i>Dipsadoboa unicolor</i> (Günther, 1858)	Africa
<i>Hemilaelaps evansi</i> (Fain, 1961)	<i>Coelognathus flavolineatus</i> (Schlegel, 1837)	Oceania
<i>Hemilaelaps farreri</i> (Tibbetts, 1954)	<i>Boaedon lineatus</i> (Dumeril et Bibron, 1854); <i>Bothrophthalmus lineatus</i> (Peters, 1863); <i>Dasypeltis scabra sabra linnaeus</i> (Linnaeus, 1758); <i>Elaphe dione</i> (Pallas, 1773); <i>Philothamnus carinatus</i> (Andersson, 1901); <i>Platycephalus florulentus</i> (Geoffroy, 1827); <i>Scaphiophis albopunctatus</i> (Peters, 1870)	Africa
<i>Hemilaelaps feideri</i> (Fain, 1962)	<i>Natrix natrix helvetica</i> (Lacépède 1789)	Europe
<i>Hemilaelaps javanensis</i> (Fain, 1961)	<i>Lycodon subcinctus</i> (Boie, 1827)	Oceania
<i>Hemilaelaps imphalensis</i> (Radford, 1947)	<i>Coelognathus radiatus</i> (Boie, 1827)	Asia
<i>Hemilaelaps ophidius</i> (Lavoipierre, 1958)	<i>Causus lichtensteinii</i> (Jan, 1859)	Africa
<i>Hemilaelaps piger</i> (Berlese, 1918)	<i>Hierophis gemonensis</i> (Laurenti, 1768); <i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758); <i>Zamenis situla</i> (Linnaeus, 1758) *(J.A. Mendoza-Roldan et al, 2024) [54] <i>H. viridiflavus</i> (Lacépède, 1789)	Europe
<i>Hemilaelaps radfordi</i> (Feider et Salomon, 1959)	<i>Dolichophis caspius</i> (Gmelin, 1789); <i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758)	Europe
<i>Hemilaelaps schoutedeni</i> (Fain, 1961)	<i>Boaedon fuliginosus</i> (Boie, 1827); <i>Bothrophthalmus lineatus</i> (Peters, 1863)	Africa
<i>Hemilaelaps tanneri</i> (Tibbetts, 1954)	<i>Rhabdophis tigrinus</i> (Boie, 1826)	Oceania
<i>Hemilaelaps triangulus</i> (Ewing, 1923)	<i>Coluber schotti</i> (Baird et Girard, 1853); <i>Drymarchon couperi</i> (Holbrook, 1842);	North America

	<i>Lampropeltis calligaster</i> (Harlan, 1827); <i>Lampropeltis triangulum</i> (Lacepede, 1789); <i>Pantherophis obsoletus</i> (Say, 1823)	
<i>Hemilaelaps upembae</i> (Fain, 1961)	<i>Boaedon fuliginosus</i> (Boie, 1827); <i>Boaedon lineatus</i> (Dumeril et Bibron, 1854)	Africa
<i>Ixobioides brachispinosus</i> (Lizaso, 1983)	<i>Chironius bicarinatus</i> (Wied, 1820); <i>Thamnodynastes strigatus</i> (Gunther, 1858); <i>Xenodon newwedii</i> (Gunther, 1863)	South America
<i>Ixobioides butantanensis</i> (Fonseca, 1934)	<i>Erythrolamprus aesculapii</i> (Linnaeus, 1758); <i>Erythrolamprus venustissimus</i> (Wagler); <i>Liophis poecilogyrus</i> (Wied-Neuwied, 1825); <i>Lygophis anomalus</i> (Gunther, 1858); <i>Mastigodryas bifossatus</i> (Raddi, 1820); <i>Philodryas chamissonis</i> (Wiegmann, 1835); <i>Tomodon dorsatus</i> (Dumeril et Bibron, 1854); <i>Xenodon merremi</i> (Wagler, 1824)	South America
<i>Ixobioides fonsecae</i> (Fain, 1961)	<i>Xenodon guentheri</i> (Boulenger, 1894)	South America
<i>Ixobioides truncatus</i> (Johnson, 1962)	<i>Pantherophis obsoletus</i> (Say, 1823); <i>Pantherophis vulpinus</i> (Baird et Girard, 1853); <i>Thamnophis sirtalis</i> (Linnaeus, 1758)	North America
<i>Ixodorhynchus cubanensis</i> (Fain, 1962)	<i>Carriba andreae</i> (Reinhardt et Lütken, 1862)	North America
<i>Ixodorhynchus johnstoni</i> (Fain, 1961)	<i>Heterodon platirhinos</i> (Latreille, 1801)	North America
<i>Ixodorhynchus leptodeirae</i> (Fain, 1962)	<i>Leptodeira maculata</i> (Hallowell, 1861)	North America
<i>Ixodorhynchus liponyssoides</i> (Ewing 1923)	<i>Leptophis mexicanus</i> (Dumeril et Bibron, 1854); <i>Storeria dekayi</i> (Holbrook, 1839); <i>Thamnophis ordinoides</i> (Baird et Girard, 1852); <i>Thamnophis sauritus sauritus</i> (Linnaeus, 1766); <i>Thamnophis sirtalis parietalis</i> (Say, 1823); <i>Thamnophis sirtalis sirtalis</i> (Linnaeus, 1758)	North America
<i>Ophiogongylus breviscutum</i> (Lizaso, 1983)	<i>Liophis poecilogyrus</i> (Wied-Neuwied, 1825)	South America
<i>Ophiogongylus rotundus</i> (Lizaso, 1983)	<i>Erythrolamprus aesculapii</i> (Linnaeus, 1758); <i>Leptodeira annulata</i> (Linnaeus, 1758); <i>Xenodon newwedii</i> (Gunther, 1863)	South America
<i>Strandtibbettsia brasiliensis</i> (Fain, 1961)	<i>Siphlophis cervinus</i> (Laurenti, 1768)	South America
<i>Strandtibbettsia gordonii</i> (Tibbetts, 1957)	<i>Natrix stolata</i> (Stejneger, 1907); <i>Rhabdophis subminiatus</i> (Schlegel, 1837); <i>Rhabdophis tigrinus</i> (Boie, 1826)	Asia

Примечание: * Новые сведения с 2012 года и далее, введенные нами в таблицу дополнительно

Note: *Our new additional information from 2012 onwards

Семейство Laelapidae – клещи данной группы демонстрируют переходы от свободноживущих обитателей почвы и лесной подстилки, через норовых и гнездовых сожителей и факультативных кровососов, к постоянным эктопаразитам, связанным преимущественно с грызунами, насекомоядными и рядом мелких млекопитающих, а также обитателями (род *Railletia*) наружного уха крупного рогатого скота [55].

Обзор доступной литературы показал, что представители данного семейства паразитируют и на рептилиях. В аналитической статье [56] из семейства Laelapidae (Berlese, 1892) выделяет только один вид – *Haemolaelaps natricis* (Feider et Solomon, 1960), относящийся к роду *Haemolaelaps* (Berlese, 1910) с обыкновенных ужей *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758).

Из зарубежных источников стоит упомянуть, что один из видов семейства Laelapidae – *Mabuyonyssus freedmani*, был собран в 1957 году с африканской ящерицы *Trachylepis margaritifera* (Peters, 1854) Тиллем (1954) и мог быть паразитом, обитающим в носовых полостях этих хозяев [57].

Семейство Macronyssidae. Клещи этого семейства паразитируют на рептилиях, птицах и млекопитающих и по типу паразитизма представляют

три направления специализации: внеубежищные формы, гнездово-норовые и постоянные эктопаразиты. Тип паразитизма проявляется в строении и биологии этих клещей.

Стоит отметить тот факт, что клещи данного семейства, как обязательные кровососы могут нападать и на человека. Случаи дерматита неоднократно наблюдались от укусов *Ophionyssus natricis*, когда страдает персонал зоопарков, который ухаживает за рептилиями, заражёнными клещами, а также герпетологи-любители, которые содержат змей и даже не типичных для данного клеща видов рептилий [58] в домашних условиях [59]. Кроме того, змеиные клещи *Ophionyssus natricis* играют важную роль в передаче различных патогенов [36; 43].

А.Г. Бакиев [56] сообщает, что фауна гамазовых клещей змей России и сопредельных стран изучена недостаточно. По имеющимся в настоящий момент сведениям, на территории бывшего Советского Союза из гамазид, паразитирующих на змеях, известны только два вида. Это, во-первых, *Ophionyssus natricis* с девяти видов змей, включая обыкновенного и водяного ужей, узорчатого и каспийского полозов [60–63] и, во-вторых, представитель семейства Ixodorhynchidae – *Hemilaelaps radfordi* (Feider et Solomon, 1959) с обыкновенного ужа

[62]. Кроме этого, змеи используются свободноживущими гамазовыми клещами некоторых видов для расселения, а в буртах навоза, где происходит линька обыкновенных ужей, эти клещи забираются в линные шкурки, возможно, используя детрит чешуек, как продукт дополнительной пищи [61].

В Западной Сибири [64] проводили наружный осмотр диких популяций сибирской гадюки *Gloydius halys halys* (Pallas, 1776), отмечали локализацию *Ophionyssus natricis* в основном под чешуей в области головы: мягкие ткани вокруг глаз, лореальные ямки.

В Словении с 2000 по 2005 год [65] обследовали местные виды, отловленные в дикой природе, введенные извне и выведенные в неволе. У осммотренных змей (удава *Boa constrictor*) был обнаружен – клещ *Ophionyssus natricis*. Паразитирование *Ophionyssus natricis* было отмечено и на водяном ухе *Natrix tessellata* (Laurenti 1768) в Турции, образ жизни которого тесно связан с водной средой [66].

В работе В.Н. Сенотрусовой [67] приводятся сведения о клеще, эктопаразите ящериц (род ящурки *Eremias*) – *Ophionyssus eremiadis* (Naglov, Naglova, 1960), обитающим в Западном Казахстане.

По сведениям [68] в Центральном Предкавказье вид – *Saurinyssus saurarum* (Oudemans, 1902), (семейство Liponyssidae) определяет фауну гамазид подотряда ящериц семейства Lacertidae, а вид *Ophionyssus natricis* – змей. Оба вида свободно специфичные паразиты рептилий.

Важно отметить, что в настоящее время таксономический статус вида ящерного клеща *Saurinyssus saurarum* (Oudemans, 1902), пересмотрен и переведен в род *Ophionyssus*. А вид ныне обозначается как – *Ophionyssus saurarum*. Так в Польше на территории Любушского воеводства были проанализированы тридцать экземпляров песчаной ящерицы *Lacerta agilis*, и у трех из них был обнаружен *Ophionyssus saurarum* [69]. Эти паразитические клещи были обнаружены в ушных отверстиях хозяев-прокормителей.

В роду *Ophionyssus* только семь видов были обнаружены у лацертидных ящериц [70]. У ящерицы (*Lacerta schreiberi*) эндемика Пиренейского полуострова был описан новый вид – *Ophionyssus schreibericolus* Moraza sp. n., существование которого доказано на основании данных о взрослых самках, самцах и протонимфальных возрастах.

Остальные являются эктопаразитами различных семейств хозяев: европейский вид *Ophionyssus lacertinus* (Berlese, 1892) паразитирует на ящерицах в Великобритании, Нидерландах и Италии, а *Ophionyssus sauracum* (Oudemans, 1901) распространен сразу в нескольких европейских странах; три вида принадлежат к фауне Канарских островов, *Ophionyssus gallotocolus* (Fain, Banner, 2000) с Тенерифе [71], *Ophionyssus setosus* (Fain, Banner, 2000) с Гран-Канарских островов и *Ophionyssus dolatelacensis* (Fain, Banner, 2002) с Лансароте; *Ophionyssus ieremiadis* (Angelov, Angelov, 1960) был найден в Западном Казахстане (Азия) и, наконец, *Ophionyssus tropidosaura* (Till, 1957) из Южной Африки.

В исследовании [72] среди осммотренных особей живородящей ящерицы сем. Lacertidae обнаружен единственный специфичный паразит ящериц европейской части России – *Ophionyssus saurarum*.

Согласно недавнему исследованию [73] ареал вида *Ophionyssus saurarum* (Oudemans, 1901) включает: Европа, Россия (Ленинградская область, Московская область, Тверская область, Саратовская область, Волгоградская область, Ставропольский край), Казахстан, Армения, Азербайджан, Корея, Судан, Южная Африка. Хозяевами данного клеща являются скальные ящерицы: *D. brauneri* (as *L. saxicola* – Lukina 1966), *D. armeniaca* (as *L. armeniaca* – Danielyan 1968), *D. pontica* (as *L. praticola* – Lukina 1966, Markov et al. 1964), *D. raddei* (as *L. saxicola nairensis* – Danielyan 1968), *D. valentini* (as *L. saxicola valentini* – Danielyan 1968), *D. saxicola* (Beron 2014). Другими хозяевами могут быть рептилии из семейств Lacertidae и Scincidae (Micherdzinski 1980).

В Новой Зеландии [74] обследовали различных ящериц – сцинка Макканна *Oligosoma maccanni* и северного травяного сцинка *Oligosoma nigriplantare polychroma*, находящихся под угрозой исчезновения большого сцинка *Oligosoma grande*, сцинка Отаго *Oligosoma ottagense*. На обследованных рептилиях были определены паразитирующие клещи семейства Macronyssidae *Ophionyssus scincorum*. Причем *O. scincorum* эндемик для Австралии и Океании (Южная Австралия, Новая Зеландия, остров Тасмания), эктопаразит ящериц. Авторы отмечают видовую специфичность, так вид *Ophionyssus scincorum* паразитировал, только на сцинках представителей рода *Oligosoma*. Уровень заражения сцинка Отаго *Oligosoma ottagense* видом *Ophionyssus scincorum* на несколько порядков был выше, чем у других видов gekkonov. Вероятно, высокий уровень интенсивности инвазии связан с тем, что сцинк Отаго – самый крупный вид сцинков на Южном острове Новой Зеландии, с общей длиной до 130 мм. Для всех видов ящериц не было различий в распространенности клещей между взрослыми самцами и взрослыми самками, но молодые особи рептилий заражались реже. Касаясь Австралии и Океании, считается, что вид *Ophionyssus natricis* инвазивный для данной территории [75; 76].

В Южной Африке на ящерицах встречается клещ – *Ophionyssus mabuyae* [77], а на острове Ява – *Ophionyssus javanensis* [78].

Стоит добавить, что из всех рассмотренных представителей данного семейства, вид *Ophionyssus natricis* (Gervais, 1844) или как его обычно называют – змеинный клещ, заслуживает особого внимания [79–81]. Он является паразитом как домашних, так и диких популяций рептилий. Высокий уровень интенсивности инвазии, как правило вызывает тяжелое течение патологических процессов на наружных покровах рептилий, потерю живого веса, вплоть до летальных исходов. Гамазовый клещ – *Ophionyssus natricis* является основным видом гамазид, которые нападают на рептилий, содержащихся в неволе [82; 83]. Данный вид имеет мировое распространение: Евразия, Австралия, Африка, Америка. В природных популяциях хозяевами-прокормителями среди змей являются: *P. florulentus*, *P. sibilans*, *C. karelini*, *Coluber* sp., *Crotalus* sp., *Heterodon* sp., *D. caspius*, *E. carinatus*, *E. diene*, *Lamproleptis* sp., *M. lebetinus*, *Masticophis* sp., *N. haje*, *N. natrix*, *Nerodia* sp., *N. tessellata*, *P. schokari*, *S. diadema*, *T. dhara*, *Thamnophis* sp. Среди диких ящериц: *S. graciosus*, *T. scincoides*, *U. stansburiana*.

Семейство Omentolaelapidae. Согласно сведениям [33; 56] описан только один представитель семейства Omentolaelapidae (Fain, 1961), вид – *Omentolaelaps mehelyae* (Fain, 1961), паразитирующий на змеях рода *Mehelya* из Конго, Африка.

Семейство Paramegistidae – обычно ассоциируются с многоножками и насекомыми. Но род *Ophiomegistus* является исключением и включает кровососущих паразитов, живущих на сцинках и змеях. К настоящему времени описано порядка 20 видов этого рода из Восточных и Австралийских регионов, большинство из которых встречается в Новой Гвинее. Эти клещи могут быть ограничены этим регионом и ассоциированы с конкретными хозяевами [84]. У хозяев-прокормителей описаны только взрослые клещи, есть версия, что незрелые особи ведут свободнживущий образ жизни.

В статье [85] приводятся сведения о том, что клещи-паразиты рода *Ophiomegistus* распространены только среди змей и ящериц в Малайзии, на Филиппинах, в Новой Гвинее и Австралии. Описывается шесть известных видов. Приводятся первые сведения о виде *Ophiomegistus keithi* sp. n. (Domrow, 1984), отобранного с самца сцинка рода (*Brachymeles*) из Папуа-Новой Гвинеи. Представлен свежий материал о виде *Ophiomegistus australicus* (Womersley, 1958) от нового хозяина из Квинсленда-Мулги или коричневой королевской змеи (*Pseudechis australis*, Elapidae). Также отмечается значительная внутривидовая изменчивость для вида, обнаруженного у различных змей Новой Гвинеи в дополнение к первоначальному описанию на Филиппинах, это *O. luzonensis* (Banks, 1914) = *O. buloloensis* (Gunter).

M.L. Goff [86] пересмотрел род *Ophiomegistus* (Banks, 1914) и описал новые виды, связанные с рептилиями: *Ophiomegistus alainae* (Goff, 1980), *Ophiomegistus armouri* (Goff, 1979), *Ophiomegistus brennani* (Goff, 1980), *Ophiomegistus kaii* (Goff, 1979), *Ophiomegistus maximus* (Goff, 1980), *Ophiomegistus nihi* (Goff, 1980), *Ophiomegistus novaguinea* (Goff, 1980), *Ophiomegistus radovskyi* (Goff, 1979), *Ophiomegistus samuelsoni* (Goff, 1979), *Ophiomegistus sarawakensis* (Goff, 1980). Большая часть описанных клещей паразитировала на сцинках. Только два вида, описанные другими авторами: *O. luzonensis* (Banks, 1914) и *O. clelandi* (Womersley, 1958) на змеях. Позже появилась информация, что вид *O. luzonensis* в большей степени паразит ящериц.

Вид *Ophiomegistus spectabilis* (Klompen, Austin, 2007), обнаруженный у сцинков в Новой Гвинее описан [84]. Переоценка данных о хозяевах и местах обитания этого рода показывает, что диапазон хозяев ограничен чешуйчатыми, особенно сцинками, но нет очевидной специфичности для отдельных видов сцинков. Более вероятно специфичность для небольших географических областей.

B. Halliday, A. Grimm-Seyfarth [87] описали новый вид – *Ophiomegistus rex* sp. nov., паразитирующий на ящерице *Ctenotus regius* (Storr, 1971) из Австралии. Вместе с тем авторы признают, что для определения степени специфичности этого рода паразитов к хозяину потребуются гораздо более обширный сбор данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обзоре научной литературы под названием: «Клещи как современные модели: акарология в 21 веке»

D.E. Walter, H.C. Proctor [88] сравнивают популярность клещей и пауков, приходя к выводу, что несмотря на примерно одинаковое количество описанных видов, интернет-пользователей пауки интересуют в разы больше, чем клещи. Хотя исследования клещей (акарология) в силу их меньшей изученности в настоящее время более качественные, чем изучение пауков (аранеология). Широкий поиск в научной литературе показывает, что количество публикаций о клещах в 2–3 раза превышает количество публикаций о пауках; однако это доминирование было сведено на нет, когда было изучено меньшее количество журналов с широкой читательской аудиторией и без таксономической направленности (например, Nature, Science). Этот последний анализ показал, что тематическое содержание статей о клещах и пауках в этих научно-популярных журналах значительно различается. Также было обнаружено тревожное снижение количества таксономических публикаций о клещах.

С каждым годом в мировой акарологии открываются новые виды клещей. С привлечением современных методов, применяемых в систематике, данный процесс в значительной мере ускорился, не требуя столько времени, сколько уходило на него в былые годы. В связи с чем имеется необходимость периодически и своевременно проводить ревизию зоологических таксонов.

Подобные научные обзоры, по нашему мнению, имеют неоспоримую пользу, так как периодическое обобщение международных данных по определенной научной тематике расширяет исследовательский кругозор и может использоваться для повышения эффективности научно-исследовательской, преподавательской деятельности, а также в пропаганде научных знаний. Особенно это применимо в области акарологии, ведь общеизвестно, что для обывателя слово «клещ» ассоциируется только как «насекомое», которое хорошо различимо и нападает в лесу. Между тем, большинство клещей, относящихся к разнообразным группам, имеют малые размеры, зачастую не различимые человеческим глазом.

Подтверждено, что клещи семейства **Entonyssidae** – эндопаразиты дыхательных путей змей, а значит постоянные паразиты [40; 42–44].

На основании литературных данных нами показано, что малоизученные примитивные клещи семейства **Heterozetidae** обитают только на рептилиях Южной Америки.

Представители семейства **Ixodorhynchidae** – типичные эктопаразиты, локализуясь на теле хозяина-прокормителя в местах труднодоступных для физического воздействия со стороны хозяина. Большой ареал, но не обитают на Австралийском континенте [33; 52]. Список видов в таблице нами пополнен новым видом хозяина *H. viridiflavus* (Lacepede, 1789) для клеща-паразита *Hemilaelaps piger* (Berlese, 1918).

В семействе **Laelapidae**, имеющем в своем составе в основном паразитов млекопитающих, выделяем только два вида: *Haemolaelaps natricis* (Feider et Solomon, 1960), относящегося к роду *Haemolaelaps* (Berlese, 1910) с обыкновенных ужей *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758) [56] и *Mabuyonyssus freedmani*, собранного с африканской ящерицы *Trachylepis margaritifera* (Peters, 1854) Тиллем (1954), по предположению (A. Fain, 1961) – паразит носовых полостей.

Семейство **Macronyssidae** включает – внеубежищных, гнездово-норовых и постоянных эктопаразитов. Космополит семейства – змеиный клещ *Ophionyssus natricis* [89, 90]. Виды – *Ophionyssus dolatelacensis*, *Ophionyssus eremialis*, *Ophionyssus javanensis*, *Ophionyssus gallotocolus*, *Ophionyssus ieremiadis*, *Ophionyssus lacertinus*, *Ophionyssus mabuyae*, *Ophionyssus natricis*, *Ophionyssus saurorum*, *Ophionyssus scincorum*, *Ophionyssus schreibericolus*, *Ophionyssus tropidosaura*, широко распространены по материкам, но с некоторыми нюансами. Так вид *Ophionyssus scincorum* – эндемик для Австралии и Океании (Южная Австралия, Новая Зеландия, остров Тасмания), эктопаразит ящериц (сцинков). Также представители данного семейства паразитируют не только на змеях, но и на ящерицах.

Семейство **Omentolaelapidae** представлено только одним видом – *Omentolaelaps mehelyae* (Fain, 1961), паразитом змей рода *Mehelya* из Конго [33; 56].

Семейство **Paramegistidae** имеет только один род *Ophiomegistus* представители которого кровососущие клещи сцинков и змей: *O. alainae* (Goff, 1980), *O. armouri* (Goff, 1979), *O. australicus* (Womersley, 1958), *O. brennani* (Goff, 1980), *O. clelandi* (Womersley, 1958), *O. kaili* (Goff, 1979), *O. keithi* (Domrow, 1984), *O. luzonensis* (Banks, 1914), *O. maximus* (Goff, 1980), *O. nihi* (Goff, 1980), *O. novaguinea* (Goff, 1980), *O. radovskyi* (Goff, 1979), *O. samuelsoni* (Goff, 1979), *O. sarawakensis* (Goff, 1980), *O. spectabilis*, (Klomp, Austin, 2007), *O. rex* [87].

Таким образом, проведенный анализ доступной литературы свидетельствует о том, что открытие новых видов клещей паразитов рептилий продолжается и в наше время, данные акарины могут быть как экто-, так и эндопаразитами, временными и постоянными, проявлять признаки специфичности (моноксенность) к одному хозяину и быть способными паразитировать на нескольких видах и даже родах (плейоксенность), иметь узкий ареал и широкое мировое распространение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Захваткин Ю.А. Акарология наука о клещах. История развития. Современное состояние. Систематика. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2012. 192 с.
- Belova O.S., Grigoriev O.V. Occurrence of gamasid and ixodid ticks of reptiles of Western Siberia // In: Borkin, L.J. (ed.): Herpetological investigations in Siberia and the Far East. Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences. 1981. P. 16–18.
- Саитов В.Р., Шантяпин Ю.А. К началу истории борьбы с арахноэнтомозами // Ежегодный Международный сборник научных статей «Геоэкология Алтае-Саянской горной страны», Горно-Алтайск, 2006. Вып. 3. С. 323–325.
- Федоров К.П., Донченко А.С., Василевич Ф.И., Зубарева И.М. Основы ветеринарной паразитологии. Новосибирск-Москва: РИЦ СибНХСБ Россельхозакадемии, 2013. 491 с.
- Романенко В.Н. Медицинская арахноэнтомология: учебник. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. 282 с.
- Catherine B.R., Jayathangaraj M.G., Soundararajan C., Guru C.B., Yogaraj D. Prevalence of *Amblyomma gervaisi* ticks on captive snakes in Tamil Nadu // J Parasit Dis. 2017. V. 41 (4). P. 952–958. <https://doi.org/10.1007/s12639-017-0917-3>
- Divers S.J. Parasitic Diseases of Reptiles // MSD Veterinary Manual, BVetMed, DACZM, DECZM, FRCVS, Department of Small Animal Medicine and Surgery, College of Veterinary Medicine, University of Georgia. Last review/revision Jun 2020

- | Modified Oct 2022. URL: <https://www.msdsmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/reptiles/parasitic-diseases-of-reptiles> (дата обращения: 14.01.2023)
- Wozniak E.J., DeNardo D.F. The biology, clinical significance and control of the common snake mite, *Ophionyssus natricis*, in captive reptiles // J. Herpetol. Med. Surg. 2000. V. 10. P. 4–10.
 - Hoppman E., Wilson H. Dermatology in Reptiles // Journal of Exotic Pet Medicine. 2007. V. 16. Iss. 4. P. 210–224. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2007.10.001>
 - Амирханова С.М. Изучение биолого-экологических особенностей клеща семейства Ixodidae, рода *Hyalomma* – *H. marginatum* // Юг России: экология, развитие. 2008. N 3. С. 73–76.
 - Балашов Ю.С. Паразитизм клещей и насекомых на наземных позвоночных. Санкт-Петербург: Наука, 2009. 371 с.
 - Рудаков Н.В. Анаплазмы и анаплазмозы // Руководство для врачей. Омск: ООО «Издательский центр «Омский научный вестник», 2017. 100 с.
 - Щелканов М.Ю., Галкина И.В., Ананьев В.Ю., Самарский С.С., Лиенко В.Ю., Дедков В.Г., Сафонова М.В., Орехов В.Е., Щелканов Е.М., Алексеев А.Ю., Шестопалов А.М., Питрук Д.Л., Серков В.М. Экологическая обстановка на о. Тюлений в акватории Охотского моря (2015 г.): популяционные взаимодействия между ластоногими, птицами, иксодовыми клещами и вирусами // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 1. С. 30–43. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-30-43>
 - Лубова В.А., Леонова Г.Н. Ку-лихорадка – природно-очаговый зооноз // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19. N 4. С. 97–101. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-4-97-101>
 - Ятусевич А.И., Миклашевская Е.В. Дерматиты кур в промышленном птицеводстве // Экология и животный мир. 2020. N 1. С. 21–27.
 - Zheng W.Q., Xuan X.N., Fu R.L., Tao H.Y., Liu Y.Q., Liu X.Q., Li D.M., Ma H.M., Chen H.Y. Tick-borne pathogens in ixodid ticks from poyang lake region, Southeastern China // Korean Journal of Parasitology. 2018. V. 56. N 6. P. 589–596. <https://doi.org/10.3347/kjp.2018.56.6.589>
 - Argenta F.F., Hepojoki J., Smura T., Szilovics L., Hammerschmitt M.E., Driemeier D., Kipar A., Hetzel U. Identification of Reptarenaviruses, Hartmanviruses, and a Novel Chuvirus in Captive Native Brazilian *Boa Constrictors* with Boid Inclusion Body Disease // J. Virol. 2020. V. 94. N 11. <https://doi.org/10.1128/JVI.00001-20>
 - Audino T., Pautasso A., Bellavia V., Carta V., Ferrari A., Verna F., Grattarola C., Iulini B., Pintore M.D., Bardelli M., Cassina G., Tomassone L., Peletto S., Blanda V., Torina A., Caramelli M., Casalone C., Desiato R. Ticks infesting humans and associated pathogens: a cross-sectional study in a 3-year period (2017–2019) in northwest Italy // Parasites, Vectors. 2021. V. 14. N 136. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04603-x>
 - Балашов Ю.С. Паразито-хозяйственные отношения членистоногих с наземными позвоночными. Л.: Наука, 1982. 320 с.
 - Dubinina H.V., Bochkov A.V., Javrujan J.G. Mites of the family Myobiidae (acariformes) – ectoparasites of bats of Armenia // Acarina. 1995. V. 3. N 1–2. P. 99–104.
 - Bochkov A.V., Malikov V.G. *Eucheyletiella faini* sp.n. (Acar, Cheyletidae), a new species of parasitic mites from *Ochotona rufescens* (gray) (Lagomorpha, Ochotonidae) // Acarina. 1996. V. 4. N 1–2. P. 43–48.
 - Butler R.A., Trout Fryxell R.T., Houston A.E., Bowers E.K., Paulsen D., Coons L.D., Kennedy M.L. Small-mammal characteristics affect tick communities in southwestern Tennessee (USA) // International Journal for Parasitology:

- Parasites and Wildlife. 2020. V. 12. P. 150–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.05.012>
23. Belozero V.N., Kopij G. Changes in population stage structure of an argasid tick *Argas arboreus* during nesting season of its host, the cattle egret *Bubulcus ibis*, in South Africa // *Acarina*. 1997. V. 6. N 1–2. P. 63–68.
24. Bochkov A.V., Mironov S.V. Quill mites of the family *Syringophilidae* Lavoipierre, 1953 (Acariformes: Prostigmata) parasitic on birds (Aves) of the fauna of the former USSR // *Acarina*. 1998. V. 6. N 1–2. P. 3–16.
25. Brinkerhoff R.J., Dang L., Streby H.M., Gimpel M. Life history characteristics of birds influence patterns of tick parasitism // *Infection Ecology and Epidemiology*. 2019. V. 9. Iss. 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1080/20008686.2018.1547096>
26. Kim K.C. *Coevolution of Parasitic Arthropods and Mammals*. Wiley-Interscience, New York, 1985. 800 p.
27. Clayton D.H., Moore J. *Host-parasite evolution: General principles and avian models*. Oxford University Press, England, 1997. 473 p.
28. Bochkov A.V. A review of mites of the parvorder Eleutherengona (Acariformes: Prostigmata) – permanent parasites of mammals. *Acarina*, KMK Scientific Press., 2009. 149 p.
29. Glowska E., Skoracki M. New species of quill mites (Acari, Cheyletoidea, Syringophilidae) and the first record of male for the genus *Stibarokris* // *Zootaxa*. 2011. V. 2817. N 1. P. 63–68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2817.1.4>
30. McCoy K.D., Leger E., Dietrich M. Host specialization in ticks and transmission of tick-borne diseases: a review // *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2013. V. 3. N 57. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2013.00057>
31. Zannou O.M., Ouedraogo A.S., Biguezoton A.S., Abatih E., Coral-Almeida M., Farougou S., Yao P.K., Lempereur L., Saegerman C. Models for Studying the Distribution of Ticks and Tick-Borne Diseases in Animals: A Systematic Review and a Meta-Analysis with a Focus on Africa // *Pathogens*. 2021. V. 10. N 7. <https://doi.org/10.3390/pathogens10070893>
32. Schon M.P. The tick and I: Parasite-host interactions between ticks and humans // *JDDG*. 2022. V. 20. Iss. 6. P. 818–853. <https://doi.org/10.1111/ddg.14821>
33. Fajfer M. Acari (chelicerata) – parasites of reptiles // *Acarina*. 2012. V. 20. N 2. P. 108–129.
34. Филиппова Н.А. Классификация подсемейства Amblyomminae (Ixodidae) в связи с переисследованием хетотакси анального клапана // *Паразитология*. 1994. Т. 28. N 1. С. 3–12.
35. Leonovich S.A. Structure of Haller's organ and taxonomy of hard ticks of the subfamily Amblyomminae (Family Ixodidae) // *Entomological Review*. 2021. V. 101. N 5. P. 709–724. DOI: 10.1134/S0013873821050110
36. Pantchev N. Frequency of occurrence of endoparasites in reptiles (turtles, saurians, snakes) under the care of a research laboratory | Vorkommenshäufigkeit von Endoparasiten bei Reptilien (Schilddröten, Echsen, Schlangen) in Menschenobhut aus der Sicht eines Untersuchungslabors // *Tierärztliche Umschau*. 2009. V. 64. N 4. P. 36–43.
37. Castro P.D.J. Ectoparasites in captive reptiles // *The Veterinary Nurse*. 2019. V. 10. Iss. 1. URL: <https://www.theveterinarynurse.com/review/article/ectoparasites-in-captive-reptiles> (дата обращения: 21.11.2022)
38. Федоров К.П., Донченко А.С., Бессонов А.С., Волков Ф.А., Черепанов А.А. *Основы общей и прикладной ветеринарной паразитологии*. Новосибирск, 2004. 1044 с.
39. Захваткин А.А. *Фауна СССР. Паукообразные. Тироглифоидные клещи (Tyroglyphoidea)*. Ред. С.А. Зернов. Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1941. Т. 6. Вып. 1. 492 с.
40. Ланге А.Б. *Определитель членистоногих, вредящих здоровью человека* / Под ред. В.Н. Беклемишева. М.: Медгиз, 1958. 420 с.
41. Mendoza-Roldan J.A., Ribeiro S.R., Castilho-Onofrio V., Grazziotin F.G., Rocha B., Ferreto-Fiorillo B., Pereira J.S., Benelli G., Otranto D., Barros-Battesti D.M. Mites and ticks of reptiles and amphibians in Brazil // *Acta Tropica*. 2020. V. 208. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105515>
42. Woodring J.P. New records of snake lung mites (Acari: Entonyssidae) from Louisiana // *Proceedings of the Louisiana Academy of Sciences*. 1964. V. 27. P. 58–63.
43. Stiller D., Lim B.L., Nadchatram M. *Entonyssus asiaticus* Fain, 1960 (Acari: Entonyssidae), a lung parasite of Malaysian snakes with notes on the immature stages // *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 1977. V. 8. N 1. P. 129–130.
44. Fain A., Kutzer E., Fordinal E. *Entonyssus squamatus* spec. nov. (Acari, Entonyssidae) from the lung of the snake, *Elaphe schrenckii* Stejneger, 1925 // *International Journal of Acarology*. 1983. V. 92. P. 77–80.
45. Palma A.D., Moraes G.J. de, Gerdeman B.S., Huber S., Kitajima E.W., Alberti G. Ultrastructural and functional adaptations of the female reproductive system in the family Heterozetidae (Acari, Anactinotrichida, Gamasida, Heterozetina) and implications for the systematic position of the group // *Arthropod Structure and Development*. 2015. V. 44. Iss. 6. P. 639–655. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2015.09.002>
46. Klompen H., Gerdeman B.S. Genus-level revision of the Heterozetidae (Parasitiformes: Mesostigmata) // *Zootaxa*. 2023. V. 5322. N 1. P. 1–66. DOI: 10.11646/zootaxa.5322.1.1
47. Finnegan S. On a new species of mite of the family Heterozetidae parasitic on a Snake // *Proceedings of the Zoological Society of London*. 1931. V. 101. Iss. 4. P. 1349–1357. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1931.tb01066.x>
48. Lizaso N.M. Um novo ácaro da família Heterozetidae coletado sobre serpentes Brasileiras. Descrição de *Heterozet elegans* sp. n. (Acarina: Mesostigmata). *Memorias do Instituto Butantan* // Sao Paulo. 1979. V. 42–43. P. 139–144.
49. Fain A. Notes on mites associated with Myriapoda. IV. New taxa in the Heterozetidae (Acari, Mesostigmata) // *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Entomologie*. 1989. V. 59. P. 145–156.
50. Flechtman C.H.W., Johnston D.E. *Zeterozet*, a new genus of Heterozetidae (Acari: Mesostigmata) and the description of *Zeterozet amphibiae* n. sp. from Brasil // *International Journal of Acarology*. 1990. V. 16. P. 143–148. <https://doi.org/10.1080/01647959008683526>
51. Gerdeman B.S., Garcia R.C., Herczak A., Klompen H. *Philippinozet*, a new genus of Heterozetidae (Parasitiformes: Mesostigmata), with description of all active instars // *Zootaxa*. 2018. V. 4540. N 1. P. 7–22. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4540.1.4>
52. Dowling A.P.G. *Ixoboides truncatus* (Johnston) comb. nov. (Acari: Mesostigmata: Ixodidae): a synonymy and redescription // *Systematic and Applied Acarology*. 2009. V. 14. N 3. P. 216–224. <https://doi.org/10.11158/saa.14.3.7>
53. Voss W.J., Strandtmann R.W. *Ixodorynchus uncatissimus*, a New Species of Parasitic Mite (Acarina: Mesostigmata) from the Snake, *Pseustes poecilonotus* // *Journal of the Kansas Entomological Society*. 1962. V. 35. N 3. P. 308–313.
54. Mendoza-Roldan J.A., Perles L., Filippi E., Szafranski N., Montinaro G., Carbonara M., Scalera R., Teles P.P. de Abreu, Walochnik J., Otranto D. Parasites and microorganisms associated with the snakes collected for the “*fiesta Dei serpari*” in Cocollo, Italy // *PLoS*. 2024. V. 18(2). Article id: e0011973. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011973>

55. Брегерова Н.Г. Гамазовые клещи (Gamasoidea): Краткий определитель. Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. 247 с.
56. Бакиев А.Г. Основные итоги изучения паразитов змей Волжского бассейна. Сообщение 2. Паразитиформные клещи // Вестник Мордовского университета. 2007. Т. 17. N 4. С. 68–70.
57. Fain A. Les Acariens parasites endopulmonaires des Serpents (Entonyssidae: Mesostigmata) // Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. 1961. V. 37. P. 1–135.
58. Wiechert J.M. Infection of Hermann's tortoises, *Testudo hermanni boettgeri*, with the Common Snake Mite, *Ophionyssus natricis* // Journal of Herpetological Medicine and Surgery. 2007. V. 17. N 2. P. 53–54.
59. Жильцова А.Ю. Эпидемиологическое значение гамазовых клещей города Ставрополя // Материалы региональной научно-практической конференции с международным участием «Проблемы особо опасных инфекций на Северном Кавказе». Ставрополь, 2022. С. 82–83.
60. Марков Г.С., Богданов О.П. Новые данные по паразитологии змей Средней Азии и Казахстана // Герпетология. Ташкент: Наука, 1965. С. 79–89.
61. Белова О.С., Григорьев О.В. Встречаемость гамазовых и иксодовых клещей на рептилиях Западной Сибири // Герпетологические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке. Л., 1981. С. 16–18.
62. Станюкович М.К., Иогансен Л.К. Клещи (Acari, Parasitiformes, Mesostigmata) – паразиты рептилий (Reptilia) // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: сб. науч. тр. Тольятти. 2004. Вып. 7. С. 122–128.
63. Stanyukovich M., Iohannsen L. Observations on the gamasid mites (Parasitiformes, Gamasina, Macronyssidae, Laelapidae) parasitizing reptiles (Reptilia) from Russia and adjacent countries (ex-USSR). Herpetologia Petropolitana: Proceedings of the 12th Ordinary General Meeting of the Societas Europea Herpetologica // Russian Journal of Herpetology. 2005. V. 12. P. 310–311.
64. Simonov E., Zinchenko V. Intensive infestation of Siberian pitviper, *Gloydius halys* by the common snake mite, *Ophionyssus natricis* // Journal of Zoology. 2010. V. 6. N 1. P. 134–137.
65. Rataj A.V., Lindtner-Knific R., Vlahovic K., Mavri U., Dovc A. Parasites in pet reptiles // Acta Veterinaria Scandinavica. 2011. V. 53. Article number: 33. doi: 10.1186/1751-0147-53-33
66. Dik B. The First Case of *Ophionyssus natricis* (Gervais, 1844) on a Sea Snake (*Natrix tessellata*, Laurent 1768) (Reptilia: Squamata: Colubridae) in Turkey // Turkiye Parazit Derg. 2012. V. 36. P. 112–115.
67. Сенотрусова В.Н. Гамазовые клещи-паразиты диких животных Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1987. 224 с.
68. Мунякина А.Ю. Новые находки гамазовых клещей в Центральном Предкавказье и на сопредельной территории // Фауна Ставрополя. Ставрополь, 2007. Вып. 14. С. 89–90.
69. Gwiazdowicz D.J., Filip K.P. *Ophionyssus saurorum* (Acari, Mesostigmata) infecting *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae) // Wiadomości Parazytologiczne. 2009. V. 55. N 1. P. 61–62.
70. Moraza M.A., Irwin N., Godinho R., Baird, S.J.E., De Bellocq J.G. A new species of *Ophionyssus Mégnin* (Acari: Mesostigmata: Macronyssidae) parasitic on *Lacerta schreiberi Bedriaga* (Reptilia: Lacertidae) from the Iberian Peninsula, and a world key to species // Zootaxa. 2009. V. 2007. N 1. P. 58–68.
71. Bannert B., Karaca H.Y., Wolthmann H. Life cycle and parasitic interaction of the lizard-parasitizing mite *Ophionyssus gallotocolus* (Acari: Gamasida: Macronyssidae), with remarks about the evolutionary consequences of parasitism in mites // Experimental and Applied Acarology. 2000. V. 24. P. 597–613.
72. Корзинов В.А., Васильева О.Л., Коралло-Винарская Н.П., Медведев С.Г. Гамазовые клещи (Gamasina), связанные с мелкими наземными позвоночными на юге нечерноземного центра России (Калужская область) // Паразитология. 2021. Т. 55. Вып. 2. С. 101–124. <https://doi.org/10.31857/S0031184721020034>
73. Orlova M.V., Doronin I.V., Klimov P.B., Anisimov N.V. A review of mites and ticks parasitizing rock lizards (Lacertidae: *Darevskia*) // Journal of Vector Ecology. 2022. V. 47. N 1. P. 19–28. doi: 10.52707/1081-1710-47.1.19
74. Reardon J.T., Norbury G. Ectoparasite and Hemoparasite Infection in a Diverse Temperate Lizard Assemblage at Macraes Flat, South Island, New Zealand // The Journal of Parasitology. 2004. V. 90. N 6. P. 1274–1278.
75. Watharow S., Reid A. The introduced snake mite (*Ophionyssus natricis*) infestation on wild populations of eastern blue-tongue lizards (*Tiliqua scincoides*) // Herpetofauna. 2002. V. 32. P. 26–29.
76. Norval G., Halliday B., Sih A., Sharrad R.D., Gardner M.G. Occurrence of the introduced snake mite, *Ophionyssus natricis* (Gervais, 1844), in the wild in Australia // Acarologia. 2020. V. 60. Iss. 3. P. 559–565. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20204385>
77. Till W.M. Mesostigmatic mites living as parasites of reptiles in the Ethiopian region (Acarina: Laelapidae) // Journal of the Entomological Society of South Africa. 1957. V. 20. P. 120–143.
78. Micherdzinski W., Lukoschus F.S. Eine neue *Ophionyssus*art von Java (Acarina: Mesostigmata: Macronyssidae) // Zoologische Mededelingen. 1987. V. 69. P. 421–429.
79. Beck W., Pantchev N. Schlangenmilbenbefall (*Ophionyssus natricis*) beim Grünen Leguan (*Iguana iguana*) – Ein Fallbericht // Kleintierpraxis. 2006. V. 51. N 12. P. 3–7.
80. Da Silva F.A., Pinto Z.T., Teixeira R.H., Cunha R.A., Carrico C., Caetano R.L. Gazeta G.S., Amorim G.M. First record of *Ophionyssus natricis* (Gervais) (Acari: Macronyssidae) on *Python reticulatus* (Schneider) (Pythonidae) in Brazil // EntomoBrasilis. 2018. V. 11. N 1. <https://doi.org/10.12741/ebrazilis.v11i1.768>
81. Keskin A. Occurrence of *Ophionyssus natricis* (Acari: Macronyssidae) on the captive corn snake, *Pantherophis guttatus*, (Squamata: Colubridae) in Turkey // Acarological Studies. 2021. V. 3. N 2. P. 89–95. <https://doi.org/10.47121/acarolstud.907114>
82. Саитов В.Р., Губейдуллина А.Х., Сальникова М.М., Еловицкая А.С., Кадиров А.Г. Зараженность клещом *Ophionyssus natricis* пресмыкающихся Казанского Зооботанического сада // IX Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий», посвященная 30-летию образования сельскохозяйственного факультета ГАГУ. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2023. С. 220–227.
83. Mendoza-Roldan J.A., Napoli E., Perles L., Marino M., Spadola F., Berny P., Espana B., Brianti E., Beugnet F., Otranto D. Afoxolaner (NexGard®) in pet snakes for the treatment and control of *Ophionyssus natricis* (Mesostigmata: Macronyssidae) // Parasites & Vectors. 2023. N 6. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05611-1>
84. Klompen H., Austin C.C. A new species of *Ophiomegistus* Banks (Acari: Paramegistidae) from Papua New Guinea // Zootaxa. 2007. V. 1387. P. 47–57.
85. Domrow R. The genus *Ophiomegistus* banks (acari: paramegistidae) // Australian Journal of Entomology. 1978. V. 17. Iss. 2. P. 113–124. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1978.tb02216.x>
86. Goff M.L. A new species of *Ophiomegistus* (Acari: Paramegistidae) from a Malaysian kukri snake // Pacific Insects. 1980. V. 22. P. 380–384.
87. Halliday B., Grimm-Seyfarth A. A new species of *Ophiomegistus* Banks (Acari: Paramegistidae) from an Australian lizard // Systematic and Applied Acarology. 2019. V. 24. N 12. P. 2348–2357. <https://doi.org/10.11158/saa.24.12.5>

88. Walter D.E., Proctor H.C. Mites as modern models: acarology in the 21st century // *Acarologia*. 2010. V. 50. Iss. 1. P. 131–141. <https://doi.org/10.1051/acarologia/20101955>
89. Zhang M.Y., Uchikawa K. Occurrence of *Ophionyssus natricis* on zoo snakes in Japan (Mesostigmata, Macronyssidae) // *J. Acarol. Soc. Jpn.* 1993. V. 2. N 2. P. 75–78.
90. Miranda R.J., Cleghorn J.E., Bermudez S.E., Perotti M.A. Occurrence of the mite *Ophionyssus natricis* (Acari: Macronyssidae) on captive snakes from Panama // *Acarologia*. 2017. V. 57. Iss. 2. P. 365–368.

REFERENCES

1. Zakhvatkin Yu.A. *Akarologiya nauka o kleshchakh. Istoriya razvitiya. Sovremennoe sostoyanie. Sistematika* [Acarology is the science of ticks. History of development. Current status. Taxonomy]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2012, 192 p. (In Russian)
2. Belova O.S., Grigoriev O.V. Occurrence of gamasid and ixodid ticks of reptiles of Western Siberia. In: Borkin, L.J. (ed.): *Herpetological investigations in Siberia and the Far East*. Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences, 1981, pp. 16–18.
3. Saitov V.R., Shantyapin Yu.A. [To the beginning of the history of the fight against arachnoentomoses]. In: *Ezhegodnyi Mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh statei «Geoekologiya Altae-Sayanskoi gornoj strany»* [Annual International Collection of Scientific Articles "Geoecology of the Altai-Sayan Mountain Country"]. Gorno-Altaysk, 2006, iss. 3, pp. 323–325. (In Russian)
4. Fedorov K.P., Donchenko A.S., Vasilevich F.I., Zubareva I.M. *Osnovy veterinarnoi parazitologii* [Fundamentals of Veterinary Parasitology]. Novosibirsk-Moscow, RIC SibNSHB RAS Publ., 2013, 491 p. (In Russian)
5. Romanenko V.N. *Meditsinskaya arakhnoentomologiya* [Medical Arachnoentomology]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2015, 282 p. (In Russian)
6. Catherine B.R., Jayathangaraj M.G., Soundararajan C., Guru C.B., Yogaraj D. Prevalence of *Amblyomma gervaisi* ticks on captive snakes in Tamil Nadu. *J Parasit Dis.*, 2017, vol. 41 (4), pp. 952–958. <https://doi.org/10.1007/s12639-017-0917-3>
7. Divers S.J. Parasitic Diseases of Reptiles. MSD Veterinary Manual, BVetMed, DACZM, DECZM, FRCVS, Department of Small Animal Medicine and Surgery, College of Veterinary Medicine, University of Georgia. Last review/revision Jun 2020 | Modified Oct 2022. Available at: <https://www.msdsvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/reptiles/parasitic-diseases-of-reptiles> (accesses 14.01.2023)
8. Wozniak E.J., DeNardo D.F. The biology, clinical significance and control of the common snake mite, *Ophionyssus natricis*, in captive reptiles. *J. Herpetol. Med. Surg.*, 2000, vol. 10, pp. 4–10.
9. Hoppman E., Wilson H. Dermatology in Reptiles. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 2007, vol. 16, iss. 4, pp. 210–224. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2007.10.001>
10. Amirkhanova S.M. Izuchenie biologo-ekologicheskikh osobennostei kleshcha semeistva Ixodidae, roda *Hyalomma H. marginatum*. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]. 2008, no. 3, pp. 73–76. (In Russian)
11. Balashov Yu.S. *Parazitizm kleshchei i nasekomykh na nazemnykh pozvonochnykh* [Parasitism of ticks and insects on terrestrial vertebrates]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2009, 371 p. (In Russian)
12. Rudakov N.V. *Anaplazmy i anaplazmozy. Rukovodstvo dlya vrachei* [Anaplasma and anaplasmosis. Guide for doctors]. Omsk, OOO "Publishing center "Omsk scientific bulletin", 2017, 100 p. (In Russian)
13. Shchelkanov M.Yu., Galkina I.V., Ananiev V.Yu., Samarsky S.S., Lienho V.Yu., Dedkov V.G., Safonova M.V., Orekhov V.E., Shchelkanov E.M., Alekseev A.Yu., Shestopalov A.M., Pitruk D.L., Serkov V.M. Ecological situation on the Tyuleniy Island in the Okhotsk Sea (2015): population interactions between pinnipeds, birds, ixodidae ticks and viruses. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 30–43. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-30-43>
14. Lubova V.A., Leonova G.N. Q-Fever – Natural Focal Zoonosis. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 2020, vol. 19, no. 4, pp. 97–101. (In Russian) <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-4-97-101>
15. Yatushevich A.I., Miklashevskaya E.V. Dermanyssus chickens in the poultry industry. *Ekologiya i zhivotnyi mir* [Ecology and Animal World]. 2020, no. 1, pp. 21–27. (In Russian)
16. Zheng W.Q., Xuan X.N., Fu R.L., Tao H.Y., Liu Y.Q., Liu X.Q., Li D.M., Ma H.M., Chen H.Y. Tick-borne pathogens in ixodid ticks from poyang lake region, Southeastern China. *Korean Journal of Parasitology*, 2018, vol. 56, no. 6, pp. 589–596. <https://doi.org/10.3347/kjp.2018.56.6.589>
17. Argenta F.F., Hepojoki J., Smura T., Szivovica L., Hammerschmitt M.E., Driemeier D., Kipar A., Hetzel U. Identification of Reptarenaviruses, Hartmanviruses, and a Novel Chuvirus in Captive Native Brazilian *Boa Constrictors* with Boid Inclusion Body Disease. *J. Virol.*, 2020, vol. 94, no. 11. <https://doi.org/10.1128/JVI.00001-20>
18. Audino T., Pautasso A., Bellavia V., Carta V., Ferrari A., Verna F., Grattarola C., Iulini B., Pintore M.D., Bardelli M., Cassina G., Tomassone L., Peletto S., Blanda V., Torina A., Caramelli M., Casalone C., Desiato R. Ticks infesting humans and associated pathogens: a cross-sectional study in a 3-year period (2017–2019) in northwest Italy. *Parasites, Vectors*. 2021, vol. 14, no. 136. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04603-x>
19. Balashov Yu.S. *Parazito-khozyainnye otnosheniya chlenistonogikh s nazemnymi pozvonochnymi* [Parasite-host relationships of arthropods with terrestrial vertebrates]. Leningrad, Nauka Publ., 1982, 320 p. (In Russian)
20. Dubinina H.V., Bochkov A.V., Javrujan J.G. Mites of the family myobiidae (acariformes) – ectoparasites of bats of Armenia. *Acarina*, 1995, vol. 3, no 1–2, pp. 99–104.
21. Bochkov A.V., Malikov V.G. *Eucheyletiella faini* sp.n. (Acari, Cheyletidae), a new species of parasitic mites from *Ochotona rufescens* (gray) (Lagomorpha, Ochotonidae). *Acarina*, 1996, vol. 4, no. 1–2, pp. 43–48.
22. Butler R.A., Trout Fryxell R.T., Houston A.E., Bowers E.K., Paulsen D., Coons L.D., Kennedy M.L. Small-mammal characteristics affect tick communities in southwestern Tennessee (USA). *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 2020, vol. 12, pp. 150–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.05.012>
23. Belozero V.N., Kopij G. Changes in population stage structure of an argasid tick *Argas arboreus* during nesting season of its host, the cattle egret *Bubulcus ibis*, in South Africa. *Acarina*, 1997, vol. 6, no. 1–2, pp. 63–68.
24. Bochkov A.V., Mironov S.V. Quill mites of the family *Syringophilidae Lavoipierre*, 1953 (Acariformes: Prostigmata) parasitic on birds (Aves) of the fauna of the former USSR. *Acarina*, 1998, vol. 6, no. 1–2, pp. 3–16.
25. Brinkerhoff R.J., Dang L., Streby H.M., Gimpel M. Life history characteristics of birds influence patterns of tick parasitism. *Infection Ecology and Epidemiology*, 2019, vol. 9, iss. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1080/2008686.2018.1547096>
26. Kim K.C. *Coevolution of Parasitic Arthropods and Mammals*. Wiley-Interscience, New York, 1985, 800 p.
27. Clayton D.H., Moore J. *Host-parasite evolution: General principles and avian models*. Oxford University Press, England, 1997, 473 p.
28. Bochkov A.V. A review of mites of the parvorder Eleutherengona (Acariformes: Prostigmata) permanent

- parasites of mammals. Acarina, KMK Scientific Press., 2009, 149 p.
29. Glowska E., Skoracki M. New species of quill mites (Acarina, Cheyletoidea, Syringophilidae) and the first record of male for the genus *Stibarokris*. *Zootaxa*, 2011, vol. 2817, no. 1, pp. 63–68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2817.1.4>
30. McCoy K.D., Leger E., Dietrich M. Host specialization in ticks and transmission of tick-borne diseases: a review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2013, vol. 3, no. 57. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2013.00057>
31. Zannou O.M., Ouedraogo A.S., Biguezoton A.S., Abatih E., Coral-Almeida M., Farougou S., Yao P.K., Lempereur L., Saegerman C. Models for Studying the Distribution of Ticks and Tick-Borne Diseases in Animals: A Systematic Review and a Meta-Analysis with a Focus on Africa. *Pathogens*, 2021, vol. 10, no. 7. <https://doi.org/10.3390/pathogens10070893>
32. Schon M.P. The tick and I: Parasite-host interactions between ticks and humans. *JDDG*, 2022, vol. 20, iss. 6, pp. 818–853. <https://doi.org/10.1111/ddg.14821>
33. Fajfer M. Acari (chelicerata) – parasites of reptiles. *Acarina*, 2012, vol. 20, no. 2, pp. 108–129.
34. Filippova N.A. Classification of the subfamily Amblyomminae (Ixodidae) in connection with reinvestigation of chaetotaxy of anal valve. *Parazitologiya* [Parazitologiya]. 1994, vol. 28, no. 1, pp. 3–12. (In Russian)
35. Leonovich S.A. Structure of Haller's organ and taxonomy of hard ticks of the subfamily Amblyomminae (Family Ixodidae). *Entomological Review*, 2021, vol. 101, no. 5, pp. 709–724. DOI: 10.1134/S0013873821050110
36. Pantchev N. Frequency of occurrence of endoparasites in reptiles (turtles, saurians, snakes) under the care of a research laboratory. Vorkommenshäufigkeit von Endoparasiten bei Reptilien (Schilddröten, Echsen, Schlangen) in Menschenobhut aus der Sicht eines Untersuchungslabors. *Tierärztliche Umschau*, 2009, vol. 64, no. 4, pp. 36–43.
37. Castro P.D.J. Ectoparasites in captive reptiles. *The Veterinary Nurse*. 2019, vol. 10, iss. 1. Available at: <https://www.theveterinarynurse.com/review/article/ectoparasites-in-captive-reptiles> (accessed 21.11.2022)
38. Fedorov K.P., Donchenko A.S., Bessonov A.S., Volkov F.A., Cherepanov A.A. *Osnovy obshchei i prikladnoi veterinarnoi parazitologii* [Fundamentals of General and Applied Veterinary Parasitology]. Novosibirsk, 2004, 1044 p. (In Russian)
39. Zakhvatkin A.A. *Fauna SSSR. Paukoobraznye. Tiroglyfoidnye kleshchi* (Tyroglyphoidea) [Fauna of the USSR. Arachnids. Tyroglyphoid mites (Tyroglyphoidea)]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1941, vol. 6, iss. 1, 492 p. (In Russian)
40. Lange A.B. *Opredelitel' chlenistonogikh, vredyashchikh zdorov'yu cheloveka* [Identifier of arthropods harmful to human health]. Moscow, Medgiz Publ., 1958, 420 p. (In Russian)
41. Mendoza-Roldan J.A. Ribeiro S.R., Castilho-Onofrio V., Grazziotin F.G., Rocha B., Ferreto-Fiorillo B., Pereira J.S., Benelli G., Otranto D., Barros-Battesti D.M. Mites and ticks of reptiles and amphibians in Brazil. *Acta Tropica*, 2020, vol. 208. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105515>
42. Woodring J.P. New records of snake lung mites (Acarina: Entonyssidae) from Louisiana. *Proceedings of the Louisiana Academy of Sciences*. 1964, vol. 27, pp. 58–63.
43. Stiller D., Lim B.L., Nadchatram M. *Entonyssus asiaticus* Fain, 1960 (Acarina: Entonyssidae), a lung parasite of Malaysian snakes with notes on the immature stages. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*, 1977, vol. 8, no. 1, pp. 129–130.
44. Fain A., Kutzer E., Fordinal E. *Entonyssus squamatus spec. nov.* (Acarina, Entonyssidae) from the lung of the snake, *Elaphe schrenckii* Stejneger, 1925. *International Journal of Acarology*, 1983, vol. 92, pp. 77–80.
45. Palma A.Di, Moraes G.J. de, Gerdeman B.S., Huber S., Kitajima E.W., Alberti G. Ultrastructural and functional adaptations of the female reproductive system in the family Heterozetidae (Acarina, Anactinotrichida, Gamasida, Heterozetina) and implications for the systematic position of the group. *Arthropod Structure and Development*, 2015, vol. 44, iss. 6, pp. 639–655. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2015.09.002>
46. Klompen H., Gerdeman B.S. Genus-level revision of the Heterozetidae (Parasitiformes: Mesostigmata). *Zootaxa*, 2023, vol. 5322, no. 1, pp. 1–66. DOI: 10.11646/zootaxa.5322.1.1
47. Finnegan S. On a new species of mite of the family Heterozetidae parasitic on a Snake. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1931, vol. 101, iss. 4, pp. 1349–1357. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1931.tb01066.x>
48. Lizaso N.M. Um novo ácaro da família Heterozetidae coletado sobre serpentes Brasileiras. Descrição de *Heterozet elegans* sp. n. (Acarina: Mesostigmata). *Memórias do Instituto Butantan*. Sao Paulo. 1979, vol. 42–43, pp. 139–144.
49. Fain A. Notes on mites associated with Myriapoda. IV. New taxa in the Heterozetidae (Acarina, Mesostigmata). *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Entomologie*. 1989, vol. 59, pp. 145–156.
50. Flechtman C.H.W., Johnston D.E. *Zetozet*, a new genus of Heterozetidae (Acarina: Mesostigmata) and the description of *Zetozet amphisbaenae* n. sp. from Brasil. *International Journal of Acarology*, 1990, vol. 16, pp. 143–148. <https://doi.org/10.1080/01647959008683526>
51. Gerdeman B.S., Garcia R.C., Herczak A., Klompen H. *Philippozet*, a new genus of Heterozetidae (Parasitiformes: Mesostigmata), with description of all active instars. *Zootaxa*, 2018, vol. 4540, no. 1, pp. 7–22. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4540.1.4>
52. Dowling A.P.G. *Ixobioides truncatus* (Johnston) comb. nov. (Acarina: Mesostigmata: Ixodidae): a synonymy and redescription. *Systematic and Applied Acarology*, 2009, vol. 14, no. 3, pp. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.14.3.7>
53. Voss W.J., Strandmann R.W. *Ixodidius uncatissimus*, a New Species of Parasitic Mite (Acarina: Mesostigmata) from the Snake, *Pseustes poecilonotus*. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 1962, vol. 35, no. 3, pp. 308–313
54. Mendoza-Roldan J.A., Perles L., Filippi E., Szafranski N., Montinaro G., Carbonara M., Scalera R., Teles P.P. de Abreu, Walochnik J., Otranto D. Parasites and microorganisms associated with the snakes collected for the “festa Dei serpari” in Cocollo, Italy. *PLoS*, 2024, vol. 18(2), article id: e0011973. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011973>
55. Bregetova N.G. *Gamazye kleshchi (Gamasoidea): Kratkii opredelitel'* [Gamasoidea: A Brief Guide]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1956, 247 p. (In Russian)
56. Bakiev A.G. Main Results of the Study of Parasites of Snakes of the Volga Basin. Message 2. Parasitiform Ticks. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of the Mordovian University]. 2007, vol. 17, no. 4, pp. 68–70. (In Russian)
57. Fain A. Les Acariens parasites endopulmonaires des Serpents (Entonyssidae: Mesostigmata). *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*. 1961, vol. 37, pp. 1–135.
58. Wiechert J.M. Infection of Hermann's tortoises, *Testudo hermanni boettgeri*, with the Common Snake Mite, *Ophionyssus natricis*. *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*. 2007, vol. 17, no. 2, pp. 53–54.
59. Zhil'tsova A.Yu. Epidemiologicheskoe znachenie gamazykh kleshchei goroda Stavropolya [Epidemiological significance of gamasid ticks in the city of Stavropol]. *Materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy osobo opasnykh infektsii na Severnom Kavkaze»* [Proceedings of the regional scientific and practical conference with international

- participation "Problems of especially dangerous infections in the North Caucasus"]. Stavropol', 2022, pp. 82–83. (In Russian)
60. Markov G.S., Bogdanov O.P. *Novye dannye po parazitologii zmei Srednei Azii i Kazakhstana. Gerpetologiya* [New data on the parasitology of snakes of Central Asia and Kazakhstan. Herpetology]. Tashkent, Nauka Publ., 1965, pp. 79–89. (In Russian)
61. Belova O.S., Grigor'ev O.V. *Vstrechaemost' gamazovykh i iksodovykh kleshchei na reptiliyakh Zapadnoi Sibiri. Gerpetologicheskie issledovaniya v Sibiri i na Dal'nem Vostoke* [Occurrence of gamasid and ixodid ticks on reptiles of Western Siberia. Herpetological research in Siberia and the Far East]. Leningrad, 1981, pp. 16–18. (In Russian)
62. Stanyukovich M.K., Iohanssen L.K. Ticks (Acari, Parasitiformes, Mesostigmata) are parasites of reptiles (Reptilia). In: *Aktual'nye problemy gerpetologii i toksikologii* [Current issues in herpetology and toxicology]. 2004, iss. 7, pp. 122–128. (In Russian)
63. Stanyukovich M., Iohanssen L. Observations on the gamasid mites (Parasitiformes, Gamasina, Macronyssidae, Laelapidae) parasitizing reptiles (Reptilia) from Russia and adjacent countries (ex-USSR). *Herpetologia Petropolitana: Proceedings of the 12th Ordinary General Meeting of the Societas Europea Herpetologica. Russian Journal of Herpetology*, 2005, vol. 12, pp. 310–311.
64. Simonov E., Zinchenko V. Intensive infestation of Siberian pitviper, *Gloydius halys* by the common snake mite, *Ophionyssus natricis*. *Journal of Zoology*, 2010, vol. 6, no. 1, pp. 134–137.
65. Rataj A.V., Lindtner-Knific R., Vlahovic K., Mavri U., Dovc A. Parasites in pet reptiles. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2011, vol. 53, article number: 33. doi: 10.1186/1751-0147-53-33
66. Dik B. The First Case of *Ophionyssus natricis* (Gervais, 1844) on a Sea Snake (*Natrix tessellata*, Laurent 1768) (Reptilia: Squamata: Colubridae) in Turkey. *Turkiye Parazit Derg.* 2012, vol. 36, pp. 112–115.
67. Senotrusova V.N. *Gamazovye kleshchi-parazity dikikh zhivotnykh Kazakhstana* [Gamasid mites - parasites of wild animals of Kazakhstan]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1987, 224 p. (In Russian)
68. Munyakina A.Yu. New Finds of Gamasid Ticks in the Central Ciscaucasia and Adjacent Territories. In: *Fauna Stavropol'ya* [Fauna of Stavropol']. Stavropol', 2007, iss. 14, pp. 89–90. (In Russian)
69. Gwiazdowicz D.J., Filip K.P. *Ophionyssus saurorum* (Acari, Mesostigmata) infecting *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae). *Wiadomości Parazytologiczne*. 2009, vol. 55, no. 1, pp. 61–62.
70. Moraza M.A., Irwin N., Godinho R., Baird, S.J.E., De Belloq J.G. A new species of *Ophionyssus Mégnin* (Acari: Mesostigmata: Macronyssidae) parasitic on *Lacerta schreiberi Bedriaga* (Reptilia: Lacertidae) from the Iberian Peninsula, and a world key to species. *Zootaxa*. 2009, vol. 2007, no. 1, pp. 58–68.
71. Bannert B., Karaca H.Y., Wolthmann H. Life cycle and parasitic interaction of the lizard-parasitizing mite *Ophionyssus gallotocolus* (Acari: Gamasida: Macronyssidae), with remarks about the evolutionary consequences of parasitism in mites. *Experimental and Applied Acarology*. 2000, vol. 24, pp. 597–613.
72. Korzikov V.A., Vasil'eva O.L., Korrallo-Vinarskaya N.P., Medvedev S.G. Gamasid mites associated with small terrestrial vertebrates in the south of central non-black earth region of Russia (Kaluga Region). *Parazitologiya*, 2021, vol. 55, iss. 2, pp. 101–124. (In Russian)
https://doi.org/10.31857/S0031184721020034
73. Orlova M.V., Doronin I.V., Klimov P.B., Anisimov N.V. A review of mites and ticks parasitizing rock lizards (Lacertidae: *Darevskia*). *Journal of Vector Ecology*, 2022, vol. 47, no. 1, pp. 19–28. doi: 10.52707/1081-1710-47.1.19
74. Reardon J.T., Norbury G. Ectoparasite and Hemoparasite Infection in a Diverse Temperate Lizard Assemblage at Macraes Flat, South Island, New Zealand. *The Journal of Parasitology*, 2004, vol. 90, no. 6, pp. 1274–1278.
75. Watharow S., Reid A. The introduced snake mite (*Ophionyssus natricis*) infestation on wild populations of eastern blue-tongue lizards (*Tiliqua scincoides*). *Herpetofauna*, 2002, vol. 32, pp. 26–29.
76. Norval G., Halliday B., Sih A., Sharrad R.D., Gardner M.G. Occurrence of the introduced snake mite, *Ophionyssus natricis* (Gervais, 1844), in the wild in Australia. *Acarologia*, 2020, vol. 60, iss. 3, pp. 559–565.
https://doi.org/10.24349/acarologia/20204385
77. Till W.M. Mesostigmatic mites living as parasites of reptiles in the Ethiopian region (Acarina: Laelapidae). *Journal of the Entomological Society of South Africa*. 1957, vol. 20, pp. 120–143.
78. Micherdzinski W., Lukoschus F.S. Eine neue *Ophionyssus* art von Java (Acarina: Mesostigmata: Macronyssidae). *Zoologische Mededelingen*. 1987, vol. 69, pp. 421–429.
79. Beck W., Pantchev N. Schlangenmilbenbefall (*Ophionyssus natricis*) beim Grünen Leguan (*Iguana iguana*) Ein Fallbericht. *Kleintierpraxis*. 2006, vol. 51, no. 12, pp. 3–7.
80. Da Silva F.A., Pinto Z.T., Teixeira R.H., Cunha R.A., Carrico C., Caetano R.L., Gazeta G.S., Amorim G.M. First record of *Ophionyssus natricis* (Gervais) (Acari: Macronyssidae) on *Python reticulatus* (Schneider) (Pythonidae) in Brazil. *EntomoBrasilis*. 2018, vol. 11, no. 1.
https://doi.org/10.12741/ebrazilis.v11i1.768
81. Keskin A. Occurrence of *Ophionyssus natricis* (Acari: Macronyssidae) on the captive corn snake, *Pantherophis guttatus*, (Squamata: Colubridae) in Turkey. *Acarological Studies*, 2021, vol. 3, no. 2, pp. 89–95.
https://doi.org/10.47121/acarolstud.907114
82. Saitov V.R., Gubeidullina A.Kh., Sal'nikova M.M., Elovitskaya A.S., Kadirov A.G. Zarazhennost' kleshchom *Ophionyssus natricis* presmykayushchikhsya Kazanskogo Zoobotanicheskogo sada [Infestation of reptiles of the Kazan Zoobotanical Garden with the tick *Ophionyssus natricis*]. *IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii», posvyashchennaya 30-letiyu obrazovaniya sel'skokhozyaistvennogo fakul'teta GAGU* [IX International scientific and practical conference "Current problems of agriculture in mountainous areas", dedicated to the 30th anniversary of the formation of the agricultural faculty of GASU]. Gorno-Altaysk, RIO GASU Publ., 2023, pp. 220–227. (In Russian)
83. Mendoza-Roldan J.A., Napoli E., Perles L., Marino M., Spadola F., Berny P., Espana B., Brianti E., Beugnet F., Otranto D. Afoxolaner (NexGard®) in pet snakes for the treatment and control of *Ophionyssus natricis* (Mesostigmata: Macronyssidae). *Parasites & Vectors*, 2023, no. 6.
https://doi.org/10.1186/s13071-022-05611-1
84. Klompen H., Austin C.C. A new species of *Ophiomegistus* Banks (Acari: Paramesgistidae) from Papua New Guinea. *Zootaxa*, 2007, vol. 1387, pp. 47–57.
85. Domrow R. The genus *Ophiomegistus* banks (acari: paramesgistidae). *Australian Journal of Entomology*, 1978, vol. 17, iss. 2, pp. 113–124. https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1978.tb02216.x
86. Goff M.L. A new species of *Ophiomegistus* (Acari: Paramesgistidae) from a Malaysian kukri snake. *Pacific Insects*, 1980, vol. 22, pp. 380–384.
87. Halliday B., Grimm-Seyfarth A. A new species of *Ophiomegistus* Banks (Acari: Paramesgistidae) from an Australian lizard. *Systematic and Applied Acarology*, 2019, vol. 24, no. 12, pp. 2348–2357.
https://doi.org/10.11158/saa.24.12.5

88. Walter D.E., Proctor H.C. Mites as modern models: acarology in the 21st century. *Acarologia*, 2010, vol. 50, iss. 1, pp. 131–141. <https://doi.org/10.1051/acarologia/20101955>
89. Zhang M.Y., Uchikawa K. Occurrence of *Ophionyssus natricis* on zoo snakes in Japan (Mesostigmata,

Macronyssidae). *J. Acarol. Soc. Jpn.*, 1993, vol. 2, no. 2, pp. 75–78.
90. Miranda R.J., Cleghorn J.E., Bermudez S.E., Perotti M.A. Occurrence of the mite *Ophionyssus natricis* (Acari: Macronyssidae) on captive snakes from Panama. *Acarologia*, 2017, vol. 57, iss. 2, pp. 365–368.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Вадим Р. Саитов, Анатолий И. Голубев, Анна Н. Сибен, Елена А. Ефремова, Ольга М. Бонина, Алсу Х. Губейдуллина принимали участие в разработке концепции, анализа данных и написании текста. Марина М. Сальникова, Евгений А. Удальцов, Наталия В. Шакурова, Глеб С. Кашеваров проводили дифференцированный отбор данных по выбранной тематике. Людмила В. Малютина, Ксения В. Юсупова, Ислам Р. Нигметзянов, Анастасия С. Еловицкая участвовали в редактировании текста. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vadim R. Saitov, Anatoliy I. Golubev, Anna N. Siben, Elena A. Efremova, Olga M. Bonina, Alsu H. Gubeidullina participated in the development of the concept, data analysis and writing of the text. Marina M. Salnikova, Evgeniy A. Udaltsov, Natalia V. Shakurova, Gleb S. Kashevarov participated in differentiated selection of data on the selected topic. Ludmila V. Malutina, Ksenia V. Yusupova, Islam R. Nigmatzyanov, Anastasia S. Elovitskaya participated in editing the text. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Вадим Р. Саитов / Vadim R. Saitov <https://orcid.org/0000-0001-9815-1314>
Алсу Х. Губейдуллина / Alsu H. Gubeidullina <https://orcid.org/0000-0002-6390-669X>
Анатолий И. Голубев / Anatoliy I. Golubev <https://orcid.org/0000-0002-1049-0467>
Марина М. Сальникова / Marina M. Salnikova <https://orcid.org/0000-0002-3928-4974>
Людмила В. Малютина / Ludmila V. Malutina <https://orcid.org/0009-0004-8032-7835>
Наталия В. Шакурова / Natalia V. Shakurova <https://orcid.org/0000-0001-9058-4879>
Ислам Р. Нигметзянов / Islam R. Nigmatzyanov <https://orcid.org/0000-0002-0431-8513>
Анастасия С. Еловицкая / Anastasia S. Elovitskaya <https://orcid.org/0009-0007-3240-4260>
Глеб С. Кашеваров / Gleb S. Kashevarov <https://orcid.org/0000-0002-4520-7596>
Ксения В. Юсупова / Ksenia V. Yusupova <https://orcid.org/0000-0001-8597-3458>
Анна Н. Сибен / Anna N. Siben <https://orcid.org/0000-0002-1094-9995>
Елена А. Ефремова / Elena A. Efremova <https://orcid.org/0000-0002-4062-3822>
Ольга М. Бонина / Olga M. Bonina <https://orcid.org/0000-0001-9480-1797>
Евгений А. Удальцов / Evgeniy A. Udaltsov <https://orcid.org/0000-0002-2005-6285>

Опыт реинтродукции глухаря (*Tetrao urogallus*) и рябчика (*Tetrastes bonasia*) в Новосибирской области

Владимир А. Шило^{1,2}, Владимир А. Юдкин^{1,3}, Иван Г. Фролов¹, Светлана Н. Климова^{1,2}

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский зоопарк имени Р.А. Шило, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Владимир А. Шило, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт систематики и экологии животных СО РАН; 630091 Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11. Тел. +79137566599

Email shilo_dik@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0004-1633-7617>

Формат цитирования

Шило В.А., Юдкин В.А., Фролов И.Г., Климова С.Н. Опыт реинтродукции глухаря (*Tetrao urogallus*) и рябчика (*Tetrastes bonasia*) в Новосибирской области // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 69–79.

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-5

Получена 22 января 2025 г.

Прошла рецензирование 26 февраля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель — оценка эффективности способов реинтродукции глухаря (*Tetrao urogallus*) и рябчика (*Tetrastes bonasia*), рожденных и выращенных в вольерах, в условиях Западно-Сибирской равнины. Выпускали в природу птиц из совокупности, которая на протяжении нескольких поколений содержалась в вольерах. Среди глухарей 6 половозрелых самок в возрасте 1–3 года. Причем 4 из них были выпущены выводками с птенцами в возрасте 2–5 дней (по 2, 4, 5 и 6 птенцов в выводке). Взрослые самки при выводах были помечены радиопередатчиками. Кроме того выпускались подросшие птенцы глухаря в возрасте 3–4 месяца без взрослых самок (всего 40 особей). Все выпущенные рябчики были подросшими птенцами в возрасте более 3 месяцев, или половозрелыми птицами. Всего было выпущено 63 особей глухаря и 28 — рябчика. В отслеживании их перемещений использовали радиослежение, визуальные наблюдения, опрос и сообщения от местного населения о встречах отдельных особей. Из 4-х выводков глухаря жизнедеятельность одного в полном составе удалось проследить на протяжении 42 дней. Шесть встреч одиночных глухарей произошли через 10–227 суток после их выпуска. В основном они были около человеческого жилья на расстоянии до 70 километров от места выпуска. Самка, встреченная в мае следующего за выпуском года, находилась в стадии яйцекладки. Отмечено восемь визуальных встреч рябчика через 2–139 дней после выпуска на расстоянии до 1100 м от места выпуска. Выпущенные вольерные птицы адаптируются к естественной среде обитания и выживают в наиболее трудный зимний период. Птенцы с самками могут благополучно вырастать в природной обстановке вплоть до распада выводков. Выявленная дальность разлета выпущенных глухарей существенно не превысила таковую для диких молодых птиц. Все обнаруженные после выпуска глухари демонстрировали тяготение к человеческому жилью и сооружениям. У выпущенных рябчиков обнаруженный разлет от места выпуска меньше аналогичного разлета для диких популяций. Все их встречи были в характерных для вида лесных массивах. Наиболее дальние перемещения выращенных в вольерах птиц имеют направленность в сторону вольер, где птицы выросли.

Ключевые слова

Дичеразведение, реинтродукция, Западно-Сибирская равнина, глухарь, рябчик.

The experience of reintroduction of western capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*) in the Novosibirsk Region, Russia

Vladimir A. Shilo^{1,2}, Vladimir A. Yudkin^{1,3}, Ivan G. Frolov¹ and Svetlana N. Klimova^{1,2}

¹Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²R.A. Shilo Novosibirsk Zoo, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Vladimir A. Shilo, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Frunze St, Novosibirsk, Russia 630091.

Tel. +79137566599

Email shilo_dik@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0004-1633-7617>

How to cite this article

Shilo V.A., Yudkin V.A., Frolov I.G., Klimova S.N. The experience of reintroduction of western capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*) in the Novosibirsk Region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):69-79. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-5

Received 22 January 2025

Revised 26 February 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. Evaluation of the effectiveness of reintroduction methods of western capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*) born and raised in aviaries in the conditions of the West Siberian plain.

Birds were released into nature from a collection that had been kept in aviaries for several generations. There were 6 mature females aged 1–3 years among the capercaillies. Four of those females were released in broods with chicks aged 2–5 days (2, 4, 5 and 6 chicks per brood). Adult females with broods were tagged with radio transmitters. In addition, older capercaillie chicks aged 3–4 months were released without adult females (40 individuals in total). All released grouse were chicks over the age of 3 months or mature birds. A total of 63 capercaillie and 28 grouse were released. Radio tracking, visual observations, surveys and reports from the local population about individual sightings were used to track their movements.

Of the 4 capercaillie broods, the vital activity of one in its entirety was traced for 42 days. Six encounters of single capercaillie occurred 10–227 days after their release. They happened mostly near human habitation at a distance of up to 70 kilometres from the place of release. A female encountered in May of the year following the release was laying eggs. Eight visual encounters of grouse at a distance of up to 1100 m from the place of release were noted 2–139 days after release.

Released aviary birds adapt to their natural habitat and are able to survive the most difficult winter period. Chicks with females can safely grow up in a natural environment until the brood break-up. The revealed range of the released capercaillie did not significantly exceed that for wild young birds. All the discovered released capercaillie showed attraction to human habitation areas and structures. In released grouse, the detected departure from the place of release is less than the comparable range for wild populations. All of their sightings were in forest areas characteristic of the species. The furthest movements of birds raised in aviaries are directed towards the same aviaries where the birds grew up.

Key Words

Game breeding, reintroduction, West Siberian plain, western capercaillie, hazel grouse.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание и разведение диких животных в зоопарках и питомниках позволило не только сохранить некоторые виды от исчезновения (олень Давида *Elapharus davidianus*, лошадь Пржевальского *Equus przewalskii*, калифорнийский кондор *Gymnogyps californianus*), но и послужило основой для их реинтродукции в естественную среду обитания. В связи с возрастающим негативным влиянием человека на природу (сокращение площадей, пригодных для обитания животных, техногенные инциденты, чрезмерная добыча), численность многих видов не только значительно сокращается, но и само их существование в природе может находиться под угрозой. Поэтому содержание и разведение в вольерах наиболее уязвимых животных для возможной их реинтродукции в природу в случае критической ситуации – задача чрезвычайно целесообразная для сохранения биологического разнообразия. Методики такой реинтродукции необходимо разрабатывать заранее, не дожидаясь исчезновения вида в природе. В случае критической ситуации с видом подобные методики для него должны быть полностью готовы. Известен опыт удачной реинтродукции сапсана (*Falco peregrinus*) в Москве [1]. Ведутся масштабные работы по воссозданию западносибирской популяции стерха (*Grus leucogeranus*) на основе вольерного разведения птиц [2; 3].

Кроме того, реинтродукция животных актуальна не только при исчезновении вида в природе, но и для повышения численности охотничьих животных в охотничьих хозяйствах. В частности, широкую известность приобрели работы по увеличению численности кряквы (*Anas platyrhynchos*), серой куропатки (*Perdix perdix*) и фазана (*Phasianus colchicus*). Очевидно, что для каждого вида животных требуется разработка необходимого только для него комплекса мер для возврата в естественную среду обитания. Некоторые из мер могут быть и универсальными для родственных видов.

Традиционными объектами охоты в России были и остаются некогда многочисленные, а в настоящее время сокращающиеся в численности и даже уязвимые виды тетеревиных. На территории Европы в наиболее тяжелом положении оказался глухарь. Его искусственному разведению и реинтродукции там многие десятилетия уделяется пристальное внимание, и были достигнуты заметные успехи [4–6]. В Сибири, с её жесткими климатическими условиями и специфическими традициями населения по отношению к охотничьим птицам, аналогичных примеров пока нет. Поэтому, экологическая оценка различных способов выпуска в природу вольерных птиц этих видов для разработки методик их реинтродукции в условиях юго-востока Западно-Сибирской равнины – актуальная задача.

Целью работы является оценка эффективности способов реинтродукции глухаря (*Tetrao urogallus*) и рябчика (*Tetrastes bonasia*).

Для этого решались следующие задачи:

1. Выпуск в природу помеченных глухарей и рябчиков разного возраста, выращенных в вольерных условиях.

2. Выявление особенностей территориальных связей выпущенных птиц.

3. Выявление возможных причин гибели вольерных особей в природе после выпуска.

4. Предварительная оценка адаптации выпущенных птиц к естественной среде обитания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

Выпуск птиц проведен на юго-востоке Западно-Сибирской равнины на территории Барабинской провинции в пределах лесостепной зоны.

В качестве поголовья для выпусков в природу были использованы глухари подвида *T. ur. taczanjwskii* Stejneger, 1885 и рябчики подвида *T. b. septentrionalis* Seebohm, 1884, рождённые в вольерном комплексе Карасукского научного стационара ИСиЭЖ СО РАН. Эти виды успешно разводятся в вольерных условиях более 20-ти лет. Родоначальниками вольерной группировки стали дикие взрослые птицы, отловленные в Томской области.

Отобранные для выпуска особи получены в результате естественной инкубации (яйца были насижены самками в вольерах). В процессе выращивания и при дальнейшем содержании вольерные глухари и рябчики получали как технологические корма (комбикорм, зерновая смесь и премиксы), так и сезонные естественные корма (разнообразные веточные корма: сосновый лапник, берёзовые ветки с почками и сережками, ветки яблони, ивы, осины; ягоды черноплодной и красной рябины и живые членистоногие).

Для выпуска вольерных птиц в природу были подобраны места в восточной части Новосибирской области. Глухари выпускались в заказниках «Ордынский» и «Кудряшовский бор», где в настоящее время обитают дикие глухари. Наличие диких птиц является наиболее надёжным признаком того, что территория полностью отвечает экологическим потребностям вида. В этих двух локациях места для выпусков подбирали в глубине лесных насаждений. Также, экспериментальный выпуск выводков глухаря был проведен в лесопарковой зоне Новосибирского Академгородка, где в настоящее время дикие глухари не встречаются. Вольерные рябчики выпущены в окрестностях Академгородка, там же в настоящее время встречаются и дикие рябчики. Всех птиц выпускали в светлое время суток, как минимум за 4–5 часов до наступления темноты. Выпуски проводили летом или ранней осенью, в наиболее благоприятный для птиц период с достатком кормов и мягкими погодными условиями.

Известно, что дикие глухари – птицы осторожные и пугливые. Выросшие в вольерах, они также легко подвержены стрессу и паническому поведению при реальной или мнимой опасности, что необходимо учитывать в процессе их транспортировки и выпуска.

Транспортировка птиц из вольерного комплекса к местам выпусков проводилась автотранспортом и занимала от 7 до 10 часов. Перевозили их на автомобиле на расстояние 400–500 км. Особое внимание уделялось транспортировке самок глухаря с 2–5 дневными птенцами, так как был велик риск того, что во время выпуска испуганная самка улетит и не вернётся к выводку в новой для себя обстановке. Самку перевозили в затемнённой транспортной клетке, а птенцов – в небольшой картонной коробке,

размещённой рядом с её клеткой, что позволяло сохранить обмен звуковыми сигналами между самкой и её птенцами. В коробке с птенцами поддерживали комфортную для них температуру и сумрак. В пути птенцов через каждые 2–3 часа пересаживали для кормления в более просторную пенопластовую или картонную коробку с нескользящей подстилкой, на пол насыпали немного личинок мучного хруща («мучных червей»), куколок муравьёв или живых членистоногих, которых везли с собой. Коробку сверху прикрывали лёгкой сетчатой тканью, пропускающей свет. Птенцы активно склёвывали предлагаемый корм.

На месте выпуска самку и птенцов вначале помещали в специальную адаптационную клетку, размером 75х130 см, h=70 см (рис. 1). Сначала внутрь клетки выпускали птенцов, а затем самку. В адаптационной клетке у взволнованной самки было время успокоиться и осмотреться. Как правило, в течение 20–30 минут самка успокаивалась, начинала

квохтать, демонстрируя проявление материнского инстинкта, и брала птенцов под себя для согревания. После этого дверь адаптационной клетки осторожно открывали и ожидали, когда самка и птенцы покинут её. Первыми из клетки обычно выходили любопытные птенцы, за ними самка. Вся группа медленно передвигалась, птенцы бежали рядом с самкой, демонстрируя исследовательское и кормовое поведение. Наблюдатели осторожно следили за ними. Когда самка, находясь уже в природной обстановке, вела себя как наседка, поддерживала акустический контакт с птенцами и через некоторое время вновь брала их под себя для согревания, выпуск считался завершённым и наблюдатели уходили, оставив птиц в лесу. Дальнейшее наблюдение за выводками проводили путём пеленгации радиосигнала с передатчика, обнаружения самки и осторожного визуального наблюдения за птицами.



Рисунок 1. Самка глухаря с птенцами в адаптационной клетке
Figure 1. Female capercaillie with chicks in the adaptation cage

Глухарь. Всего в 2017–2018 годах было выпущено 63 глухаря, в том числе 40 трехмесячных птиц (22 самца и 18 самок) и 6 половозрелых самок возрастом 1–3 года. Из них 4 самки выпущены с выводками (по 2, 4, 5 и 6 птенцов в выводке). Взрослые птицы и молодые глухари были помечены ножными алюминиевыми и пластиковыми цветными кольцами. На цветных кольцах была сделана надпись «сообщи» и номер контактного телефона. Птенцы-пухляки помечены не были.

Взрослых и молодых глухарей выпускали либо сразу после прибытия на место выпуска непосредственно из транспортных клеток, либо через адаптационную вольеру, предварительно установленную на месте выпуска (рис. 2, 3). Площадь такой вольеры составила около 15 м². Внутри выкладывали ветки сосны и подкормку из привычного для птиц корма (зерносмеси и ягоды), затем помещали в неё

птиц. В течение 30–40 минут глухари имели возможность успокоиться и разглядеть окружающую их новую обстановку, затем дверь осторожно открывали, и птицы выходили или вылетали из вольеры в лес. Использование адаптационной вольеры при выпуске тетеревиных птиц крайне важно, так как предотвращает травмы, которые случаются при их выпуске непосредственно из транспортных клеток. Кроме того, для 4-х самок глухаря с выводками и одной самки-сеголетки проведено радиослежение. Передатчики (водонепроницаемые VHF транзисторы серии АЗ900) представляют собой запаянную в эпоксидную смолу плату-транзистор с литиевым аккумулятором (типа 2032) и выходящую из корпуса антенну, общим весом 20–22 г с радиусом действия 1,5 км и сроком работы от 16 до 33 месяцев. Радиопередатчик каждой птицы подавал сигнал в диапазоне 150,000 MHz – 151,000 MHz с чувствительностью $\pm 2,5$ kHz. Приемником являлось

универсальное приёмное устройство, настроенное на частоту нужного радиопередатчика с точностью до 0,001 MHz. Радиопередатчики закрепляли на шее птиц в питомнике, за несколько дней до выпуска в природу.

Наблюдатель прочёсывал лес в поисках ненаправленного сигнала, используя всенаправленную антенну (широкополосный штырь). Обнаружив сигнал, он менял антенну с всенаправленной на направленную антенну Yagi Uda (волновой канал) и при этом двигался в сторону сигнала, пока птица не оказывалась в зоне визуальной видимости, выдав себя движением или позой настороженности (с поднятой головой). Наблюдатель старался не пугать птицу с выводком, приближаясь к точке предполагаемого расположения самки медленно, и давая возможность ей заметить его и начать осторожно уходить вместе с выводком. При помощи спутникового навигатора фиксировались

координаты точки обнаружения птицы, отмечалось количество замеченных птенцов и их поведение.

Если день наблюдений характеризовался обильными осадками и травостой оставался влажным, визуальный контакт с самкой не устанавливался, так как это могло навредить выводку. В этом случае местонахождение птицы устанавливалось с минимально возможного расстояния, в том числе с помощью триангуляции её местоположения с различных точек и поиска места пересечения направлений сигнала маяка. Радиопередатчики работали в любую погоду, в том числе и после гибели птицы при условии, что кончик антенны находился выше поверхности земли. Высота расположения радиопередатчика значительно влияет на дальность распространения сигнала в лесу. Так, лежащий на земле радиопередатчик можно было заметить только с расстояния не более 200 м.



Рисунок 2. Адаптационная вольера для глухарей в заказнике «Кудряшовский бор»

Figure 2. Adaptation aviary for capercaillie, Kudriashovskii Bor Reserve



Рисунок 3. Выход глухарей из адаптационной вольеры в заказнике «Кудряшовский бор»

Figure 3. Capercaillie leaving the adaptation aviary in Kudriashovskii Bor Reserve

Рябчик. Выпуск рябчиков проводился в 2017 г. Всего выпущено 16 половозрелых самцов, 6 половозрелых самок и шесть молодых птиц (возраст более 3 месяцев). Все птицы были помечены алюминиевыми и цветными пластиковыми кольцами. Идентифицировать птиц можно было по номеру и контактной информации на кольцах.

Всех рябчиков выпускали непосредственно из транспортных клеток.

При выявлении территориальных перемещений птиц использовали визуальные наблюдения, опрос и сообщения от местного населения о встречах отдельных особей.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Глухарь. Сведения о встречах выводков с 2–5 дневными птенцами после выпуска приведены в таблице 1. В 2017 году, когда выводки выпускались в заказнике с незначительной рекреационной нагрузкой, из двух самок с выводком двухлетняя самка, судя по всему, после выпуска или бросила птенцов, или они погибли в первые два дня после выпуска. В моменты ее

обнаружения птенцов с ней не замечено. Через 4 дня эта самка переместилась за пределы площади пеленгации, сигнал ее передатчика был потерян. Трехлетняя самка с 5 птенцами в течение 42 дней держалась вблизи места выпуска, не удаляясь от него далее 900 м. За 42 дня наблюдений у этой самки сохранились все 5 птенцов. После этого она исчезла из зоны пеленгации. Птенцы благополучно достигли возраста, когда выводок распадается, и, возможно, у молодых птиц началась дисперсия.

Процесс дисперсии молодых птиц необходимо учитывать при определении места для реинтродукции. Дисперсия молодых птиц начинается с момента потери их связи с родителем. У тетеревиных она начинается со времени распада выводка, и наиболее активно длится около двух недель [7–9]. Разлет молодых птиц, как правило, ненаправленный. Известная дальность дисперсии для глухаря была в пределах 1–30 км (медиана 11 км) [10]. Поэтому при благополучном распаде выводка, за которым удалось пронаблюдать 42 дня, можно предположить нахождение птенцов в радиусе 10–15 км от места выпуска.

Таблица 1. Результаты мониторинга глухарей, помеченных радиопередатчиком

Table 1. Monitoring results for radio-tagged capercaillie

Характеристика особи Individual's characteristic	Дата выпуска Date of release	Дата последнего визуального наблюдения или пеленгации Date of last visual observation or direction finding	Дней мониторинга Days of monitoring	Максимальное удаление от точки выпуска (м) Maximum distance from the release site (m)	Пояснение Notes
Трёхлетняя самка с 5 птенцами Three year old female with 5 chicks	10.06.2017	22.07.2017	42	900	Птица держалась вместе с выводком из 5 птенцов до 22 июля 2017 г. The bird stayed with brood of 5 chicks until 22 July 2017
Двухлетняя самка с 2 птенцами Two year-old female with 2 chicks	10.06.2017	14.06.2017	4	650	Вскоре после выпуска самку наблюдали без птенцов, затем сигнал был потерян Shortly after release, the female was observed without chicks, then the signal was lost
Трёхлетняя самка с 4 птенцами Three year old female with 4 chicks	11.06.2018	20.06.2018	9	450	Птица обнаружена мёртвой со следами черепно-мозговой травмы The bird was found dead with signs of head trauma
Годовалая самка с 6 птенцами One year-old female with 6 chicks	11.06.2018	13.06.2018	2	200	Был обнаружен только датчик, птица не обнаружена The sensor was detected but not the bird. bird was not detected
Трехмесячная одиночная самка Three year-old single female	24.08.2017	24.08.2017	1	350	Птица покинула зону пеленгации The bird has left the direction finding zone.

В 2018 году два выводка 2–5 дневных птенцов с самками были выпущены в лесопарковой зоне Новосибирского Академгородка с очень высокой

рекреационной нагрузкой. Обе самки после транспортировки и выпуска в природу сохранили материнское поведение и остались с птенцами.

Зафиксирована гибель самок через 2 и 9 дней после выпуска. Высокая рекреационная нагрузка в лесопарке проявляется, в основном, в большом количестве людей, посещающих эту площадь. Значительная часть этих посещений проходят в сопровождении собак. Поэтому вероятность обнаружения людьми самок глухаря с выводами чрезвычайно высока. Гибель самок продемонстрировала, что процесс размножения этих птиц в таких условиях неэффективен.

Выпуск подросших птенцов и взрослых птиц, выращенных в вольерах должен учитывать действие еще одной врожденной поведенческой программы – запечатления (imprinting) территории. Если в раннем птенцовом возрасте запечатлевается облик окружающего пространства, то в короткое время сразу после окончания активной стадии дисперсии в молодых птицах активизируется поведенческая программа запечатления географического положения территории [11; 12 и др.]. В этот район впоследствии птица

стремится вернуться для размножения. У птиц, содержание которых в вольерах совпало с процессом запечатления территории, – запечатлевается не только облик пространства вольеры и ее окружения, но и район расположения вольеры. У всех выпущенных половозрелых птиц и подросших птенцов период запечатления территории пришелся на время содержания их в вольерах.

Встречи птенцов, выпущенных в трехмесячном возрасте, и одиночных половозрелых птиц приведены в таблице 2. Спустя 10 дней и более после выпуска для 4-х из 6 случаев локаций обнаружения дальность разлета превышает известную для диких глухарей величину медианы дальности дисперсии. Из них два случая превышают и известную максимальную дальность. Возвратов птиц существенно ближе величины медианы от места выпуска не обнаружено. Заметна зависимость, чем позднее срок обнаружения, тем дальше от места выпуска обнаружена птица.

Таблица 2. Информация о возвратах меченных кольцами глухарей

Table 2. Information on returns of ringed capercaillie

Пол, Возраст Sex, age	Дата выпуска Date of release	Дата возврата Date of return	Кол-во дней после выпуска Days after release	Расстояние от места выпуска (км) Distance from the release site (km)	Примечание Notes
Самка Female	24.08.2017	03.09.2017	10	10,0	Птицу обнаружили на дачном участке (рис. 4) The bird was found on a summer cottage plot (Fig. 4)
Самка 2017 г.р. Female born 2017	15.09.2017	30.04.2018	227	Около 70 км About 70 km	Птица обнаружена погибшей с травмами под трансформаторной будкой. По результату вскрытия – птица была с признаками размножения The bird was found dead with injuries under a transformer box. According to the autopsy, the bird showed signs of reproduction
Самец 2018 г.р. Male born 2018	11.10.2018	25.10.2018	14	11,5	Птицу заметили травмированной на южной окраине п. Колывань. Рана старая, вероятно получена после удара о ветку дерева The bird was observed injured on the southern outskirts of Kolyvan. The wound was old, probably received after hitting a tree branch
Самец 2018 г.р. Male born 2018	11.10.2018	28.10.2018	17	15,5	Птица ходила на дачном участке, активная The bird was walking around a summer cottage, active
Самец 2018 г.р. Male born 2018	11.10.2018	31.10.2018	20	33,5	Птица обнаружена с травмой после удара о металлический забор промышленного предприятия Bird was found injured after hitting metal fence at industrial plant
Самец 2018 г.р. Male born 2018	11.10.2018	05.11.2018	25	15,5	Птица активная, встречена на садоводческом участке Bird is active, encountered in a garden plot.

Из шести птиц 4 встречи были через 10–25 дней после выпуска на расстоянии от места выпуска 10–15,5 км. Птицы сместились в направлении СВ и ССВ. Две наиболее дальние встречи составили 33,5 и около 70 км, причем самая дальняя (из обнаруженных) встреча произошла через 227 дней. Эта птица была с признаками размножения. Оба самых дальних смещения от места выпуска были в направлениях ЮЮЗ и ЮЗ. Примерно в этом направлении на расстоянии примерно 400 км находится и вольерное хозяйство, где были выращены птицы. Смещение самца, встреченного через 25 дней после выпуска, было также направлено на местоположение вольерного хозяйства (ошибка всего 30 км).

Все без исключения встречи глухарей, выпущенных подростками птенцами и половозрелыми птицами, пришлось на селитебные ландшафты. Они обнаружены рядом с заборами жилых помещений или иными сооружениями.

Таким образом, установлено, что вольерные птенцы глухаря 2–5 дневного возраста в сопровож-

дении вольерной самки могут выживать в природе до периода распада выводка. При этом их адаптация к естественной среде обитания проходит с младенческого возраста и может положительно сказаться на результатах реинтродукции. Выращенные в вольере птицы могут пережить зиму в природе и приступить к размножению. Также, можно предположить, что часть птиц, период дисперсии и запечатление территории которых прошел в вольерах, стремятся переместиться из естественных для вида ландшафтов в селитебные. Возможно, что и направление их перемещений может определяться положением места их вольеры. Таким образом, доставку подросших птенцов к месту выпуска целесообразно проводить в возрасте не старше 40 дней, где первые 10 дней до выпуска на волю они будут находиться в адаптационных вольерах.

Частое появление людей на территории обитания глухаря делает невозможным размножение не только диких птиц, но и выпущенных вольерных.



Рисунок 4. Встреча самки глухаря 03.09.2017 на дачном участке. Фото предоставил А.И. Михантьев

Figure 4. Female capercaillie encountered on grounds of a summer cottage territory, 03.09.2017. Photo by A.I. Mihantiev

Рябчик. О величине дисперсии молодых птиц в природных популяциях рябчика в условиях Западно-Сибирской равнины надежных данных неизвестно. В то же время для воротничкового рябчика (*Bonasa umbellus*) исследования показали, что разлет составляет не более 10 км, а в основном значительно меньше [13]. В нашем случае все выпущенные рябчики период дисперсии молодых и запечатления территории провели в вольерах. После выпуска обнаружен очень незначительный разлет, отмеченные расстояния были значительно меньше указанной величины дисперсии в природных популяциях. Все места встреч птиц после выпуска находились не далее 1,1 км от места выпуска (табл. 3).

В первые 17 дней было отмечено три направления смещения по сторонам света от места выпуска (по одному наблюдению) – 3, СВ, ЮВВ. Все остальные более поздние и самые дальние от места

выпуска встречи были смещены в юго-западном направлении. Как и для наиболее дальних перемещений выпущенных глухарей, для рябчиков прослеживается сопряженность перемещений в направлении положения вольеры, в которой они выросли. Но выявленные для рябчика перемещения заметно меньше.

В отличие от глухаря выпущенные рябчики не продемонстрировали существенного тяготения к селитебному ландшафту. Лишь одна встреча была возле человеческих построек, остальные были на лесных пространствах.

Из 8 встреч помеченных птиц 3 встречи были спустя 130–139 дней после выпуска, т.е. в конце января – начале февраля (рис. 5). Следовательно, выращенные в вольерах рябчики продемонстрировали способность прожить в природных условиях первую половину зимы.

Таблица 3. Информация о встречах меченных цветными кольцами рябчиков, выпущенных 23.09.2017 в лесопарке Новосибирского Академгородка
Table 3. Information about sightings of ringed grouse released 23.09.2017 in the recreational forest of Novosibirsk Akademgorodok

Пол Sex	Дата встречи/возврата Date of encounter/return	Кол-во дней после выпуска Days after release	Расстояние от места выпуска (км) Distance from the release site (km)	Примечание Notes
Самка Female	25.09.2017	2	0,28	Самка найдена посетителями парка травмированной на дороге Bird was found injured on a road by park visitors
Самец Male	30.09.2017	7	0,15	Визуальная встреча в верхнем дендрарии Visual encounter in the upper arboretum
Самец Male	10.10.2017	17	0,64	Визуальная встреча около ЛЭП Visual encounter near power lines
Не определен Not determined	11.10.2017	18	1,10	Птицу несколько раз видели около главного здания ЦСБС Bird was seen several times near the main building of the Central Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Самец Male	13.10.2017	20	0,55	Визуальная встреча около ЛЭП Visual encounter near power lines
Самец Male	31.01.2018	130	0,43	Визуальная встреча Visual encounter
Самец Male	03.02.2018	133	Не определено Not determined	Визуальная встреча Visual encounter
Самец Male	09.02.2018	139	0,09	Встречено 4 птицы, одна с цветным кольцом 4 birds were sighted, one with a coloured ring



Рисунок 5. Встреча рябчика 03.02.2019 в дендропарке Новосибирского Академгородка. Фото Фредрика фон Эйлера
Figure 5. Grouse encountered in Novosibirsk Akademgorodok dendrological park, 03.02.2019. Photo by Fredrik von Euler

ВЫВОДЫ

1. Вольерные рябчики и глухари после выпуска из вольер адаптируются к питанию естественными кормами и успешно переносят наиболее «узкий» – зимний период годового цикла жизни.
2. Основные травмы и гибель птиц произошли в местах прогулок людей с домашними животными и у жилых и промышленных построек.
3. Подбирая оптимальные места обитания для рябчиков и глухарей, следует избегать близости населенных пунктов, промышленных предприятий и территорий с большой рекреационной нагрузкой.
4. При выпуске половозрелых птиц и молодых в возрасте 3–4 месяца целесообразно использовать адаптационные вольеры, а для выпуска самок с выводками адаптационные клетки.
5. Самки глухаря на следующий год после выпуска могут размножаться.
6. Птенцы глухаря 2–5 дневного возраста в сопровождении вольерной самки после выпуска в природу могут выживать в природе до периода распада выводка. Возможно, что использования этого приема выпусков глухаря может оказаться более результативным для последующего формирования оседлой популяции этого вида, так как снижается влияние запечатления территории питомника и его окружения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Мы выражаем благодарность всем, кто в той или иной мере обеспечил обратную связь с выпущенными нами птицами. Особую благодарность выражаем сотрудникам Экспериментального хозяйства Новосибирского зоопарка, постоянным участникам наших экспедиций: Ченскому В.И., Трусову А.П., Дрыгину А.Ф., Ниязбекову Б.И., Васильеву Д.В., Тверитневу В.В. и многочисленной бригаде сотрудников, которые получают и выращивают исходное поголовье тетеревиных для выпусков в природу.
2. Мы благодарим энтузиастов бёрдвотчеров Фредрика фон Эйлера и Дмитрия Штоля, любезно предоставивших фото наших птиц, обнаруженных после их выпуска в природу.
3. Исследование выполнено в рамках государственного задания (проект № FWGS-2021-0002).

ACKNOWLEDGMENT

1. We would like to thank everyone who has provided any feedback on the birds we have released. We would like to express our special gratitude to the staff and the permanent members of our expeditions from the Experimental Farm of the Novosibirsk Zoo: V.I. Chensky, A.P. Trusov, A.F. Drygin, B.I. Niyazbekov, D.V. Vasiliev, V.V. Tveritnev and the numerous team of staff members who received and raised the initial population of grouse for release into nature.
2. We would like to thank the birdwatcher enthusiasts, Fredrik von Euler and Dmitry Shtolle, who have kindly provided photos of our birds encountered after their release into nature.
3. The study was supported by The Federal Fundamental Scientific Research Programme for 2021-2025 (Project No. FWGS-2021-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин А.Г., Бородин А.И., Шилина А.П. Выпуск сапсана в Москве в 2017 году в рамках плана мероприятий Года

- экологии в России // Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды за 2019. М.: ВНИИ Экология, 2019. С. 399–409.
2. Шилина А.П., Сорокин А.Г., Маркин Ю.М., Ермаков А.М. Реинтродукция стерха: прошлое, настоящее, будущее // Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды за 2019. М.: ВНИИ Экология, 2019. С. 410–440.
3. Ильяшенко В.Ю. О рисках реинтродукции стерха (*Leucogeranus leucogeranus* Pallas 1773, Gruidae, GRUIFORMES) // Зоологический журнал. 2023. Т. 102. N 2. С. 195–200. <https://doi.org/10.31857/S0044513423020071>
4. Marshall K., Edwards-Jones G. Reintroducing capercaillie (*Tetrao urogallus*) into southern Scotland: identification of minimum viable populations at potential release sites // Biodiversity and Conservation. 1998. N 7. P. 275–296.
5. Павлющик Т., Тумель С., Тарайковский Д. Восстановление популяции глухарей в Налибокском заказнике // Наука и инновации. 2022. N 4. С. 32–35.
6. Кирпичев А.С., Николаев В.И. Российский опыт разведения обыкновенного глухаря (*Tetrao urogallus* L.): история, современное состояние и результаты развития методов свободного выращивания // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. Т. 66. N 2. С. 62–71.
7. Paradis E., Baillie S.R., Sutherland W.J., Gregory R.D. Patterns of natal and breeding dispersal in birds // J. Anim. Ecol. 1998. V. 67. P. 518–536.
8. Sutherland G.D., Harestad A.S., Price K., Lertzman K.P. Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals // Conservation Ecology. 2000. V. 4. N 1. URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art16/> (дата обращения 01.02.2025)
9. Caizergues A., Ellison L. Natal dispersal and its consequences in black grouse // Ibis. 2002. N 144. P. 478–487. <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2002.00040.x>
10. Moss R., Picozzi N. Natal dispersal of capercaillie *Tetrao urogallus* in northeast Scotland // Wildlife Biology. 2006. V. 12. N 2. P. 227–232. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2006\)12\[227:NDOCTU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2006)12[227:NDOCTU]2.0.CO;2)
11. Соколов Л.В. Территориальное поведение молодых птиц, запечатление территории // Методы изучения миграций птиц. М., 1977. С. 161–175.
12. McCabe B. Visual Imprinting in Birds: Behavior, Models, and Neural Mechanisms // Frontiers in Physiology. 2019. N 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00658>
13. Smal R.J., Rusch D.H. The Natal Dispersal of Ruffed Grouse // The Auk. 1989. V. 106. N 1. P. 72–79.

REFERENCES

1. Sorokin A.G., Borodin A.I., Shilina A.P. Vypusk sapsana v Moskve v 2017 godu v ramkakh plana meropriyatii Goda ekologii v Rossii [Peregrine Falcon release in Moscow in 2017 as part of the action plan for the Year of Ecology in Russia]. In: *Sbornik trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta okhrany okruzhayushchei sredy za 2019* [Collection of studies of the All-Russian Research Institute of Environmental Protection for 2019]. Moscow, VNIIE Ecology Publ., 2019, pp. 399–409. (In Russian)
2. Shilina A.P., Sorokin A.G., Markin Yu.M., Ermakov A.M. Reintroduktsiya sterkha: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Reintroduction of the Siberian Crane: past, present, future]. In: *Sbornik trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta okhrany okruzhayushchei sredy za 2019* [Collection of studies of the All-Russian Research Institute of Environmental Protection for 2019]. Moscow, VNIIE Ecology Publ., 2019, pp. 410–440. (In Russian)
3. Ilyashenko V.Y. On the risks of Siberian Crane (*Leucogeranus leucogeranus* Pallas 1773, Gruidae, GRUIFORMES). *Zoologicheskij zhurnal*, 2023, vol. 102, no. 2, pp. 195–200. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0044513423020071>

4. Marshall K., Edwards-Jones G. Reintroducing capercaillie (*Tetrao urogallus*) into southern Scotland: identification of minimum viable populations at potential release sites. *Biodiversity and Conservation*, 1998, no. 7, pp. 275–296.
5. Pavlyushchik T., Tumel S., Taraikovsky D. Restoration of the capercaillie population in the Naliboki reserve. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovations]. 2022, no. 4, pp. 32–35. (In Russian)
6. Kirpichev A.S., Nikolaev V.I. Russian breeding experience of the Western capercaillie: history, current status and results of the development of free raising methods. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya* [Vestnik of Tver State University. Series: Biology and Ecology]. 2022, vol. 66, no. 2, pp. 62–71. (In Russian)
7. Paradis E., Baillie S. R., Sutherland W. J., Gregory R. D. Patterns of natal and breeding dispersal in birds. *J. Anim. Ecol.* 1998, vol. 67, pp. 518–536.
8. Sutherland G. D., Harestad A.S., Price K., Lertzman K.P. Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals. *Conservation Ecology*, 2000, vol. 4, no. 1. Available at: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art16/> (accessed 01.02.2025)
9. Caizergues A., Ellison L. Natal dispersal and its consequences in black grouse. *Ibis*, 2002, no. 144, pp. 478–487. <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2002.00040.x>
10. Moss R., Picozzi N. Natal dispersal of capercaillie *Tetrao urogallus* in northeast Scotland. *Wildlife Biology*, 2006, vol. 12, no. 2, pp. 227–232. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2006\)12\[227:NDOCTU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2006)12[227:NDOCTU]2.0.CO;2)
11. Sokolov L.V. *Territorial'noe povedenie molodykh ptits, zapechatlenie territorii* [Territorial behavior of young birds, imprinting of territory. Methods of studying bird migrations]. In: *Metody izucheniya migratsii ptits* [Methods for studying bird migrations]. Moscow, 1977, pp. 161–175. (In Russian)
12. McCabe B. Visual Imprinting in Birds: Behavior, Models, and Neural Mechanisms. *Frontiers in Physiology*, 2019, no. 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00658>
13. Smal R.J., Rusch D.H. The Natal Dispersal of Ruffed Grouse. *The Auk*. 1989, vol. 106, no. 1, pp. 72–79.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир А. Шило был организатором и координатором всех работ, связанных с разведением, подготовкой и выпуском птиц в природу. Светлана Н. Климова руководила разведением вольерных птиц и подготовкой их к выпуску. Владимир А. Юдкин и Иван Г. Фролов занимались подбором мест для выпуска и организацией наблюдений за птицами. Все авторы, в той или иной степени, занимались наблюдением за выпущенными птицами и сбором информации от населения. Иван Г. Фролов преимущественно осуществлял поиск птиц, помеченных радиопередатчиком и наблюдение за ними. 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

Vladimir A. Shilo was the organizer and coordinator of all works related to breeding, preparation and release of birds into the wild. Svetlana N. Klimova was in charge of breeding aviary birds and preparing them for release. Vladimir A. Yudkin and Ivan G. Frolov were in charge of selecting release sites and organising bird observations. All authors, to varying degrees, were involved in observing released birds and collecting information from the population. Ivan G. Frolov was mainly responsible for searching for and observing birds marked by radio transmitter. 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

Владимир А. Шило / Vladimir A. Shilo <https://orcid.org/0009-0004-1633-7617>

Владимир А. Юдкин / Vladimir A. Yudkin <https://orcid.org/0000-0002-9059-875X>

Иван Г. Фролов / Ivan G. Frolov <https://orcid.org/0000-0002-7907-9166>

Светлана Н. Климова / Svetlana N. Klimova <https://orcid.org/0009-0004-3382-8848>

Оригинальная статья / Original article

УДК 598.293.1:591.555

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-6



Результаты многолетнего мониторинга численности ворона (*Corvus corax* L., 1758) в лесопарках Москвы и Подмосковья

Юрий И. Мануков, Дарья П. Протасова, Егор М. Щелканов

Государственный университет просвещения, Москва, Россия

Контактное лицо

Егор М. Щелканов, студент, кафедра общей биологии и биоэкологии, факультет естественных наук, Государственный университет просвещения; 105005 Россия, г. Москва, ул. Радио, 10А/2.
Тел. +79243215162

Email egorshchelkanov@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>**Формат цитирования**

Мануков Ю.И., Протасова Д.П., Щелканов Е.М. Результаты многолетнего мониторинга численности ворона (*Corvus corax* L., 1758) в лесопарках Москвы и Подмосковья // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 80-87. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-6

Получена 27 января 2025 г.

Прошла рецензирование 9 апреля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель – определение численности и плотности популяций ворона (*Corvus corax*) на территории Москвы и Московской области по результатам мониторинга в период 2006–2024 гг.

Использовалась методика маршрутного учета без ограничения полосы обнаружения с расчетом плотности популяции по средним дальностям выявления птиц. Статус видов определяли на основе бальных оценок плотности популяции (особей на км²) по шкале А.П. Кузякина. Учетные маршруты прокладывались по территории лесопарковой зоны в Истринском районе Московской области, в Ульяновском, Валуевском лесопарках г. Москвы, Мытищинском лесопарке национального парка «Лосиный остров» г.о. Мытищи, Лосиноостровском лесопарке национального парка «Лосиный остров» г. Москвы и в Пироговском лесопарке г.о. Мытищи в период 2006–2024 гг.

В Ульяновском и Валуевском лесопарках ворон относился к категории редких и очень редких видов, соответственно, с самого начала мониторинга и постепенно перестал встречаться, что может объясняться повышением интенсивности антропогенных процессов после вхождения данной территории в состав Новой Москвы в 2012 г. В Лосиноостровском и Мытищинском лесопарках ворон сначала был обычным и редким видом, соответственно, но после 2021 г. его численность резко снизилась. В Пироговском лесопарке ворон являлся обычным видом вплоть до 2018 г., когда через территорию лесопарка стали прокладывать автодорогу, что привело к переходу *C. corax* в категорию редких.

В период исследований отмечено снижение численности популяций ворона на территории Московского региона, что вероятнее всего связано с увеличением антропогенной нагрузки.

Ключевые слова

Ворон, *Corvus corax*, популяция, численность, плотность, встречаемость, мониторинг, Москва, Московская область.

The results of long-term monitoring of the abundance of the raven (*Corvus corax* L., 1758) in the forest parks of Moscow and the Moscow region

Yury I. Manukov, Darya P. Protasova and Egor M. Shchelkanov

Federal State University of Education, Moscow, Russia

Principal contact

Egor M. Shchelkanov, student, Department of General Biology and Bioecology, Faculty of Natural Sciences, Federal State University of Education; 10A/2 Radio St, Moscow, Russia 105005.

Tel. +79243215162

Email egorshchelkanov@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

How to cite this article

Manukov Yu.I., Protasova D.P., Shchelkanov E.M.

The results of long-term monitoring of the abundance of the raven (*Corvus corax* L., 1758) in the forest parks of Moscow and the Moscow region. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):80-87. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-6

Received 27 January 2025

Revised 9 April 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. To determine the number and density of populations of the raven (*Corvus corax*) in Moscow and the Moscow region based on the results of monitoring in the period 2006–2024.

The method of route accounting was used without limiting the detection band with the calculation of population density based on the average detection ranges of birds. The status of the species was determined on the basis of population density estimates (individuals per km²) on the A.P. Kuzyakin scale. Accounting routes were laid through the territory of the forest park area in the Istra district of the Moscow region, in the Ulyanovsk and Valuevsky forest parks of Moscow, the Mytishchinsky forest Park of the Losiny Ostrov National Park of Mytishchi, the Losinoostrovsky Forest Park of the Losiny Ostrov National Park of Moscow and in the Pirogovsky Forest Park of Mytishchi during the period 2006–2024.

In the Ulyanovsk and Valuevsky forest parks, the raven belonged to the category of rare and very rare species, respectively, from the very beginning of monitoring and gradually ceased to occur, which may be explained by an increase in the intensity of anthropogenic processes after the territory became part of New Moscow in 2012. In Losinoostrovsky and Mytishchi forest parks, the raven was initially a common and rare species, respectively, but after 2021, its number decreased sharply. In the Pirogov Forest Park, the raven was a common species until 2018, when a highway began to be built through the territory of the forest park, which led to the transition of *C. corax* to the rare category.

During the research period, there was a decrease in the number of raven populations in the Moscow region, which is most likely due to an increase in anthropogenic pressure.

Key Words

Raven, *Corvus corax*, population, size, density, occurrence, monitoring, Moscow, Moscow region.

ВВЕДЕНИЕ

Среди всех воробьинообразных (Passeriformes) ворон (*Corvus corax* L., 1758) из семейства врановых (Corvidae) обладает самыми крупными размерами тела (размах крыльев до 150 см при весе до 1,5 кг) и наиболее обширным ареалом, охватывающим Северное полушарие за исключением тундры и арктических пустынь [1; 2].

Ворон широко распространен на территории России: от Новороссии и Крыма до побережья Тихого океана, включая Камчатку и южную часть Чукотского нагорья [3–5]. На территории Европейской части России *C. corax* встречается во всех типах местообитаний от субарктических тундр до степной зоны включительно. Общая численность оценивается 2,6 млн. особей при максимальной плотности в лесостепи (2 ос./км²) и минимальном – в южной тайге и широколиственных лесах (0,1 ос./км²) [6].

Считается, что ворон не склонен к синантропизации, однако еще в XVII веке были отмечены многочисленные популяции воронов в Лондоне, где они были типичными мусорщиками. Синантропная популяция воронов существовала в Соловецком монастыре в XVII–XIX вв. В настоящее время вороны продолжают обитать во многих городах мира [7]. Вместе с тем, в антропогенных биоценозах ворон предпочитает избегать прямого контакта с человеком, населяя парки, скверы, лесополосы, перелески, полевые солитеры, боскеты и т.п. Гнездо строят высоко на деревьях, на вершинах опор линий электропередачи, а иногда и на крышах высоток [4; 5; 8].

Масштабная урбанизация Московской области, формирование Новой Москвы и интенсификация городских агломерационных процессов [9] делают этот регион удобной моделью для изучения синантропизации животных. Что касается *C. corax*, то здесь этот вид всегда считался редким: например, по данным учета 1958 г. его плотность в смешанных лесах в окрестностях г. Зеленоград составляла 1,0 пар/км² и 0,4 % выявленной орнитофауны. Более поздние учеты, в 1990, 1998 и 2000 гг., не выявили существенных изменений в численности и обилии этого вида [10]. Аналогичные современные данные в количественном выражении отсутствуют – а в научной литературе встречаются только качественные оценки, свидетельствующие о том, что на территории Московского региона ворон немногочислен и величина его популяции постепенно снижается [6; 8; 11].

Целью исследований было описание численности и плотности популяций *C. corax* на территории Москвы и Московской области по результатам мониторинга в период 2006–2024 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка численного состава популяций ворона осуществлялась в период 2006–2024 гг. на территории лесопарковой зоны в Истринском районе Московской области, в Ульяновском и Валуевском лесопарках Новой Москвы, Мытищинском лесопарке национального парка «Лосиный остров» г.о. Мытищи, Лосиноостровском лесопарке национального парка «Лосиный остров» г. Москвы, в Пироговском лесопарке

г.о. Мытищи Московской области.

В процессе исследования применялась методика маршрутного учета без ограничения полосы обнаружения с расчетом плотности популяции по средним дальностям выявления птиц. Маршруты прокладывались таким образом, чтобы они включали в себя все наиболее характерные биотопы примерно в тех же пропорциях, в которых эти биотопы представлены на местности [12; 13].

Определения статуса видов птиц осуществляли на основе балльных оценок плотности популяции (особей на км²) по шкале, предложенной А.П. Кузякиным [14]. В зависимости от выявленной численности птиц подразделяли на 6 категорий: чрезвычайно редкие – менее 0,001 ос./км²; очень редкие – 0,001–0,100 ос./км²; редкие – 0,1–1,0 ос./км²; обычные – 1–10, многочисленные – 10–100; весьма многочисленные – 100 и более [14].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За время исследований было учтено 162 экземпляра ворона и пройдено более 870 км учетных маршрутов.

В 2006–2011 гг. ворон на территории Ульяновского лесопарка относился к категории редких видов, а плотность популяции постепенно снизилась в 0,84 ос./км² до 0,23 ос./км² (табл. 1). С 2016 г. в данной лесопарковой зоне в летние периоды *C. corax* не регистрировался, что может объясняться повышением интенсивности антропогенных процессов после вхождения данной территории в состав Новой Москвы в 2012 г.: заметно ускорилась трансформация и фрагментация ландшафта из-за прокладки автодорог с развязками, вырубки деревьев, массовой многоэтажной и коммерческой застройки примыкающих к лесу территорий и увеличении рекреационной нагрузки на лесной массив [15; 16]. По-видимому, именно изменение условий обитания, вызванное интенсивной урбанизацией, стало ключевым фактором снижения численности и последующего исчезновения популяции ворона в Ульяновском лесопарке.

На территории Валуевского лесопарка Новой Москвы ворон относится к категории очень редкого вида: в 2016, 2018, 2019 и 2023 гг. регистрировались по 1 особи, а плотность стабильно составляла 0,08 ос./км² при встречаемости 0,08 ос./10 км [17; 18]. В 2024 г. *C. corax* в учетах отсутствовал (табл. 1) – вероятно, по тем же причинам, что обсуждались в отношении Ульяновского лесопарка.

Учетные работы в окрестностях д. Ламишино (Истринский район Московской области) в 2014 г. позволили установить, что ворон здесь тоже был очень редким видом и встречался в количестве 1 особи; плотность популяции составила 0,016 ос./км² при встречаемости 0,016 ос./10 км.

Регулярные учеты численности птиц на территории национального парка «Лосиный остров» (в Мытищинском и Лосиноостровском лесопарках), и в Пироговском лесопарке г.о. Мытищи проводились, начиная с 2019 г. На указанных территориях в 2020–2021 гг. проводился ежемесячный мониторинг с целью изучения сезонных изменений численности орнитофауны, в том числе – ворона.

Таблица 1. Численность ворона (*Corvus corax*) в Ульяновском и Валуевском лесопарках Новой Москвы (2006–2024 гг.)
Table 1. Number of ravens (*Corvus corax*) in the Ulyanovsk and Valuevsky forest parks of New Moscow (2006–2024)

Год Year	Валуевский лесопарк Valuevsky forest park			Ульяновский лесопарк Ulyanovsk forest park		
	количество, особей number, individuals	плотность, особей/км ² density, individuals/km ²	встречаемость, пар/10 км occurrence, pairs/10 km	количество, особей number, individuals	плотность, особей/км ² density, individuals/km ²	встречаемость, пар/10 км occurrence, pairs/10 km
2006	nd	nd	nd	7	0,84	2,84
2010	nd	nd	nd	6	0,44	1,05
2011	nd	nd	nd	10	0,23	0,45
2016	1	0,08	0,08	0	0	0
2018	1	0,08	0,08	0	0	0
2019	1	0,08	0,08	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0
2023	1	0,08	0,08	nd	nd	nd
2024	0	0	0	nd	nd	nd

Примечание: «nd» означает, что учеты не проводились

Note: «nd» means that no accounting was carried out

Мытищинский лесопарк национального парка «Лосиный остров» относится к особо охраняемой природной территории. Здесь ворон был редким видом (средняя плотность населения 0,51 особей/км² в мае–июне 2019 г.). В период исследований 2020–2022 гг. ворон имел статус обычного вида [17]. Частота встреч с вороном в Мытищинском лесопарке была относительно стабильной – от 1 до 7 особей за

учет. Средняя плотность популяции ворона в 2020 г. была 1,4 ос./км², а в 2021 г. средняя плотность составила 1,69 ос./км². В последующий учетный период в Мытищинском лесопарке ворон стал редким видом: средняя плотность популяции снизилась до 0,69 ос./км² в 2022 г.; 0,11 ос./км² в 2023 г.; 0,5 ос./км² в 2024 г. (рис. 1).

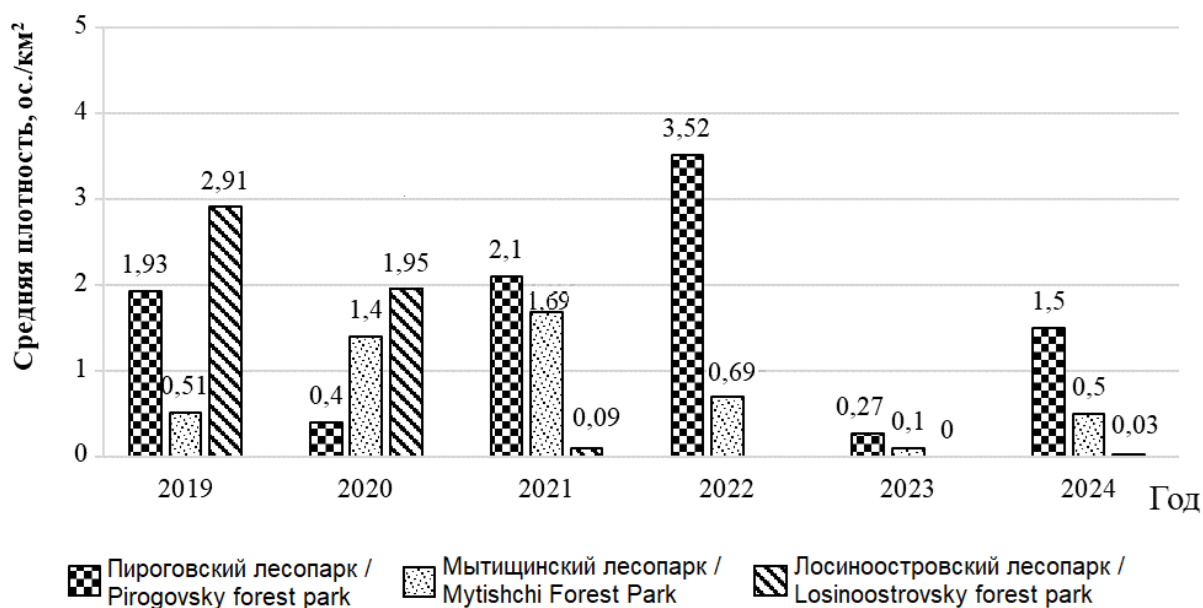


Рисунок 1. Средняя плотность популяции ворона (*Corvus corax*) в смешанных лесах национального парка «Лосиный остров» и Пироговского лесопарке (2019–2024 гг.)

Figure 1. The average population density of the raven (*Corvus corax*) in the mixed forests of the Losiny Ostrov National Park and the Pirogovsky Forest Park (2019–2024)

Лосиноостровский лесопарк национального парка «Лосиный остров» относится к рекреационной зоне. На территории этого лесопарка ворон был обычным видом с плотностью населения 2,91 ос./км² (май–июнь 2019 г.). Учеты 2020 г. (сентябрь–декабрь) также фиксировали ворона в статусе обычного вида. Средняя плотность населения составила 1,95 ос./км². Максимальная плотность в 7,69 ос./км² отмечалась в

ноябре. В октябре и декабре ворон в учетах отсутствовал, а в сентябре его плотность составила всего 0,11 ос./км². С 2021 г. ворон перешел в категорию редких видов. Так, в 2021 г. средняя плотность населения ворона резко упала до 0,09 ос./км². В 2023 г. ворон в учетах отсутствовал, а в 2024 г. его численность составила 0,03 ос./км² (табл. 2).

В лесопарковых зонах Лосиного острова

наибольшее число встреч с вороном, а следовательно, и максимальная численность, до 2022 г. приходились на осенне-зимний период: ноябрь–январь. Так, в феврале 2021 г. в Мытищинском лесопарке плотность населения составила 3,2 ос./км², а в ноябре 2020 г. на территории Лосиноостровского лесопарка 7,69 ос./км² (рис. 2).

В Пироговском лесопарке ворон наблюдался регулярно в течение всего периода учетов. Число наблюдаемых особей в течение учетов составляло от 1 до 7, в среднем 2,74 особи (табл. 2). Средне значение плотности популяции составило около 1,40 ос./км²: от минимального среднего значения 0,25 ос./км² в 2023 г. до максимальной численности в 3,52 особей/км² в 2022 г. В целом статус ворона на территории Пироговского лесопарка можно было характеризовать как обычный вид. Начавшаяся в 2018 г. прокладка автодороги Виноградово-Болтино-Тарасовка (т.н. «Мытищинская хорда») через Пироговский лес с масштабной вырубкой древостоя и фрагментацией

лесного массива на несколько изолированных территорий, привела к снижению численности черного ворона до 0,4 особей/км² в 2020 г., что стало характеризовать его статус как редкий. Тем не менее, наблюдаемая нами пара особей в 2020 г. не покинула место своего гнездования даже тогда, когда ель с гнездом оказалась на краю лесного массива, граничащего со строящейся дорогой, и успешно завершила гнездовой сезон. В последующие два года ворон восстановил свою численность в среднем до 2,10 и 3,52 ос./км² в 2021 и 2022 гг., соответственно. Максимальное значение плотности популяции ворона было отмечено в августе 2022 г. (10,44 ос./км²). В последующие годы вновь наметилась тенденция снижения и колебания численности *C. corax* и переход его в статус редких видов. Так, средняя плотность населения ворона за май–ноябрь 2023 г. составила 0,25 ос./км², а в 2024 г. (январь–ноябрь) возросла в 3 раза и составили 0,78 ос./км² (табл. 2, рис. 1).



Рисунок 2. Колебания численности ворона (*Corvus corax*) в лесопарковой зоне Московского региона в осенне-весенний период 2020–2021 гг.

Figure 2. Fluctuations in the number of ravens (*Corvus corax*) in the forest park area of the Moscow region in the autumn-spring period of 2020–2021

Анализ сезонных колебаний численности указывает на то, что максимальное число встреч с вороном и относительно высокие показатели значения численности приходятся на осенне-зимний период в Мытищинском и Лосиноостровском лесопарках. В Пироговском лесопарке максимальная активность ворона приходится на весенне-летний период (табл. 2). В тоже время, в Мытищинском лесопарке, входящего в состав охранной зоны, отмечается стабильность численности в популяции ворона (рис. 2). На территории Пироговского лесопарка в осенне-весенний период ворон встречался нерегулярно, и его численность варьировала от 0,11 до 1,96 ос./км². Нерегулярное присутствие ворона характерно для Лосиноостровского лесопарка, входящего в состав г. Москвы: здесь численность ворона была низкой и колебалась от 0,09 до 0,28 ос./км². Исключением был ноябрь 2020 г., когда было зарегистрировано почти 7,7 ос./км².

Максимальные значения численности ворона на территории Московского региона были зарегистрированы в 2020–2022 гг.

Как правило, ворон избегает открытого контакта с человеком, однако с 2022 г. в зимние месяцы ворон все чаще стал наблюдаться на территории г.о. Мытищи: в течение всех зимних и весенних месяцев 2022–2024 гг. ворон практически ежедневно фиксировался в количестве 10 особей вдоль береговой линии русла р. Яуза протяженностью 0,72 км. При этом, в примыкающих к городу лесных массивах численность ворона снижалась, а часто он и вовсе отсутствовал в учетах. Подобная тенденция отмечалась на первых этапах синантропизации серой вороны (*Corvus cornix*), когда данный вид в начале 1970-х гг., обитая до этого в лесистой местности, стал посещать населенные пункты исключительно в зимний период, а потом перешел на постоянное присутствие на территории населенных пунктов [7].

Таблица 2. Численность ворона (*Corvus corax*) в Пироговском, Мытищинском и Лосиноостровском лесопарках (2019–2024 гг.)**Table 2.** The number of ravens (*Corvus corax*) in the Pirogovsky, Mytishchinsky and Losino Ostrovsky Forest Parks (2019–2024)

Месяц Month	Пироговский Pirogovsky		Мытищинском Mytishchinsky		Лосиноостровский Losino Ostrovsky	
	Количество, особей Number, individuals	Плотность, особей/км ² Density, individuals/ km ²	Количество, особей Number, individuals	Плотность, особей/км ² Density, individuals/ km ²	Количество, особей Number, individuals	Плотность, особей/км ² Density, individuals/ km ²
2019						
Май / May	nd	nd	1	0,62	nd	nd
Июнь / June	5	3,59	1	0,41	3	2,91
Декабрь / December	3	0,26	nd	nd	nd	nd
2020						
Январь / January	1	0,08	nd	nd	nd	nd
Февраль / February	4	0,5	nd	nd	nd	nd
Март / March	1	1,25	nd	nd	nd	nd
Май / May	3	0,2	nd	nd	nd	nd
Июнь / June	2	0,08	nd	nd	nd	nd
Август / August	1	0,02	nd	nd	nd	nd
Сентябрь / September	3	1,12	5	1,94	1	0,11
Октябрь / October	nd	nd	0	0	0	0
Ноябрь / November	4	0,3	3	1,69	1	7,69
Декабрь / December	1	0,07	2	1,99	0	0
2021						
Январь / January	0	0	2	2,37	0	0
Февраль / February	4	1,96	6	3,2	2	0,28
Март / March	6	1,77	7	1,19	0	0
Апрель / April	3	0,14	0	0	1	0,09
Июнь / June	3	6,66	nd	nd	nd	nd
2022						
Май / May	nd	nd	1	1,27	nd	nd
Июнь / June	1	0,14	6	1,06	nd	nd
Июль / July	0	0	nd	nd	nd	nd
Август / August	7	10,44	0	0	nd	nd
Сентябрь / September	nd	nd	2	0,44	nd	nd
2023						
Май / May	2	0,16	1	0,04	nd	nd
Июнь / June	4	0,65	-	nd	0	0
Июль / July	nd	nd	2	0,17	nd	nd
Август / August	1	0,09	nd	nd	nd	nd
Сентябрь / September	4	0,20	nd	nd	nd	nd
Ноябрь / November	3	0,18	nd	nd	nd	nd
2024						
Январь / January	3	0,23	nd	nd	nd	nd
Февраль / February	3	0,21	nd	nd	nd	nd
Март / March	7	4,25	nd	nd	nd	nd
Апрель / April	0	0	nd	nd	nd	nd
Май / May	1	0,03	0	0	1	0,03
Июнь / June	5	0,74	2	1,01	nd	nd
Ноябрь / November	0	0	nd	nd	nd	nd

Примечание: «nd» означает, что учеты не проводились

Note: «nd» means that no accounting was carried out

В январе–феврале 2022 г. во время сильных морозов наблюдалась совместная координированная охота воронов совместно с серыми воронами и сороками (*Pica pica*): птицы располагались поочередно в один ряд цепью на льду замерзшей р. Яуза вдоль зарослей тростника. В это время на предельно низкой высоте над тростником кружила серая ворона или ворон, пытаясь вспугнуть, мелких млекопитающих и выманить их на

открытое пространство. Однако чаще всего повсеместно наблюдается межвидовая конкуренция ворона и серой вороны: неоднократно приходилось наблюдать, как серые вороны в количестве 2–3 особей атакуют ворона.

Начиная с 2019 г. почти ежедневно регистрируются залеты ворона из Пироговского леса на застроенную городскую территорию г.о. Мытищи.

Весной 2023 г. ворон предпринял попытку загнеститься на крыше многоэтажного дома рядом с рекой. Однако, гнездование было пресечено сотрудниками управляющей компании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, 19-тилетний (2006–2024 гг.) период мониторинговых исследований позволил установить, что ворон является редким или немногочисленным видом в смешанных лесах и лесопарковых зонах на окраинах Москвы со средней плотностью населения 0,56 ос./км². На территории Подмоскovie ворон входит в категорию редких или обычных видов: средняя плотность популяций ворона составляет 1,04 ос./км². Усиление антропогенного воздействия приводит к снижению численности популяций ворона на территории Москвы и Подмоскovie: с 2023 г. этот вид перешел здесь в статус редкого. Вместе с тем, имеются признаки синантропизации ворона, что может позволить ему сохраниться в указанном регионе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гладков Н.А., Деметьев Г.П., Птушенко Е.С., Судилова А.М. Определитель птиц СССР. Москва: Высшая школа, 1964. 536 с.
2. Madge S., Burn H. Crows and jays: A guide to the crows, jays and magpies of the World. London, Christopher Helm Publisher, 1994, 216 p.
3. Долбик М.С. Распространение ворона (*Corvus corax*) в России // Русский орнитологический журнал. 2008. Т. 17. N 543. С. 1105–1114.
4. Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: Справочник-определитель. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2008. С. 426.
5. Ковалева В.М., Герасимов Ю.Н., Духова Э.Р. Влияние антропогенной трансформации местообитаний на численность птиц хвойных лесов Камчатки // Орнитология. 2023. Т. 47. С. 42–47.
https://doi.org/10.56658/04747313_2023_47_42
6. Равкин Е.С. Численность и распределение врановых Европейской части России // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Экология врановых птиц в естественных и антропогенных ландшафтах Северной Евразии», Казань, 25–27 апреля, 2017. С. 177.
7. Константинов В.М. Особенности синантропизации и урбанизации врановых птиц // Русский орнитологический журнал. 2015. Т. 24. N 1177. С. 2892–2901.
8. Вишневский В.А. Птицы Москвы и Подмоскovie: Полный определитель. Москва: Фитон XXI, 2022. 222 с.
9. Катонин С.А. Московская агломерация: история, современность, перспективы развития // Russian Journal of Management. 2023. Т. 11. N 1. С. 73–81.
<https://doi.org/10.29039/2409-6024-2023-11-1-73-81>
10. Мануков Ю.И. Оценка изменений орнитоценоза смешанного леса северо-западного Подмоскovie за 57 лет // Вестник Московского государственного областного университета. 2011. N 4. С. 1–10.
11. Родимцев А.С. Наблюдения за экологией ворона *Corvus corax* в Кузьминском парке Москвы // Русский орнитологический журнал. 2006. Т. 15. N 332. С. 921–924.
12. Равкин Ю.С., Гуреев С.П., Покровская И.В., Фомин Б.Н., Вартапетов Л.Г., Бурский О.В., Вахрушев А.А., Преображенская Е.С., Малков Н.П., Равкин Е.С., Козлов Н.А., Торопов К.В., Блинов В.Н., Юдкин В.А., Жуков В.С., Стариков В.П., Богомолова И.Н., Родькина В.И. Пространственно-временная динамика животного

населения (птицы и мелкие млекопитающие).

Новосибирск: Наука, 1985. 207 с.

13. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. Москва: Изд-во Минстройматериалов СССР, 1990. 33 с.
14. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Ученые записки Московского областного педагогического института имени Н.К. Крупской. 1962. Т. 109. С. 3–182.
15. Мануков Ю.И., Макарова М.А. Состояние орнитофауны смешанного леса на территории Новой Москвы // Материалы V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологической и химической экологии», Москва, 21–23 ноября, 2016. С. 172.
16. Макарова М.А., Мануков Ю.И. Оценка состояния орнитофауны смешанных лесов на территории Новой Москвы // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологической и химической экологии», Мытищи, 26–28 февраля, 2019. С. 174.
17. Мануков Ю.И. Особенности структуры орнитофауны на особо охраняемых и рекреационных территориях национального парка «Лосинный остров» // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология и здоровье человека», Москва, 27–28 февраля, 2021. С. 87–100.
18. Мапенго К.Ж.Р.О. Орнитофауна смешанного леса Валуевского лесопарка в условиях организации рекреационной зоны парк «Валуевский лесопарк» // Материалы V Международной научно-практической конференции «Современные региональные проблемы географии и экологии», Мытищи, 22 декабря, 2022. С. 88–97.

REFERENCES

1. Gladkov N.A., Dementiev G.P., Ptushenko E.S., Sudilovskaya A.M. *Opredelitel' ptits SSSR* [Guide to birds of the USSR]. Moscow, 1964, 536 p. (In Russian)
2. Madge S., Burn H. Crows and jays: A guide to the crows, jays and magpies of the World. London, Christopher Helm Publisher, 1994, 216 p.
3. Dolbik M.S. Distribution of the Raven (*Corvus corax*) in Russia. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian Ornithological Journal]. 2008, vol. 17, no. 543, pp. 1105–1114. (In Russian)
4. Ryabitsev V.K. *Ptitsy Urala, Priural'ya i Zapadnoi Sibiri: Spravochnik-opredelitel'* [Birds of the Ural, Urals and Western Siberia: The Guide]. Ekaterinburg, Ural University Press, 2008, 426 p. (In Russian)
5. Kovaleva V.M., Gerasimov Yu.N., Dukhova E.R. The influence of anthropogenic habitat transformation on the abundance of birds in coniferous forests of Kamchatka. *Ornithology*, 2023, vol. 47, pp. 42–47. (In Russian)
https://doi.org/10.56658/04747313_2023_47_42
6. Ravkin E.S. Chislennost' i raspredelenie vranovykh Evropeiskoi chasti Rossii [The Number and Distribution of Vranos in the European Part of Russia]. *Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Ehkologiya vranovykh ptits v estestvennykh i antropogennykh landshaftakh Severnoi Evrazii», Kazan', 25–27 aprelya, 2017* [Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference with International Participation "Ecology of Raven birds in Natural and Anthropogenic Landscapes of Northern Eurasia", Kazan, 25–27 April, 2017]. Kazan, 2017, p. 177. (In Russian)
7. Konstantinov V.M. Features of Synanthropization and Urbanization in Corvids. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian Ornithological Journal]. 2015, vol. 24, no. 1177, pp. 2892–2901. (In Russian)
8. Vishnevsky V.A. *Ptitsy Moskvy i Podmoskov'ya: Polnyi opredelitel'* [Birds of Moscow and the Moscow region: A complete guide]. Moscow, Fiton XXI Publ., 2022, 222 p. (In

Russian)

9. Katonin S.A. Moscow agglomeration: history, modernity, development prospects. *Russian Journal of Management*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 73–81. (In Russian)
<https://doi.org/10.29039/2409-6024-2023-11-1-73-81>
10. Manukov Yu.I. Assessment of Changes in the Ornithocenosis of the Mixed Forest of the North-Western Moscow Region over 57 Years. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta* [Bulletin of the Moscow State Regional University]. 2011, no. 4, pp. 1–10. (In Russian)
11. Rodimtsev A.S. Observations of the Ecology of the Corvus corax Raven in Kuzminsky Park in Moscow. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian Ornithological Journal]. 2006, vol. 15, no. 332, pp. 2892–2901. (In Russian)
12. Ravkin Yu.S., Gureev S.P., Pokrovskaya I.V., Fomin B.N., Vartapetov L.G., Bursky O.V., Vakhrushev A.A., Preobrazhenskaya E.S., Malkov N.P., Ravkin E.S., Kozlov N.A., Toropov K.V., Blinov V.N., Yudkin V.A., Zhukov V.S., Starikov V.P., Bogomolova I.N., Rodkina V.I. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika zhivotnogo naseleniya (ptitsy i melkie mlekopitayushchie)* [Spatial and temporal dynamics of the animal population (birds and small mammals)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985, 207 p. (In Russian)
13. Ravkin E.S., Chelintsev N.G. *Metodicheskie rekomendatsii po kompleksnomu marshrutnomu uchetu ptits* [Methodological recommendations on integrated route accounting of birds]. Moscow, USSR Ministry of Building Materials Publ., 1990, 33 p. (In Russian)
14. Kuzyakin A.P. Zoogeography of the USSR. In: *Uchenye zapiski Moskovskogo oblastnogo pedagogicheskogo instituta imeni N.K. Krupskoi* [Scientific Notes of the Moscow Regional Pedagogical Institute named after N.K. Krupskaya]. 1962, vol. 109, pp. 3–182. (In Russian)
15. Manukov Yu.I., Makarova M.A. Sostoyanie ornitofauny smeshannogo lesa na territorii Novoi Moskvy [The state of the avifauna of the mixed forest in the territory of New Moscow]. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi*

- konferentsii «Aktual'nye problemy biologicheskoi i khimicheskoi ehkologii»*, Moskva, 21–23 noyabrya, 2016 [Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Actual problems of biological and chemical ecology", Moscow, November 21–23, 2016]. Moscow, 2016, p. 172. (In Russian)
16. Makarova M.A., Manukov Yu.I. Otsenka sostoyaniya ornitofauny smeshannykh lesov na territorii Novoi Moskvy [Assessment of the state of avifauna of mixed forests in the territory of New Moscow]. *Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy biologicheskoi i khimicheskoi ehkologii»*, Mytishchi, 26–28 fevralya, 2019 [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Actual problems of biological and chemical ecology", Mytishchi, February 26–28, 2019]. Mytishchi, 2019, p. 174. (In Russian)
17. Manukov Yu.I. Osobennosti struktury ornitofauny na osobo okhranyaemykh i rekreatsionnykh territoriyakh natsional'nogo parka «Losinyi ostrov» [Features of the avifauna structure in specially protected and recreational areas of the Losiny Ostrov National Park]. *Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Ehkologiya i zdorov'e cheloveka»*, Moskva, 27–28 fevralya, 2021 [Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Ecology and Human Health", Moscow, February 27–28, 2021]. Moscow, 2021, pp. 87–100. (In Russian)
18. Mapengo K.J.R.O. Ornitofauna smeshannogo lesa Valuevskogo lesoparka v usloviyakh organizatsii rekreatsionnoi zony park «Valuevskii lesopark» [Avifauna of the mixed forest of Valuevsky Forest Park in the conditions of the organization of the recreational zone Valuevsky Forest Park]. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye regional'nye problemy geografii i ehkologii»*, Mytishchi, 22 dekabrya [Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Modern regional problems of geography and ecology", Mytishchi, December 22, 2022]. Mytishchi, 2022, pp. 88–97.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий И. Мануков проводил мониторинговые исследования и учёт численности птиц.
Юрий И. Мануков, Дарья П. Протасова осуществляли статистические расчёты. Юрий И. Мануков, Дарья П. Протасова, Егор М. Щелканов проанализировали данные, написали рукопись.
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yury I. Manukov conducted monitoring studies and calculation of bird numbers. Yury I. Manukov and Darya P. Protasova carried out statistical calculations. Yury I. Manukov, Darya P. Protasova and Egor M. Shchelkanov analysed the data and wrote the manuscript. 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

Юрий И. Мануков / Yury I. Manukov <http://orcid.org/0000-0002-4537-4036>
Дарья П. Протасова / Darya P. Protasova <http://orcid.org/0009-0002-2976-5704>
Егор М. Щелканов / Egor M. Shchelkanov <http://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

Оригинальная статья / Original article
УДК 559+569(477.75)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-7



Новые сведения по хироптерофауне Восточного Крыма

Александр Н. Иваницкий¹, Алексей А. Маслов^{2,3}

¹Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия, Россия

²НИИ вирусологии, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

³Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Александр Н. Иваницкий, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»; 298188 Россия, Республика Крым, г. Феодосия, пгт Курортное, ул. Науки, 24.
Тел. +73656226287
Email nathusii@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6111-5237>

Формат цитирования

Иваницкий А.Н., Маслов А.А. Новые сведения по хироптерофауне Восточного Крыма // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 88-95. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-7

Получена 25 декабря 2024 г.
Прошла рецензирование 14 февраля 2025 г.
Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: изучение современного состояния населения рукокрылых Восточного Крыма, особенностей распространения, встречаемости и относительной численности летучих мышей в регионе, мониторинг известных колоний в подземельях Керченского полуострова.

Представлены результаты оригинальных хироптерологических исследований 2023–2024 гг. в Восточном Крыму. Из более чем в двух десятках пунктов региона получены новые данные по 14 видам рукокрылых. Проводился учёт рукокрылых в убежищах, прежде всего в каменоломнях Керченского полуострова, поиск убежищ рукокрылых в постройках человека, а также отлов животных паутиными сетями. Наши исследования показывают, что ранее считавшиеся редкими в горной части Восточного Крыма *Nyctalus leisleri* и *Plecotus auritus* – здесь обычные и широко распространённые виды. Существенно расширены представления о распространении в регионе практически для всех 14 видов.

Приведённые данные могут быть использованы как для фундаментальных исследований, так и для решения практических задач, в первую очередь при организации и реализации природоохранных мероприятий.

Ключевые слова

Хироптерофауна, рукокрылые, Восточный Крым, находки, распространение, встречаемость, относительная численность, восточная часть Горного Крыма, Керченский полуостров, каменоломни.

New information on the chiropterofauna of Eastern Crimea

Alexander N. Ivanitzky¹ and Alexey A. Maslov^{2,3}

¹T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station-Nature Reserve, Russian Academy of Sciences, A Branch of the Federal Research Centre, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences», Feodosiya, Russia

²Research Institute of Virology, Federal Centre of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³Institute of Animal Taxonomy and Ecology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Alexander N. Ivanitzky, Candidate of Biological Sciences, Researcher, T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station-Nature Reserve, Russian Academy of Sciences: Branch of the Federal Research Centre, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences; 24 Nauki St, Kurortnoe, Feodosiya, Republic of Crimea, Russia 298188.

Tel. +73656226287

Email nathusii@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6111-5237>

How to cite this article

Ivanitzky A.N., Maslov A.A. New information on the chiropterofauna of Eastern Crimea. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):88-95. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-7

Received 25 December 2024

Revised 14 February 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. Study of the current state of the bat population of Eastern Crimea, features of distribution, occurrence and relative abundance of bats in the region, and monitoring of known colonies in underground cavities of the Kerch Peninsula.

The results of original chiropterological studies in 2023–2024 in Eastern Crimea are presented. New data on 14 bat species were obtained from more than two dozen points in the region. A bat census was conducted in the shelters, primarily in the quarries of the Kerch Peninsula. A search for bat shelters in human buildings was also carried out. Animals were captured with mist nets. Our studies show that *Nyctalus leisleri* and *Plecotus auritus*, previously considered rare in the mountainous part of Eastern Crimea, are a common and widespread species here. The understanding of the distribution in the region has been significantly expanded for almost all 14 species.

The data presented can be used both for fundamental research and for solving practical problems, primarily in the organisation and implementation of environmental measures.

Key Words

Chiropterofauna, bats, Eastern Crimea, records, distribution, occurrence, relative abundance, eastern part of the Mountain Crimea, Kerch Peninsula, quarries.

ВВЕДЕНИЕ

Восточный Крым входит в список территорий, относимых к центрам видового разнообразия рукокрылых в России. Здесь зарегистрированы представители 20 видов 3 семейств летучих мышей, 6 из которых включены в федеральную Красную книгу [1–6]. Эти обстоятельства и вызывают большой интерес исследователей к изучению хироптерофауны региона, в частности этому были посвящены наши прежние работы [7–11]. Целью представленной работы было восполнение пробелов в знаниях о распространении, встречаемости и относительной численности рукокры-

лых в Восточном Крыму, в частности проведение учётов вне убежищ и в важнейших убежищах региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены результаты собственных исследований, которые проводились в 2023–2024 гг. в Восточном Крыму, на территории городских округов (г/о) Керчь, Феодосия, Судак, а также Ленинского и Кировского районов. Общая площадь исследуемого региона составляет 5124,31 км², или 20 % от площади Республики Крым.

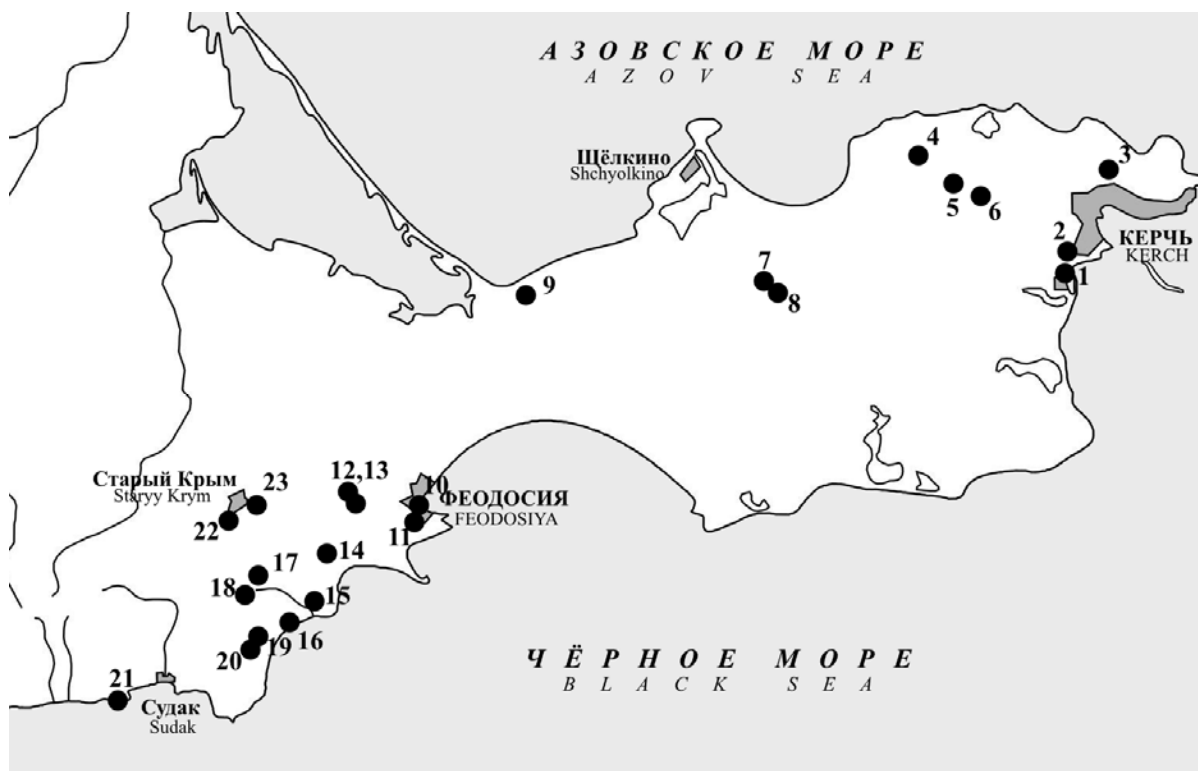


Рисунок 1. Места находок рукокрылых в Восточном Крыму. Номер пунсона соответствуют номеру локалитета ниже в тексте

Figure 1. Finding localities of bats in Eastern Crimea. Circle numbers correspond to the locality number in the text below

Отлов рукокрылых, а также их учёт в убежищах производились в следующих локалитетах (обозначены цифрами на рис. 1): г/о Керчь: 1 – Старокарантинные кам., 2 – Оливинские кам., Ленинский р-н: 3 – Булганакские кам., окр. с. Бондаренково, 4 – Караларские кам., 5 – Багеровские кам., 6 – Микояновские кам., окр. с. Октябрьское, 7 – Петровские кам., окр. с. Ленинское, 8 – лесопосадка из акации и ивы в с. Ленинское, 9 – Ак-Монайские кам., окр. с. Каменское; г/о Феодосия: 10 – г. Феодосия, 11 – хр. Тепе-Оба, Караимское кладбище, окраина Феодосии, 12 – запруда на р. Байбуга, окр. с. Насыпное, 13 – лесопосадка из хвойных и посадки миндаля и др. плодовых вблизи запруды на р. Байбуга, 14 – подвал многоэтажки, Арматлукская долина, пгт Коктебель, 15 – Карадагский природный заповедник, биостанция, 16 – пгт Курортное, 17 – пруд Петровский став, окр. пгт Щебетовка, 18 – лесные поляны на южных окраинах пгт Щебетовка, 19 – леса из дуба и фисташки у очистных прудов вблизи Лисьей Бухты; г/о Судак: 20 – заброшенное строение у дамбы пруда Три Сестры,

окр. с. Солнечная Долина, 21 – грот Сквозной, окр. пгт Новый Свет; Кировский р-н: 22 – монастырь Сурб-Хач, окр. г. Старый Крым, 23 – Старокрымское водохранилище, окр. г. Старый Крым. В ряде выше упомянутых мест отлов и наблюдения нами проводились неоднократно как в 2023–2024 гг., так и в ходе наших прежних исследований [7–11].

Большинство находок сделано в тёплое время года с исключением периода связанного с рождением и выкармливанием потомства, когда летучие мыши наиболее уязвимы к фактору беспокойства. В дневное время осуществляли поиски рукокрылых в потенциальных для них убежищах – в подземельях, строениях, где животных ловили руками, сачком, либо небольшой паутиной сетью (3х1,5 м), в пунктах 1–7, 9, 16, 20–22. Ночью рукокрылых отлавливали двумя или тремя (в зависимости от вместительности места отлова) паутиными сетями (12х3, 10х3 м), в пунктах 8, 10–20, 23. Ловчие сети растягивали между стойками, в качестве которых использовали парные телескопические удища высотой 6,5 м,

установленные на растяжках. Отловленные летучие мыши, после проведения стандартных прижизненных исследований и фотографирования, выпускались в местах отлова. Репродуктивное состояние (беременность) самок определяли путем пальпации брюшной полости. Опыт участия самок в размножении определяли по состоянию сосков. Для поиска укрытий рукокрылых, а также в местах лова сетями использовался ультразвуковой микрофон Peterson-M500-384 и приложение BatSound Touch Lite. Общее количество отловленных сетями и учтенных в убежищах летучих мышей составило 8555 особей.

ПОЛУЧЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных нами исследований в Восточном Крыму 2023–2024 гг. получены новые данные по 14 видам 2 семейств:

Малый подковонос – *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797). В подвале ДК в пгт Курортное 31.05.2023 – 1 особь (♂), 03.09.2023 – не менее 2 особей (в т.ч. 1 ♀), в камине одного из зданий монастыря Сурб-Хач 06.09.2023 – 4 особи (и останки ещё 1 особи).

Единичные особи этого подковоноса обнаружены в малопосещаемых постройках. В регионе малый подковонос – малочисленный вид, с низкой встречаемостью.

Большой подковонос – *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774). В Ак-Монайских кам. 30.05.2023 и 04.06.2023 – по 1 особи, 25.08.2024 – около 10 особей, 01.09.2024 – 4 особи (в т.ч. 1 ♂), в подвале ДК в пгт Курортное 31.05.2023 – 1 особь (♂), 03.09.2023 – 1 особь (♂), 24.08.2024 (в соседней недостроенной многоэтажке) – 1 особь, в Оливинских кам. 23.08.2023 – около 200 особей (в т.ч. 5 ♂♂ и 1 ♀), в Микояновских кам. 24.08.2023 – 6 особей (в т.ч. 3 ♀♀), на поляне на окраине Щебетовки 29.08.2023 (лов сетями) – 2 особи (♂♂), в Петровских кам. 30.08.2023 – 30 особей (в т.ч. 1 ♂ и 1 ♀), Багеровских кам. 04.09.2023 – 1 особь, 26.08.2024 – около 10 особей, подвал многоэтажки Коктебель 19.09.2023 – 1 особь.

В Восточном Крыму вид характеризуется высокой встречаемостью, причём в подземных полостях Керченского полуострова может образовывать крупные колонии. Единично встречаются в подвалах зданий и подобных им искусственных убежищах в населённых пунктах региона. Также редко попадает на ловлю сетями.

Степная ночница – *Myotis davidii* Peters, 1869. В Петровских кам. 21.08.2024 – 2 особи (♂ и ♀), запруда на р. Байбуга у с. Насыпное 24.08.2024 – 2 особи (♀♀).

На запруде р. Байбуга мы её отлавливали и ранее [9]. Также вид был отмечен в каменоломне [7]. В Восточном Крыму степная ночница широко распространена, хотя и малочисленна, нигде не формирующая крупных скоплений.

Чулийская ночница – *Myotis tchuliensis* Kuzyakin, 1935. На поляне у Кизилташского ручья на окр. Щебетовки 22.08.2024 – 1 особь (♂), 05.09.2024 – 1 особь (♀).

Этот вид, как ночница Наттерера (*Myotis nattereri* (Kuhl, 1817)) sensu lato, нами ранее уже отмечался в

этой местности [9]. Редкий, хотя и широко распространённый, в Горном Крыму вид.

Остроухая ночница – *Myotis blythii* (Tomes, 1857). В Ак-Монайских кам. 30.05.2023 и 04.06.2023 – не менее 2000 особей, 25.08.2024 – около 300 особей (в т.ч. 33 ♂♂ и 15 ♀♀), 01.09.2024 – около 300 особей (в т.ч. 33 ♂♂ и 10 ♀♀), в лесопосадке в с. Ленинское 02.06.2023 – 7 особь (все ♀♀), в Сквозном Гроте у пгт Новый Свет 03.06.2023 – около 300 особей, в Оливинских кам. 23.08.2023 – около 40 особей (в т.ч. 4 ♂♂ и 2 ♀♀), в Багеровских кам. 24.08.2023 – до 3000 особей (в т.ч. 6 ♂♂ и 5 ♀♀), 04.09.2023 (ограниченный осмотр каменоломни) – около 500 особей (в т.ч. 14 ♂♂ и 27 ♀♀), 26.08.2024 – около 600 особей (в т.ч. 22 ♂♂ и 25 ♀♀), 30.08.2024 – около 200 особей, в Караларских кам. 24.08.2023 – до 100 особей, в Микояновских кам. 24.08.2023 – 30 особей (в т.ч. 3 ♂♂ и 5 ♀♀), в Петровских кам. 30.08.2023 – свыше 200 особей (в т.ч. 8 ♂♂ и 11 ♀♀), 05.09.2023 – осмотрены 29 особей (18 ♂♂ и 11 ♀♀), 21.08.2024 – около 300 особей (23 ♂♂ и 23 ♀♀), 23.08.2024 – до 500 особей (в т.ч. 17 ♂♂ и 20 ♀♀), заброшенное строение у пруда Три Сестры у с. Солнечная Долина 03.09.2023 – 2 особи, 08.09.2023 – не менее 3 особей, посадка у запруды на р. Байбуга 03.09.2024 (лов сетями) – 1 особь (♂), у запруды на р. Байбуга 04.09.2024 (лов сетями) – 1 особь (♀).

Остроухая ночница в Восточном Крыму – широко распространённый (от Нового Света до Керчи), многочисленный вид, формирующий в подземельях, в особенности на Керченском полуострове, многотысячные колонии [1]. Вместе с тем, доля вида в отловах сетями невелика.

Рыжая вечерница – *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774). У Старокрымского водохранилища 09.09.2023 – 1 особь (♂).

За описываемый период в Восточном Крыму отловлен лишь один взрослый самец рыжей вечерницы. Встречаемость вида в регионе невысокая, при этом вид нельзя назвать в Восточном Крыму редким, в особенности в горной его части, о чём свидетельствуют недавние находки [9; 11].

Малая вечерница – *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817). На поляне на окраине Щебетовки 29.08.2023 – 1 особь (♀), у Старокрымского водохранилища 20.08.2024 – 2 особи (♂♂), на поляне у Кизилташского ручья на окр. Щебетовки 22.08.2024 – 3 особи (2 ♂♂ и 1 ♀), 05.09.2024 – 5 особей (♀♀), запруда на р. Байбуга у с. Насыпное 24.08.2024 – 1 особь (♀).

Вопреки бытовавшим ранее представлениям о редкости и малочисленности этого вида в описываемом регионе, и вообще в Крыму, отловы сетями как в 2023–2024 гг., так и ранее [9; 11] говорят о малой вечернице в горной части Крыма обычной по численности с высокой встречаемостью.

Нетопырь-карлик – *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774). У пруда Петровский стан в Щебетовке 01.06.2023 – 1 особь (♀).

В 2023–2024 гг. нам попала лишь одна особь нетопыря-карлика. Однако если учитывать и прежние наши находки [7; 9; 11] в восточной части Горного Крыма вид является широко распространённым и обычным.

Тонкоголосый нетопырь – *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825). У Старокрымского водохранилища 06.09.2023 – 6 особей (4♂♂ и 2♀♀), 07.09.2023 – 2 особи (♀♀), 09.09.2023 – 2 особи (2♀♀), заброшенное строение у пруда Три Сестры у с. Солнечная Долина 08.09.2023 – не менее 5 особей (в т.ч. 1♀), 20.08.2024 – 1 особь (♂).

В описываемом регионе этот нетопырь относительно обычен. Довольно высокая доля этого вида в отловах вышеупомянутых двух местах, по-видимому, обусловлена наличием колоний тонкоголосых нетопырей вблизи места лова.

Средиземноморский нетопырь – *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1817). В лесопосадке в с. Ленинское 02.06.2023 – 1 особь (♀), парк в заброшенной базе отдыха пгт Курортное 01.09.2023 – 1 особь (♂), у Старокрымского водохранилища 06.09.2023 – 2 особи (♂♂), 07.09.2023 – 4 особи (1♂ и 3♀♀), 09.09.2023 – 1 особь, 20.08.2024 – 2 особи (в т.ч. 1♂), Феодосия, 05.12.2023 – 1 особь (♀), 13.07.2024 – 1 особь (детёныш), запруда на р. Байбуга у с. Насыпное 24.08.2024 – 3 особи (♂♂), 04.09.2024 – 1 особь (♂).

В Восточном Крыму средиземноморский нетопырь – обычный, широко распространённый вид с высокой встречаемостью.

Лесной нетопырь – *Pipistrellus nathusii* (Keyserling et Blasius, 1839). У Старокрымского водохранилища 06.09.2023 – 1 особь (♂), 09.09.2023 – 3 особи (1♂ и 2♀♀), поляну к Кизилташского ручья на окр. Щебетовка 05.09.2024 – 1 особь (♀), 08.09.2024 – 2 особи (♀♀).

Серия данных находок этого редкого для Восточного Крыма вида представляет особый интерес, так как со времени последних отловов вида в регионе (Карадаг, 1925 г.; пгт Новый Свет, 1960 г.) прошло 65–100 лет [11; 12]. Значительная доля самок в отловах согласуются со старыми находками лесного нетопыря, когда в обоих тех случаях были найдены и детёныши, что также свидетельствует о размножении перелётного вида лесного нетопыря в Восточном Крыму.

Европейская широкоушка – *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774). В лесу у прудов в окр. Лисьей Бухты 31.08.2023 – 1 особь (♀), парк в заброшенной базе отдыха пгт Курортное 01.09.2023 – 1 особь (♂), на поляне у Кизилташского ручья на окр. Щебетовки 22.08.2024 – 3 особи (2♂♂ и ♀).

В горной части Восточного Крыма данный вид широко распространён, хотя и относительно редок. В связи с этим приведённые выше данные, на фоне существовавших ранее скудных сведений, представляются весьма значимыми для характеристики этого охраняемого вида в регионе.

Бурый ушан – *Plecotus auritus* (Linnaeus, 1758). На поляне на окраине Щебетовки 29.08.2023 – 1 особь (♀), на поляне у Кизилташского ручья на окр. Щебетовки 22.08.2024 – 1 особь (♀), 27.08.2024 – 3 особи (♂ и 2♀♀), 05.09.2024 – 2 особи (♂♂), посадка у запруды на р. Байбуга 03.09.2024 – 1 особь (♀), Карадагский заповедник, Биостанция 07.09.2024 – 1 особь, 14.09.2024 – 1 особь (♂).

В горной части Восточного Крыма бурый ушан – обычный вид. Об этом свидетельствуют представленные здесь результаты отловов, а также наши предыдущие сообщения [9; 11]. Наши исследования

существенно меняют бытовавшие ранее представления о распространении, численности и встречаемости вида в Восточном Крыму.

Серый ушан – *Plecotus austriacus* (Fischer, 1829). В Ак-Монайских кам. 01.09.2024 – 1 особь (♂).

В указанном убежище серый ушан был найден неоднократно [10], здесь зарегистрированы и зимовка, и размножение. Вид широко распространён на Керченском полуострове [12], при том, что нигде не известны его крупные скопления.

Во время наших хироптерологических исследований в Восточном Крыму в 2023–2024 гг. нам не попались некоторые виды, которые были здесь отмечены нами несколькими годами ранее, такие как трёхцветная ночница (*Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806)), кожановидный нетопырь (*Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837)), поздний кожан (*Cnephesus serotinus* (Schreber, 1774)) [9; 11], нет новых находок и двуцветного кожана (*Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758). Не дали результатов и специальные поиски обыкновенного длиннокрыла (*Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817)) или его следов в Ак-Монайских и Петровских каменоломнях, где более полвека назад проводились заготовки длиннокрылов для таксидермистов из «Медучпособия» [13]. Вероятность новых находок обыкновенного длиннокрыла в Восточном Крыму мы уже обсуждали ранее [4; 7; 11]. К слову следует отметить крайне ничтожное количество останков погибших летучих мышей (даже массовых видов, как, например, остроухая ночница) в каменоломнях Керченского полуострова в местах расположения колоний и массового скопления гуано. Вероятно, погибших животных здесь могут подбирать какие-нибудь хищники, как например лисцы, которых мы встречали у входа практически при каждом посещении этих и других каменоломен.

Население каменоломен Керченского полуострова, также как в Сквозном Гроте, в подавляющем большинстве составляли типичные троглофилы [14] остроухие ночницы, образующие колонии до нескольких тысяч особей, вплоть до того, что в некоторых убежищах были найдены представители только этого вида. В отдельных случаях нами в каменоломнях (Оливинские, Ак-Монайские, Петровские) также отмечены колонии большого подковоноса (до 300 особей). Кроме того, в подземельях Керченского полуострова единично попадались степная ночница и серый ушан.

В убежищах, расположенных в постройках, как например подвалы, в 2023–2024 гг. мы находили также единичных особей малого и большого подковоносов, степной и остроухой ночниц, тонкоголосого и средиземноморского нетопырей, бурого ушана.

Изучение рукокрылых вне убежищ с помощью отлова паутинными сетями в трёх избранных локациях в горной части Восточного Крыма, где ловля осуществлялась многократно, в том числе и предыдущие несколько лет (в анализе учитываются и ранее полученные нами данные в этих же точках) представляет следующую картину (рис. 2). Общим для этих всех этих пунктов является близость водоёма, населённого пункта, лесного массива, расстояние между локациями – 12–16 км.

На лесных полянах на юго-западных окраинах пгт Щебетовка (рис. 2а) в отловах доминировали бурый

ушан (35,72 %) и малая вечерница (23,81 %), несколько реже попадалась чулийская ночница (11,91 %), кроме того в отловах представлены степная ночница, лесной нетопырь, европейская широкоушка, большой подковонос и нетопырь-карлик. У запруды на р. Байбуга близ с. Насыпное (рис. 2b) в отловах преобладал средиземноморский нетопырь (28,57 %) и степная ночница (21,43 %), кроме того в сеть попались остроухая ночница, малая вечерница, рыжая вечерница,

нетопырь-карлик и бурый ушан. Наконец, у Старокрымского водохранилища, расположенного на окраине г. Старый Крым и окружённого лесными массивами (рис. 2c), доминирующими видами оказались тонкоголосый (38,46 %) и средиземноморский (34,62 %) нетопыри, реже попадался лесной нетопырь (15,38 %), ещё реже малая и рыжая вечерницы.

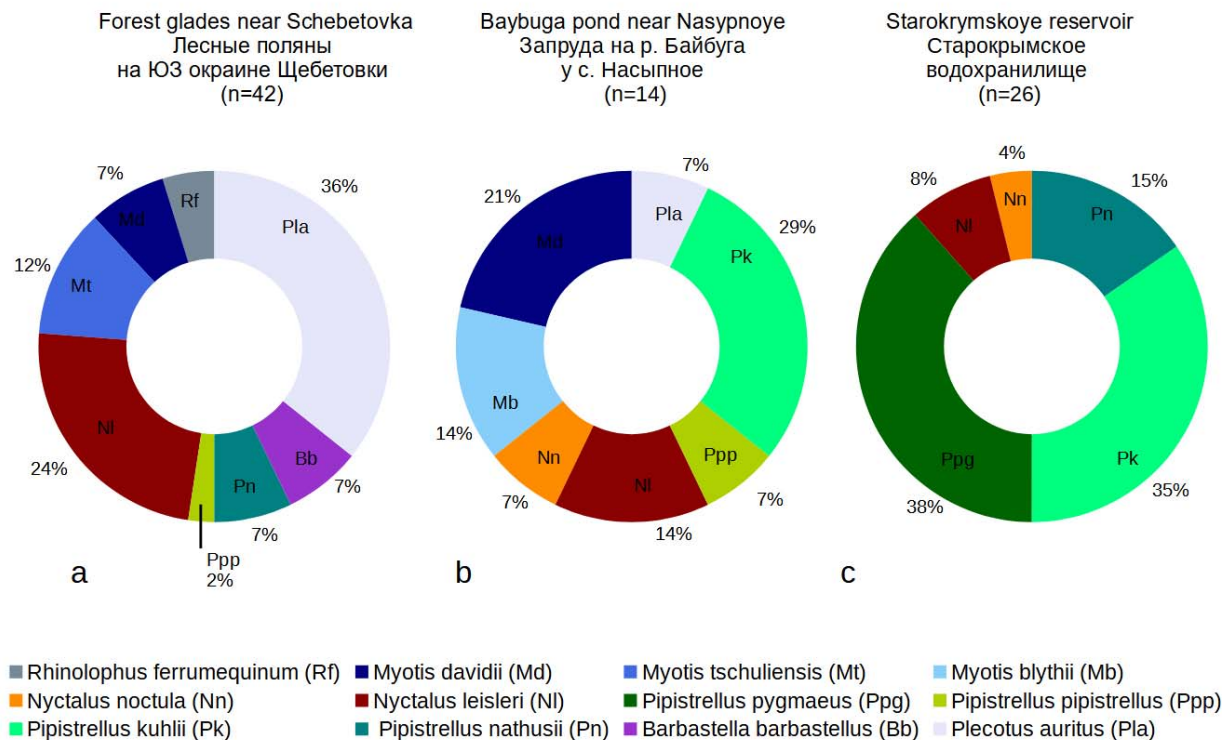


Рисунок 2. Результаты отлова паутиными сетями вне убежищ в различных локациях восточной части Горного Крыма (в процентах)

Figure 2. Results of catching with mist nets outside shelters in various locations in the eastern part of mountainous Crimea (in percentages)

Как видно из рис. 2, наибольшее видовое разнообразие представляет отлов на окраине Щebetовки, представляющей собой горно-лесной биотоп на южном макросклоне Крымских гор, при этом здесь преобладают типично лесные виды (бурый ушан, малая вечерница, чулийская ночница, лесной нетопырь, европейская широкоушка и др.). Немного меньше разнообразие на запруде у с. Насыпное, окружающий ландшафт которой представлен, кроме лесной посадки, виноградниками и землями населённого пункта, окруженного степью. Здесь доминируют средиземноморский нетопырь и степная ночница, попадаетея также остроухая ночница – виды доминирующие и в степях Керченского полуострова, реже здесь попадаются лесные виды (вечерницы, нетопырь-карлик, бурый ушан). У Старокрымского водохранилища, также горно-лесной околородный биотоп, но на северном макросклоне Крымских гор, преобладали нетопыри – средиземноморских (сказывается близость города), и в остальном лесные виды – тонкоголосый и лесной нетопыри, малая и рыжая вечерницы.

Изучение рукокрылых Восточного Крыма имеет и важный природоохранный аспект, так как в регионе зарегистрировано большинство (6 из 9) видов летучих мышей, внесённых в Красную книгу Российской

Федерации [1–6]: малый и большой подковоносы, трёхцветная и остроухая ночницы, европейская широкоушка и обыкновенный длиннокрыл. К тому же в регионе известны одни из крупнейших в стране колонии остроухой ночницы и большого подковоноса. Мониторинг состояния популяций редких и уязвимых видов, в особенности внесённых в федеральную Красную книгу, важная составляющая охраны этих животных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши исследования 2023–2024 гг. в Восточном Крыму в более чем в двух десятках пунктов позволили получить новые сведения по 14 видам рукокрылых, в том числе 4-м внесённым в Красную книгу Российской Федерации. Проведённый учёт рукокрылых в убежищах, прежде всего в каменоломнях Керченского полуострова, поиск убежищ рукокрылых в постройках человека, а также отлов животных паутиными сетями даёт представление о распространении, встречаемости и относительной численности различных видов рукокрылых в настоящее время, в частности ранее считавшиеся редкими в горной части Восточного Крыма *Nyctalus leisleri* и *Plecotus auritus* по нашим данным здесь обычные и широко распространённые виды.

БЛАГОДАРНОСТИ

1. Авторы благодарят студента Приходько И.О. (НГУ, Новосибирск) за участие в полевых исследованиях, научных сотрудников КНС-ПЗ РАН – филиала ФИЦ «ИнБЮМ» О.В. Кукушкина, К.И. Шоренко и К.А. Зуева за предоставленные экземпляры летучих мышей, а также проф. Д.Г. Смирнова (ПГУ, Пенза) за консультации.
2. Работа выполнена на УНУ ГПЗ "Карадагский" в рамках темы госзадания №121032300023-7.
3. Полевые исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования FGMU-2022-0002.

ACKNOWLEDGEMENT

1. The authors are grateful to student I.O. Prihodko (NSU, Novosibirsk) for participation in field studies, research fellows of the KSS-NR RAS- branch of the FRC InBSS". O.V. Kukushkin, K.I. Shorenko and K.A. Zuev for providing bat specimens, as well as Professor D.G. Smirnov (PSU, Penza) for consultations.
2. The work was carried out on the Karadagsky USI SNR within the framework of state task No. 121032300023-7.
3. Field research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education FGMU-2022-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васеньков Д.А., Иваницкий А.Н. Остроухая ночница *Myotis blythii* (Tomes, 1857) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 951–953.
2. Иваницкий А.Н. Малый подковонос *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 945–946.
3. Иваницкий А.Н. Большой подковонос *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 946–947.
4. Иваницкий А.Н. Обыкновенный длиннокрыл *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 948–949.
5. Иваницкий А.Н. Трехцветная ночница *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 954–955.
6. Иваницкий А.Н., Крускоп С.В. Европейская широкоушка *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) // Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 955–957.
7. Смирнов Д.Г., Курмаева Н.М., Иваницкий А.Н. К изучению рукокрылых (Chiroptera) на Востоке Крыма // *Plecotus et al.*, 2017. N 20. С. 17–29.
8. Иваницкий А.Н., Сидорчук Н.В., Васеньков Д.А. Новые данные по рукокрылым восточной части Южного берега Крыма // *Экосистемы*. 2018. Вып. 16 (46). С. 117–122.
9. Иваницкий А.Н., Васеньков Д.А., Сидорчук Н.В. Новые фаунистические находки рукокрылых в Восточном Крыму // *Plecotus et al.* 2019. N 22. С. 69–79.
10. Иваницкий А.Н., Розенберг О.Г., Шоренко К.И. Ак-Монайские каменоломни – ключевое убежище рукокрылых Восточного Крыма // *Экосистемы*. 2019. Вып. 20 (50). С. 140–148.
11. Иваницкий А.Н. К фауне рукокрылых Феодосии // *Полевой журнал биолога*. 2020. Т. 2. N 4. С. 298–309. DOI: 10.18413/2658-3453-2020-2-4-298-309

12. Дулицкий А.И., Коваленко И.С. Материалы по рукокрылым Крыма в зоологических собраниях Украины и России // *Вопросы развития Крыма. Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник*. Вып. 15. Проблемы инвентаризации крымской биоты. Симферополь: Таврия-плюс, 2003. С. 197–210.
13. Стрелков П.П. Проблемы охраны рукокрылых // *Материалы Первого Всесоюзного совещания по рукокрылым*. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. С. 49–55.
14. Иваницкий А.Н. К биологии и фенологии троплофильных рукокрылых Абхазии // *Plecotus et al.* 2015. N 18. С. 26–33.

REFERENCES

1. Vasenkov D.A., Ivanitzky A.N. Ostroukhaya nochnitsa *Myotis blythii* (Tomes, 1857) [Lesser mouse-eared bat *Myotis blythii* (Tomes, 1857)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 951–953. (In Russian)
2. Ivanitzky A.N. Malyy podkovonos *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797) [Lesser horseshoe bat *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 945–946. (In Russian)
3. Ivanitzky A.N. Bolshoy podkovonos *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) [Greater horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 946–947. (In Russian)
4. Ivanitzky A.N. Obyknovennyy dlinnokryl *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) [Schreibers' bent-winged bat *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 948–949. (In Russian)
5. Ivanitzky A.N. Tryokhtsvetnaya nochnitsa *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806) [Geoffroy's bat *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 954–955. (In Russian)
6. Ivanitzky A.N., Krusko S.V. Evropeyskaya shirokoushka *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) [Western barbastelle bat *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774)]. In: *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii, tom «Zhivotnye»*, 2-oe izdanie [Red data book of Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, pp. 955–957. (In Russian)
7. Smirnov D.G., Kurmaeva N.M., Ivanitzky A.N. To the study of bats (Chiroptera) of the Eastern Crimea. *Plecotus et al.*, 2017, no. 20, pp. 17–29. (In Russian)
8. Ivanitzky A.N., Sidorchuk N.A., Vasenkov D.A. New data on bats of the eastern part of the southern coast of Crimea. *Ekosistemy [Ecosystemy]*. 2018, iss. 16 (46), pp. 117–122. (In Russian)
9. Ivanitzky A.N., Vasenkov D.A., Sidorchuk N.A. New faunistic records of bats in the Eastern Crimea. *Plecotus et al.* 2019, no. 22, pp. 69–79. (In Russian)
10. Ivanitzky A.N., Rozenberg O.G., Shorenko K.I. The Ak-Monai quarries – a key refuge for bats in the Eastern Crimea. *Ekosistemy [Ecosystemy]*. 2019, iss. 20 (50), pp. 140–148. (In Russian)

11. Ivanitzky A.N. On the fauna of bats in Feodosiya. *Field journal of a biologist*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. 298–309. (In Russian) DOI: 10.18413/2658-3453-2020-2-4-298-309
12. Dulitsky A.I., Kovalenko I.S. Materialy po rukokrylym Kryma v zoologicheskikh sobraniyakh Ukrainy i Rossii [Materials on Crimean bats in zoological collections of Ukraine and Russia]. *Voprosy razvitiya Kryma. Nauchno-prakticheskii diskussionno-analiticheskii sbornik. Vyp. 15. Problemy inventarizatsii krymskoy bioty* [Issues of Crimean development. Scientific and practical discussion and analytical collection. Iss. 15. Problems of inventory of Crimean biota]. Simferopol, Tavria-plus Publ., 2003, pp. 197–210. (In Russian)
13. Strelkov P.P. Problemy okhrany rukokrylykh [Problems of protection of bats]. *Materialy Pervogo Vsesoyuznogo soveshchaniya po rukokrylym* [Materials of the First All-Union Conference on Chiroptera]. Leningrad, ZIN AS USSR Publ., 1974, pp. 49–55. (In Russian)
14. Ivanitzky A.N. To biology and phenology of troglomorphic bat of Abkhazia. *Plecotus et al.* 2015, no. 18, pp. 26–33. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Иваницкий и Алексей А. Маслов собирали материал и проанализировали его. Александр Н. Иваницкий написал рукопись статьи. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTION

Alexander N. Ivanitzky and Alexey A. Maslov collected the material and analysed it. Alexander N. Ivanitzky wrote the manuscript of the article. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр Н. Иваницкий / Alexander N. Ivanitzky <https://orcid.org/0000-0002-6111-5237>

Алексей А. Маслов / Alexey A. Maslov <https://orcid.org/0000-0003-4355-9026>

Обзорная статья / Review article

УДК 502.74:502.75(571.54)

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-8

Статья публикуется в авторской редакции / The article is published in author's edition



Редкие, «краснокнижные» виды растений и животных Байкальской Сибири под охраной Конвенции СИТЕС (в контексте устойчивого развития)

Эрдэни Н. Елаев¹, Аюна А. Алексеева¹, Александр А. Мокров¹, Наталья Г. Елаева²¹Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды («ВНИИ Экология»), Москва, Россия²Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматизированных растений («ВИЛАР»), Москва, Россия

Контактное лицо

Аюна А. Алексеева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией СИТЕС, Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды (ФГБУ «ВНИИ Экология»); 117628 Россия, г. Москва, МКАД 36, двлд 1, стр. 4. Тел. +79968554969

Email a.alekseeva@vniiecolgy.ruORCID <https://orcid.org/0009-0009-1220-811X>

Формат цитирования

Елаев Э.Н., Алексеева А.А., Мокров А.А., Елаева Н.Г. Редкие, «краснокнижные» виды растений и животных Байкальской Сибири под охраной Конвенции СИТЕС (в контексте устойчивого развития) // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 96-106. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-8

Получена 12 ноября 2024 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2024 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: дать текущую оценку состояния ресурсов редких и исчезающих «краснокнижных» видов растений и животных, подпадающих под действие Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящихся под угрозой исчезновения (СИТЕС), представляющих особую ценность для сохранения биологического разнообразия в целях устойчивого развития Байкальской Сибири и выявить проблемы использования отдельных видов в регионе.

Материалом для обзора явились вышедшие за последние годы (с 2012 по 2023 гг.) региональные Красные книги во всех субъектах Российской Федерации, входящих в Байкальскую Сибирь (Республика Бурятия, Забайкальский край, Иркутская область), а также Красная книга Российской Федерации (2021) и перечень видов из Приложений Конвенции СИТЕС.

Представлен актуализированный перечень редких, «краснокнижных» видов животных и растений Байкальской Сибири, подпадающих под действие Конвенции СИТЕС. Категории статусов редкости, угрозы исчезновения и природоохранных мер во всех региональных Красных книгах Байкальской Сибири приведены в соответствии с принятыми статусами в Красной книге Российской Федерации, отвечающей в настоящее время международным стандартам. Во 2-м издании Красной книги Российской Федерации (2021) 213 видов животных подпадает под Конвенцию СИТЕС, из растений – 164 вида. В Красных книгах Республики Бурятия, Забайкальского края и Иркутской области (2012, 2020, 2021, 2023) из Перечня видов, подпадающих под действие данной Конвенции – 35 видов растений и 40 видов животных. Виды, охраняемые Конвенцией СИТЕС, распределены в Приложениях I, II, III. Приложение I включает все виды, находящиеся под угрозой исчезновения, торговля которыми строго регулируется и должна быть разрешена только в исключительных случаях (всего 13 видов животных, торговля которыми оказывает или может оказать влияние на их дальнейшее существование). В Приложении II, включены все виды, которые могут оказаться под угрозой исчезновения, если торговля образцами таких видов не будет строго регулироваться (31 вид растений и 57 видов животных). Хотя в данное время они не обязательно находятся под непосредственной угрозой вымирания, но могут стать таковыми, если торговля образцами таких видов не будет строго регулироваться в целях предотвращения их использования, несовместимого с их выживанием. Из Приложения III охраняемых видов в регионе нет.

Ключевые слова

Конвенция СИТЕС, Научный орган СИТЕС, редкие и «краснокнижные» виды растений и животных, устойчивое развитие, Байкальская Сибирь.

Rare, "Red Book" species of plants and animals in Baikal Siberia under CITES protection (in the context of sustainable development)

Erdeni N. Yelaev¹, Ayuna A. Alekseeva¹, Aleksandr A. Mokrov¹ and Natalia G. Yelaeva²

¹The All-Russian Scientific Research Institute of Environmental Protection (VNI Ecology), Moscow, Russia

²The All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Flavoured Plants (VILAR), Moscow, Russia

Principal contact

Ayuna A. Alekseeva, PhD Sci. (Biology), Leading Researcher, CITES Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Environmental Protection; 36 MKAD dvid 1, p. 4., Moscow, Russia 117628.

Tel. +79968554969

Email a.alekseeva@vniiecolgy.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0009-1220-811X>

How to cite this article

Yelaev E.N., Alekseeva A.A., Mokrov A.A., Yelaeva N.G. Rare, "Red Book" species of plants and animals in Baikal Siberia under CITES protection (in the context of sustainable development). *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):96-106. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-8

Received 12 November 2024

Revised 14 December 2024

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. To carry out an ongoing assessment of the status of rare and endangered species of plants and animals listed in the applicable Red Books and subject to the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), which are of particular value for the conservation of biological diversity in the interests of sustainable development of Baikal Siberia and to identify problems with the use of some species in the region.

The material for the review were the regional Red Books published in recent years (from 2012 to 2023) in all regions of the Russian Federation included in Baikal Siberia (Buryat Republic, Transbaikal Region, Irkutsk Region), as well as the Red Book of the Russian Federation (2021) and the list of species from the Annexes of the CITES Convention.

An updated list of rare, "Red Book" species of animals and plants of Baikal Siberia, subject to the CITES Convention, is presented. The categories of rare, endangered, and environmental protection statuses in all regional Red Books of Baikal Siberia are aligned with the accepted statuses in the Red Book of the Russian Federation, which currently meets international standards. In the 2nd edition of the Russian Federation Red Book (2021), 213 species of animals fall under the CITES Convention, 164 species of plants. In the Buryat Republic, the Transbaikal Region and the Irkutsk Oblast Red Books (2012, 2020, 2021, 2023) 35 species of plants and 40 species of animals are from the CITES List. Annex I includes all endangered species whose trade is strictly regulated and should be allowed only in exceptional cases (amounting to a total of 13 species, whose trade has or may have an impact on their continued existence). In Annex II, which includes all species that may be threatened with extinction if the trade in specimens of such species is not strictly regulated (31 plant species and 57 animal species). Although they are not necessarily in immediate danger of extinction at this time, they may become so, if the trade in specimens of such species is not strictly regulated in order to prevent use incompatible with their survival. There are no protected species in the region from Annex III.

An audit of the most vulnerable rare and Red Book species of plants and animals was carried out, as well as of the validity of including certain species in the Red Books (federal and regional) and the CITES List for the Biological Diversity Conservation and Sustainable Development of Baikal Siberia.

Key Words

CITES, scientific agency CITES, Ecology All-Russian Research Institute, rare and endangered (Red Books) species of Plants and Animals, sustainable development, Baikal Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение и сохранение биологического разнообразия на генетическом, видовом, экосистемном уровнях относятся к важнейшим направлениям современной биологической науки, основы которой были заложены Конвенцией о биологическом разнообразии, принятой 5 июня 1992 г. в Рио-де-Жанейро [1]. В Российской Федерации основополагающие принципы сохранения биоразнообразия закреплены в нормативно-правовых актах Российской Федерации – Федеральный закон «О животном мире» [2], Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [3], Национальная Стратегия сохранения биоразнообразия России [4], Стратегия сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов [5].

Особое место в деле сохранения биоразнообразия занимает охрана редких и исчезающих видов растений и животных, которая определяется и регламентируется другой международной конвенцией – Конвенцией о международной торговле дикими видами флоры и фауны, находящимися под угрозой исчезновения, кроме осетровых видов рыб и продукции из них, включая икру (Вашингтон, 03.03.1973) (далее – Конвенция СИТЕС) [6]. В соответствии с п. 1 Постановления Правительства Российской Федерации от 4 мая 2008 г. № 337 «О мерах по обеспечению выполнения обязательств Российской Федерации, вытекающих из Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, от 3 марта 1973 г., в отношении видов дикой фауны и флоры, находящихся под угрозой исчезновения, кроме осетровых видов рыб» в качестве Научного органа СИТЕС, обеспечивающей выполнение обязательств Российской Федерации, определено Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды» (ФГБУ «ВНИИ Экология») [7; 8], которое участвует в предоставлении государственной услуги по выдаче разрешения (сертификата) СИТЕС. Следует отметить, что за последние годы обострилась ситуация с нелегальным вывозом из Российской Федерации редких, краснокнижных видов соколов (балобан, кречет), обитающих в Байкальской Сибири, а также дериватов ценных лесных видов животных – мускусной железы кабарги, желчи, лапы, когти, шкуры бурового медведя [9]. В связи с этим, возникла необходимость актуализации сведений по видам животных и растений, распространенных на территории Байкальской Сибири, которая может быть транзитной при вывозе из Российской Федерации дериватов животных и растений, включенных в Приложение СИТЕС.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые списки видов растений и животных Байкальской Сибири, подпадающие под действие Конвенции СИТЕС, были опубликованы в Красной книге Республики Бурятия в 2013 году [10]. К сожалению, в 4-ом издании 2023 года [11] таковые отсутствуют, что, конечно, несколько снижает информационную ценность Красной книги. Тем не менее, в настоящей работе мы вновь возвращаемся к обсуждению критериев особой ценности диких животных и водных биологических ресурсов, в частности, «статус редкости»,

который подразумевает отнесение животных к редким и находящимся под угрозой исчезновения видам диких животных и водных биологических ресурсов, занесенных в Красную книгу РФ и (или) охраняемых международными договорами РФ.

В соответствии с п. 1.2 приказа Министерства природных ресурсов и экологии России от 23 мая 2016 г. № 306 «Об утверждении Порядка ведения Красной книги Российской Федерации» специально отмечено следующее: «Красная книга Российской Федерации содержит свод документированной информации о состоянии, распространении, категориях статуса редкости и статуса угрозы исчезновения и мер охраны, с целью обеспечения сохранения и восстановления редких и находящихся под угрозой исчезновения видов (подвидов, популяций) диких животных и дикорастущих растений и грибов, обитающих (произрастающих) на территории (акватории) Российской Федерации, континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации» [12]. Объекты животного и растительного мира, включенные в перечни объектов животного и растительного мира, занесенных в Красную книгу РФ, относятся: 1) к одной из категорий статуса редкости: 0 – вероятно исчезнувшие; 1 – находящиеся под угрозой исчезновения; 2 – сокращающиеся в численности и/или распространении; 3 – редкие; 4 – неопределенные по статусу; 5 – восстанавливаемые и восстанавливающиеся.

К еще одной, из категорий статуса угрозы исчезновения объектов растительного и животного мира, характеризующих их состояние в естественной среде обитания: исчезнувшие в дикой природе (ИП); исчезнувшие в России (ИР); находящиеся под критической угрозой исчезновения (КР); исчезающие (И); уязвимые (У); находящиеся в состоянии, близком к угрожаемому (БУ); вызывающие наименьшие опасения (НО); недостаточно данных (НД); 3) к одной из категорий степени и первоочередности принимаемых и планируемых к принятию природоохранных мер (природоохранный статус). Приоритет I требует принятия незамедлительных комплексных мер по сохранению или восстановлению численности объектов животного и растительного мира. Приоритет II подразумевает реализацию одного или нескольких специальных мероприятий по сохранению объектов животного и растительного мира. Приоритет III предусматривает общие меры, направленные на сохранение объектов растительного или животного мира, занесенных в Красную книгу РФ» [13].

В рамках Конвенции СИТЕС ведется контроль над оборотом свыше 40 900 видов живых организмов, в т.ч. 6 610 видов животных и 34 310 видов растений [14; 15]. Во 2-м издании Красной книги Российской Федерации, которая вышла в 2021 году 213 видов животных подпадает под Конвенцию СИТЕС, а из растений – 164 вида [13]. Результаты анализа повидовых очерков из Красных книг Байкальской Сибири по 35 видам растений и 70 видам животных из трех субъектов Российской Федерации [11; 16; 17] были сведены в ниже приведенную таблицу и сгруппированы по трем Приложениям Конвенции СИТЕС.

Приложение I включает все виды, находящиеся под угрозой исчезновения, торговля которыми строго

регулируется и должна быть разрешена только в исключительных случаях (в Приложении всего 13 видов

животных, торговля которыми оказывает или может оказать влияние на их дальнейшее существование).

Таблица. Категории статуса видов в соответствии с Конвенцией СИТЕС, Красными книгами Российской Федерации (Республики Бурятия, Забайкальского края и Иркутской области)

Table. Categories of species status in accordance with the CITES Convention, the Russian Federation Red Books (Buryat Republic, Transbaikalian Region and Irkutsk Region)

Красная книга Российской Федерации*								
The Russian Federations Red Books								
№	Название видов (подвидов, популяции) растений и животных Names of species (subspecies, populations) of plants and animals	Категория статуса редкости	Категория статуса угрозы исчезновения	Природоохранный статус	Республика Бурятия	Забайкальский край	Иркутская Область	Конвенция СИТЕС**** № Приложения CITES Convention ***** N Annex
		Rarity status category	Threat of extinction status category	Protection statuses	Buryat Republic**	Transbaikalian Region***	Irkutsk Region****	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Растения – Plantae								
Класс Двудольные – Dicotyledones								
Семейство Толстянковые – Crassulaceae								
1	Родиола розовая (или Золотой корень) Rhodiola rosea L., 1753	3б	VU	-	2	3	2	II
Семейство Орхидные, или Ятрышниковые - Orchidaceae								
2	Поллопестник зеленый Coeloglossum viride (L.) Hartm., 1820	-	-	-	-	-	-	II
3	Ладьян трехнадрезный Corallorhiza trifida Châtel., 1760	-	-	-	-	-	-	II
4	Калипсо луковичная Calypso bulbosa (L.) Oakes (1842)	3б	EN	-	3	3	3	II
5	Башмачок известняковый или Венерин башмачок настоящий, обыкновенный Cypripedium calceolus L.	3б	LC	-	2	3	2	II
6	Башмачок крупноцветковый Cypripedium macranthos Sw. (1800)	3б	LC	-	2	3	2	II
7	Башмачок вздутоцветковый (или вздутый) – Cypripedium xventricosum Sw., 1800	3б	NT	-	3	-	2	II
8	Башмачок капельный Cypripedium guttatum Sw., 1800	-	-	-	-	2	-	II
9	Пальчатокоренник кровавый Dactylorhiza cruenta (O.F.Müll.) Soo	-	-	-	-	-	-	II
10	Пальчатокоренник Фукса Dactylorhiza fuchsii (Druce) Soó	-	-	-	-	-	-	II
11	Пальчатокоренник мясо-красный Dactylorhiza incarnata (L.) Soó, 1962	-	-	-	-	-	-	II
12	Пальчатокоренник Мейера Dactylorhiza meyeri (Reichenb. fil.) Aver.	-	-	-	-	-	-	II
13	Пальчатокоренник холодолюбивый Dactylorhiza psychrophila (Schltr.) Aver.	-	-	-	-	-	-	II
14	Пальчатокоренник солончаковый Dactylorhiza salina (Turcz. ex Lindl.) Soó, 1962	-	-	-	-	-	-	II
15	Пальчатокоренник теневой Dactylorhiza umbrosa (Kar. & Kir.) Nevski, 1937	-	-	-	-	-	-	II
16	Надбородник безлистный Epipogium aphyllum Sw.	2а	VU	-	3	-	3	II
17	Хаммарбия болотная Hammarbya paludosa (L.) Kuntze	-	-	-	3	-	1	II
18	Гудайера ползучая Goodyera repens (L.) R.Br.	-	-	-	-	-	-	II
19	Кокушник длиннорогий или комарниковый, комариный	-	-	-	-	-	-	II

<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R.Br., 1813							
20	Бровник одноклубневый <i>Herminium monorchis</i> (L.) R.Br.	-	-	-	-	-	II
21	Мякотница однолистная <i>Malaxis monophyllos</i> (L.) Sw., 1800	-	-	-	-	-	II
22	Тайник сердцевидный <i>Listera [Neottia] cordata</i> (L.) R.Br., 1813	-	-	-	3	-	2 II
23	Тайник яйцевидный или овальный <i>Listera [Neottia] ovata</i> Bluff & Fingerh., 1838	-	-	-	3	-	1 II
24	Гнездовка камчатская <i>Neottia camtschatea</i> (L.) Reichenb. fil.	-	-	-	3	-	1 II
25	Гнездоцветка (или Понерорхис) клубочковая <i>Neottianthe cucullata</i> (L.) Schltr., 1919 [<i>Ponerorchis cucullata</i> (L.) X.H. Jin, Schuit. et W.T. Jin]	36	EN	-	2	3	3 II
26	Ятрышник шлемоносный <i>Orchis militaris</i> L., 1753	36	NT	-	3	3	3 II
27	Лизиелла (или Любка) малоцветковая <i>Lysiella [Platanthera] oligantha</i> (Turcz.) Nevski	-	-	-	-	-	2 II
28	Любка двулистная <i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich. (1817)	-	-	-	3	2	2 II
29	Любка бурая <i>Platanthera fuscescens</i> (L.) Kraenzl. [<i>Tulotis fuscescens</i> (L.) Czer.]	-	-	-	3	-	1 II
30	Любка цельногубая <i>Platanthera hologlottis</i> Maxim. [<i>Limnorchis hologlottis</i> (Maxim.) Nevski]	-	-	-	5	-	0 II
31	Скрученник приятный <i>Spiranthes amoena</i> (Bieb.) Spreng.	-	-	-	-	-	- II
Семейство Буковые – <i>Fagaceae</i>							
32	Дуб монгольский <i>Quercus mongolica</i> Fisch ex Ledeb, 1850	-	-	-	-	1	- III
Семейство Аралиевые – <i>Araliaceae</i>							
33	Женьшень настоящий <i>Panax ginseng</i> C.A. Mey	1	CE	I	-	-	- II
Семейство Маслиновые – <i>Oleaceae</i>							
34	Ясень маньчжурский <i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	-	-	-	-	-	- III
Семейство Сосновые – <i>Pinaceae</i>							
35	Сосна корейская (Кедр корейский) <i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc., 1842	-	-	-	-	-	- III
Животные – <i>Animalia</i>							
Класс Насекомые – <i>Insecta</i>							
Отряд Чешуекрылые – <i>Lepidoptera</i>							
Семейство Парусники – <i>Papilionidae</i>							
1	Аполлон обыкновенный <i>Parnassius apollo</i> (L., 1758)	2	У (LC)	III	3	3	2 II
Класс Лучеперые рыбы – <i>Actinopterygii</i>							
Отряд Осетрообразные – <i>Acipenseriformes</i>							
Семейство осетровые – <i>Acipenseridae</i>							
2	Байкальский осетр <i>Acipenser baerii baicalensis</i> Nik., 1896	2	И (EN)	II	16	2	1 II
Класс Птицы – <i>Aves</i>							
Отряд Гусеобразные – <i>Anseriformes</i>							
Семейство Утиные – <i>Anatidae</i>							
3	Краснозобая казарка <i>Branta ruficollis</i> (Pall., 1769)	3	У (VU)	II	4	1	3 II
4	Клоктун <i>Anas formosa</i> Georgi, 1775	2	У(LC)	III	5	2	1 II
Отряд Пеликанообразные – <i>Pelecaniformes</i>							
Семейство Пеликановые – <i>Pelecanidae</i>							
5	Кудрявый пеликан <i>Pelecanus crispus</i> Bruch, 1832	3	У (NT)	II	-	-	0 I
Отряд Аистообразные – <i>Ciconiiformes</i>							

Семейство Аистовые – <i>Ciconiidae</i>							
6	Черный аист <i>Ciconia nigra</i> (L., 1758)	3	У (LC)	III	3	1	3 II
Семейство Ибисовые – <i>Threskiornithidae</i>							
7	Колпица <i>Platalea leucorodia</i> (L., 1758)	2	И (LC)	III	4	1	4 II
Отряд Фламингообразные – <i>Phoenicopteriformes</i>							
Семейство Фламинговые – <i>Phoenicopteridae</i>							
8	Розовый фламинго <i>Phoenicopus roseus</i> Pall., 1811	3	У (LC)	III	-	-	- II
Отряд Соколообразные – <i>Falconiformes</i>							
Семейство Соколиные – <i>Falconidae</i>							
9	Степная пустельга <i>Falco naumanni</i> Fleisch., 1818	3	У (LC)	III	3	1	4 II
10	Пустельга <i>Falco tinnunculus</i> L., 1758	-	-	-	-	-	- II
11	Кобчик <i>Falco vespertinus</i> L., 1766	3	У (NT)	III	-	-	4 II
12	Амурский кобчик <i>Falco amurensis</i> Radde, 1863	-	-	-	4	-	- II
13	Дербник <i>Falco columbarius</i> L., 1758	-	-	-	3	-	3 II
14	Чеглок <i>Falco subbuteo</i> L., 1758	-	-	-	-	-	- II
15	Балобан <i>Falco cherrug</i> Gray, 1834	1	KP (EN)	I	3	1	1 II
16	Кречет <i>Falco rusticolus</i> L., 1758	2	И (LC)	I	1	1	3 I
17	Сапсан <i>Falco peregrinus</i> Tunst., 1771	3	У (LC)	III	2	1	3 I
Семейство Скопиные – <i>Pandionidae</i>							
18	Скопа <i>Pandion haliaetus</i> (L., 1758)	3	У (LC)	III	3	1	2 II
Семейство Ястребиные – <i>Accipitridae</i>							
19	Хохлатый осоед <i>Pernis ptilorhynchus</i> (Temmin., 1821)	-	-	-	3	4	- II
20	Черный коршун <i>Milvus migrans</i> (Bodd., 1783)	-	-	-	-	-	- II
21	Орлан-долгохвост <i>Haliaeetus leucorhynchus</i> (Pall., 1771)	2	И (EN)	III	0	-	4 II
22	Орлан-белохвост <i>Haliaeetus albicilla</i> (L., 1758)	5	НО (LC)	III	3	1	2 I
23	Кумай (или сип гималайский) <i>Gyps himalayensis</i> Hume, 1869	-	-	-	-	-	- II
24	Черный гриф <i>Aegypius monachus</i> (L., 1766)	2	И (NT)	III	4	1	4 II
25	Бородач <i>Gypaetus barbatus</i> (L., 1758)	3	У (NT)	III	3	-	4 II
26	Болотный (или восточный болотный) лунь <i>Circus spilonotus</i> [aeruginosus] Kaup, 1847	-	-	-	-	-	3 II
27	Пегий лунь <i>Circus melanoleucos</i> (Penn., 1769)	-	-	-	-	-	- II
28	Полевой лунь <i>Circus cyaneus</i> (L., 1766)	-	-	-	-	2	- II
29	Степной лунь <i>Circus macrourus</i> (Gm., 1771)	3	У (NT)	III	3	1	- II
30	Луговой лунь <i>Circus pygargus</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	- II
31	Малый перепелятник <i>Accipiter gularis</i> (Temmin. et Schleg., 1844)	-	-	-	-	-	3 II
32	Перепелятник <i>Accipiter nisus</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	- II
33	Тетеревятник <i>Accipiter gentilis</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	- II

34	Канюк <i>Buteo buteo</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	-	II
35	Мохноногий курганник <i>Buteo hemilasius</i> Temm. et Schleg., 1844	-	-	-	-	3	-	II
36	Зимняк <i>Buteo lagopus</i> (Pont., 1763)	-	-	-	-	2	-	II
37	Большой подорлик <i>Aquila clanga</i> Pall., 1811	2	И (VU)	III	3	1	2	II
38	Степной орел <i>Aquila nipalensis</i> Hodg., 1833	2	И (EN)	III	5	1	3	II
39	Орел-могильник <i>Aquila heliaca</i> Sav., 1809	2	KP (LC)	I	1	1	1	I
40	Беркут <i>Aquila chrysaetos</i> (L., 1758)	3	У (LC)	III	3	1	3	II
41	Орел-карлик <i>Hieraetus pennatus</i> (Gm., 1788)	-	-	-	5	-	5	II
Отряд Журавлеобразные – <i>Gruiformes</i>								
Семейство Журавлиные – <i>Gruidae</i>								
42	Красавка <i>Anthropoides virgo</i> (L., 1758)	2	У (LC)	III	4	1	5	I
43	Стерх (или Белый) <i>Grus leucogeranus</i> Pall., 1773	2	У (CR)	II	4	1	4	I
44	Даурский журавль <i>Grus vipio</i> Pall., 1811	1	И (VU)	I	4	1	4	I
45	Серый журавль <i>Grus grus</i> (L., 1758)	-	-	-	3	3	3	II
46	Черный журавль (или монах) <i>Grus monacha</i> Temm., 1836	5	БУ (VU)	III	3	1	3	I
Семейство Дрофиные – <i>Otididae</i>								
47	Дрофа (или Большая) <i>Otis tarda</i> L., 1758	1	И (VU)	I	3	1	0	II
Отряд Ржанкообразные – <i>Charadriiformes</i>								
Семейство Бекасовые – <i>Scolopacidae</i>								
48	Тонкоклювый кроншнеп <i>Numenius tenuirostris</i> Vieill., 1817	1	KP (CR)	III	-	-	-	I
Семейство Чайковые – <i>Laridae</i>								
49	Реликтовая чайка <i>Larus relictus</i> Lönn., 1931	1	И (VU)	III	3	1	-	I
Отряд СOVOобразные – <i>Strigiformes</i>								
Семейство Совиные – <i>Strigidae</i>								
50	Сплюшка <i>Otus scops</i> (L., 1758)	-	-	-	3	-	3	II
51	Восточная совка <i>Otus sunia</i> (Hodg., 1836)	-	-	-	-	-	-	II
52	Белая сова <i>Nyctea scandiaca</i> (L., 1758)	-	-	-	3	3	-	II
53	Филин <i>Bubo bubo</i> (L., 1758)	3	(LC)	III	3	1	2	II
54	Длиннохвостая неясыть <i>Strix uralensis</i> Pall., 1771	-	-	-	-	-	-	II
55	Бородатая неясыть <i>Strix nebulosa</i> Forst., 1772	-	-	-	-	-	-	II
56	Мохноногий сыч <i>Aegolius funereus</i> (L., 1758)	-	-	-	3	-	-	II
57	Домовый сыч <i>Athene noctua</i> (Scop., 1769)	-	-	-	3	-	-	II
58	Воробьиный сыч <i>Glaucidium passerinum</i> (L., 1758)	-	-	-	3	-	-	II
59	Ястребиная сова <i>Surnia ulula</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	-	II
60	Ушастая сова <i>Asio otus</i> (L., 1758)	-	-	-	-	-	-	II
61	Болотная сова <i>Asio flammeus</i> (Pont., 1763)	-	-	-	-	-	-	II

Класс Млекопитающие – <i>Mammalia</i>								
Отряд Хищные – <i>Carnivora</i>								
Семейство Псовые – <i>Canidae</i>								
62	Волк <i>Canis lupus</i> L., 1758	-	-	-	-	-	-	II
63	Красный волк <i>Cuon alpinus</i> Pall., 1811	0	IP (EN)	I	0	0	-	II
Семейство Медвежьи – <i>Ursidae</i>								
64	Бурый медведь <i>Ursus arctos</i> L., 1758	-	-	-	-	-	-	II
Семейство Куньи – <i>Mustelidae</i>								
65	Речная выдра <i>Lutra lutra</i> L., 1758	-	-	-	2	1	3	I
Семейство Кошачьи – <i>Felidae</i>								
66	Ирбис (или Снежный барс) <i>Uncia uncia</i> Schreb., 1776	1	KP (VU)	I	1	1	1	I
67	Манул <i>Otocolobus manul</i> Pall., 1776	3	У (LC)	III	3	5	4	II
68	Рысь <i>Lynx lynx</i> L., 1758	-	-	-	-	-	-	II
Семейство Кабарговые (или Кабарожьи) – <i>Moschidae</i>								
69	Кабарга <i>Moschus moschiferus</i> L., 1758	-	-	-	-	-	-	II
Отряд Парнокопытные – <i>Artiodactyla</i>								
Семейство Полорогие – <i>Bovidae</i>								
70	Архар (или Аргали) <i>Ovis ammon</i> L., 1758	1	KP (NT)	I	4	0	-	II

Примечание: Материалы таблицы основаны на Красных книгах регионов Байкальской Сибири:

* [13]; ** [10; 11]; *** [16]; **** [17]; ***** [21]

Note: The materials of the table are based on the Baikal Siberia Red Books: * [13]; ** [10; 11]; *** [16]; **** [17]; ***** [21]

В Приложение II включены все виды, которые могут оказаться под угрозой исчезновения, если торговля образцами таких видов не будет строго регулироваться (32 вида растений и 57 видов животных). Хотя в данное время они не обязательно находятся под непосредственной угрозой вымирания, но могут стать таковыми, если торговля образцами таких видов не будет строго регулироваться в целях предотвращения их использования, несовместимого с их выживанием. Это в полной мере относится к родиоле розовой (или золотому корню) – *Rhodiola rosea*. Наиболее очевидное противоречие – с 2005 г. вид внесен в список Красной книги РФ (36 категория), тем не менее, широко культивируется как лекарственное растение. Правда, Красная книга оговаривает, что соответствующий статус не распространяется на некоторые географические популяции, в частности исключены популяции Республики Тыва, Алтайского и Красноярского краев. Однако, основным источником сырья до последнего времени служили популяции, произрастающие как раз в Алтае-Саянском экорегионе, к которым в полной мере относятся ограничения на оборот, накладываемые законодательством [15]. В отношении других видов семейства Орхидные *Orchidaceae* сомнений нет, все они охраняются как на федеральном и региональном уровнях, так и собственно Конвенцией СИТЕС.

Приложение III содержит все виды, численность которых по определению подлежит регулированию, но они не находятся под угрозой исчезновения. Таковым во флоре Байкальской Сибири является один вид – дуб монгольский, который охраняется в заказнике «Реликтовые дубы» в Забайкальском крае. Другие три вида из Приложения III, такие как ясень маньчжурский,

женьшень обыкновенный и сосна корейская не встречаются в Байкальской Сибири.

С учетом приведенных совокупных данных «особая ценность» млекопитающих не вызывает сомнений, за более чем 20 последних лет они по-прежнему остаются на грани исчезновения, например, красный волк (*Cuon alpinus*), речная выдра (*Lutra lutra*), ирбис (или снежный барс) (*Uncia uncia*), манул (*Otocolobus manul*). В отношении двух других видов, в частности архара (или аргали) (*Ovis ammon*) и кабарги (*Moschus moschiferus*), учитывая напряженные отношения архара с местными пастухами в Центральной и Средней Азии, редкие заходы из Монголии [18], охоту (включая браконьерскую) в Сибири и на Дальнем Востоке на кабаргу, снижение ее численности и целого ряда подвидов, значит, принимаемых мер охраны недостаточно и наличие данного вида в Приложении вполне обоснованно.

«Ценность» птиц на фоне млекопитающих выглядит весьма печальной и по категории редкости, и по природоохранному статусу. Кречет (*Falco cherrug*) и сапсан (*F. peregrinus*) в 2020 г. получили первую категорию редкости с высоким природоохранным статусом. Это также в полной мере относится и к балобану (*F. cherrug*). Несмотря на принятые природоохранные меры, включая и разведение птиц в целом ряде соколиных питомников по стране, и продолжающийся нелегальный отлов этих соколов, их продажи в арабские страны до сих пор продолжают. Беркут (*Aquila chrysaetos*) по-прежнему остается во второй категории редкости, что может навести на мысль о нецелесообразности его нахождения в Перечне. Однако, этих пернатых хищников часто

используют в соколиной охоте в Казахстане, Монголии и нелегально вывозят из России [19].

В отношении «ценных» видов рыб также наблюдается отрицательная тенденция. Их категория редкости с 1997 г. либо осталась без изменения, либо повысилась, что может свидетельствовать и о том, что принятых мер охраны недостаточно. Байкальский осетр (*Acipenser baerii baikalensis*) занесен в Красные книги РФ, субъектов Федерации, расположенных в Байкальской Сибири (Республика Бурятия, Забайкальский край, Иркутская область) и в Приложение II Конвенции СИТЕС, а значит, их экспорт/импорт требует получения разрешения [20]. Парадоксален факт вполне легальной торговли байкальским осетром на прилавках Иркутского городского рынка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами проведена оценка состояния и проблемы использования ресурсов наиболее уязвимых редких и «краснокнижных» видов растений и животных, дана обоснованность включения отдельных видов в Красные книги (федеральную и региональные) и представлен актуализированный перечень видов животных и растений, подпадающих под действие Конвенции СИТЕС для сохранения биологического разнообразия и устойчивого развития Байкальской Сибири.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа поддержана и выполнена в рамках Государственного задания ФГБУ «ВНИИ Экология» по теме 7.4. «Научно-методическое и экспертно-аналитическое обеспечение деятельности Минприроды России в сфере выполнения обязательств по Конвенции СИТЕС 2023–2025 гг.».

ACKNOWLEDGMENT

The work was supported and implemented within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution, All-Russian Research Institute of Ecology, on topic 7.4., "Scientific, Methodological and Expert-Analytical Support for the Activities of the Ministry of Natural Resources of Russia in the Field of Fulfilling Obligations under the CITES Convention 2023–2025".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конвенция Организации объединенных наций о биологическом разнообразии; Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 г. URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/bio.pdf> (дата обращения: 17.10.2024)
2. Федеральный закон от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире» (последняя редакция). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6542/?ysclid=m3y9sx1cea797116410 (дата обращения: 17.10.2024)
3. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (последняя редакция). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=m3y9zrpljb504561020 (дата обращения: 17.10.2024)
4. Алимов А.Ф., Алтухов Ю.П., Амирханов А.М. и др. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России. М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия», 2001. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=m3y9zrpljb504561020 (дата обращения: 17.10.2024)

5. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 6 апреля 2004 № 323 «Об утверждении стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов». URL: <https://base.garant.ru/12131160/?ysclid=m3yaptr2sx284056369> (дата обращения: 17.10.2024)
6. Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения. Вашингтон, 3 марта 1973 г. URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/bio.pdf> (дата обращения: 17.10.2024)
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 4 мая 2008 г. № 337 «О мерах по обеспечению выполнения обязательств Российской Федерации, вытекающих из Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, от 3 марта 1973 г., в отношении видов дикой фауны и флоры, находящихся под угрозой исчезновения, кроме осетровых видов рыб». URL: <https://base.garant.ru/12160215/?ysclid=m3yc9fdd1t179669700> (дата обращения: 17.11.2024)
8. Приказ МПР России № 195 от 26.09.2024 г. «Об утверждении Положения, регламента работы и состава Научного органа СИТЕС». URL: <https://base.garant.ru/12131160/?ysclid=m3yaptr2sx284056369> (дата обращения: 17.10.2024)
9. Алексеева А.А. Проблемы сохранения популяции кабарги (*Moschus moschiferus* L., 1758) в рамках выполнения обязательств Российской Федерации Конвенции СИТЕС // Животные в экосистемах Внутренней Азии. Фундаментальные и прикладные аспекты. Улан-Удэ, 2024. С. 15–17.
10. Абашеев Р.Ю., Азовский М.Г., Алексеев С.С. и др. Красная книга Республики Бурятия: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 675 с.
11. Красная книга Республики Бурятия. Животные. 4-е изд., доп. и перераб. Белгород: КОНСТАНТА, 2023. 300 с.
12. Приказ Минприроды России № 306 от 23 мая 2016 г. «Об утверждении порядка ведения Красной книги Российской Федерации». 9 с.
13. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экологии», 2021. 1128 с.
14. Коммерческий оборот диких животных в Российской Федерации / сост. В.Г. Кревер, Т.О. Иванникова. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2020. 328 с.
15. Смелянский И., Камалутдинов Г., Рошканюк М., Барашкова А., Королук Е. Коммерческий оборот дикорастущих лекарственных и ароматических растений в российском секторе Алтае-Саянского экорегиона: природоохранные аспекты. Новосибирск, 2009. 72 с.
16. Красная книга Забайкальского края. Животные. Новосибирск: ООО «Новосибирский издательский дом», 2012. 344 с.
17. Красная книга Иркутской области. 2-е изд. Иркутск – Улан-Удэ: Республиканская типография, 2020. 552 с.
18. Алексеева А.А., Елаев Э.Н. Архар (аргали) в Российской Федерации // Информационный бюллетень ЦАИМ. 2024 (в печати).
19. Бадмаева Е.Н., Базаров Л.Д., Доржиев Ц.З., Елаев Э.Н., Гулгенов А.Б. Современное состояние и нелегальный отлов хищных птиц в Бурятии // Русский орнитологический журнал. 2022. Т. 31. Экспресс-выпуск 2192. С. 2403–2416.
20. Мезенцева М.В. Проблема критериев особой ценности диких животных и водных биологических ресурсов, включенных в перечень постановления Правительства РФ для целей статей 2261 и 2581 Уголовного кодекса РФ // Журнал правовых и экономических исследований. 2023. N 2. С. 126–134.

21. Россия и СИТЕС: к 70-й сессии Постоянного комитета СИТЕС (Сочи, 1–5 октября 2018). М.: М-во природ. ресурсов и экологии РФ, ВНИИ Экология, Изд-во «Открытый дизайн», 2018. 104 с.

REFERENCES

1. *Konventsia Organizatsii ob "edinennykh natsii o biologicheskoy raznoobrazii, Rio-de-Zhaneiro, 5 iyunya 1992 g.* [United Nations Convention on Biological Diversity; Rio de Janeiro, 5 June 1992.]. Available at: <http://www.cawater-info.net/library/rus/bio.pdf> (accessed 17.10.2024) (In Russian)
2. *Federal'nyi zakon ot 24.04.1995 № 52-FZ «O zhivotnom mire» (poslednyaya redaktsiya)* [Federal Law of 24.04.1995 No. 52-FZ "On the Animal World" (latest revision)]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6542/?ysclid=m3y9sx1cea797116410 (accessed 17.10.2024) (In Russian)
3. *Federal'nyi zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ «Ob okhrane okruzhayushchei sredy» (poslednyaya redaktsiya)* [Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ "On Environmental Protection" (latest revision)]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=m3y9zrpljb504561020 (accessed 17.10.2024) (In Russian)
4. Alimov A.F., Altukhov Yu.P., Amirkhanov A.M. et al. *Natsional'naya strategiya sokhraneniya bioraznoobraziya Rossii. Natsional'naya strategiya sokhraneniya bioraznoobraziya Rossii* [National Strategy for the Conservation of Biodiversity in Russia]. Moscow, Global Environment Facility Project "Biodiversity Conservation", 2001. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=m3y9zrpljb504561020 (accessed 17.10.2024) (In Russian)
5. *Prikaz Ministerstva prirodnikh resursov RF ot 6 aprelya 2004 № 323 «Ob utverzhdenii strategii sokhraneniya redkikh i nakhodyashchikhsya pod ugrozoi ischeznoveniya vidov zhivotnykh, rastenii i gribov»* [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of April 6, 2004 No. 323 "On approval of the strategy for the conservation of rare and endangered species of animals, plants and fungi"]. Available at: <https://base.garant.ru/12131160/?ysclid=m3yaptr2sx284056369> (accessed 17.10.2024) (In Russian)
6. *Konventsia o mezhdunarodnoi torgovle vidami dikoi fauny i flory, nakhodyashchimisya pod ugrozoi ischeznoveniya. Vashington, 3 marta 1973 g.* [Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Washington, March 3, 1973.]. Available at: <http://www.cawater-info.net/library/rus/bio.pdf> (accessed 17.10.2024) (In Russian)
7. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 4 maya 2008 g. № 337 «O merakh po obespecheniyu vypolneniya obyazatel'stv Rossiiskoi Federatsii, vytekayushchikh iz Konventsii o mezhdunarodnoi torgovle vidami dikoi fauny i flory, nakhodyashchimisya pod ugrozoi ischeznoveniya, ot 3 marta 1973 g., v otnoshenii vidov dikoi fauny i flory, nakhodyashchikhsya pod ugrozoi ischeznoveniya, krome osetrovyykh vidov ryb»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of May 4, 2008 No. 337 "On measures to ensure the fulfillment of the obligations of the Russian Federation arising from the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora of March 3, 1973, with respect to endangered species of wild fauna and flora, except sturgeon species of fish"]. Available at: <https://base.garant.ru/12160215/?ysclid=m3yc9fdd1t179669700> (accessed 17.11.2024) (In Russian)
8. *Prikaz MPR Rossii № 195 ot 26.09.2024 g. «Ob utverzhdenii Polozheniya, reglamenta raboty i sostava Nauchnogo organa SITES»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia No. 195 of September 26, 2024 "On approval of the Regulations, work regulations and composition of the Scientific Authority of CITES"]. Available at: <https://base.garant.ru/12131160/?ysclid=m3yaptr2sx284056369> (accessed 17.10.2024) (In Russian)
9. Alekseeva A.A. *Problemy sokhraneniya populyatsii kabargi (Moschus moschiferus L., 1758) v ramkakh vypolneniya obyazatel'stv Rossiiskoi Federatsii Konventsii SITES* [Problems of preserving the musk deer population (*Moschus moschiferus* L., 1758) within the framework of fulfilling the obligations of the Russian Federation to the CITES Convention]. In: *Zhivotnye v ekosistemakh Vnutrennei Azii. Fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Animals in the ecosystems of Inner Asia. Fundamental and applied aspects]. Ulan-Ude, 2024, pp. 15–17. (In Russian)
10. Abasheev R.Yu., Azovskii M.G., Alekseev S.S. et al. *Krasnaya kniga Respubliki Buryatiya: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rastenii i gribov* [Red Book of the Republic of Buryatia: Rare and endangered species of animals, plants and mushrooms]. Ulan-Ude, Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2013, 675 p. (In Russian)
11. *Krasnaya kniga Respubliki Buryatiya. Zhivotnye* [Red Book of the Republic of Buryatia. Animals]. Belgorod, KONSTANTA Publ., 2023, 4th edition, supplemented and revised, 300 p. (In Russian)
12. *Prikaz Minprirody Rossii № 306 ot 23 maya 2016 g. «Ob utverzhdenii poryadka vedeniya Krasnoi knigi Rossiiskoi Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia No. 306 of May 23, 2016 "On approval of the procedure for maintaining the Red Book of the Russian Federation"]. 2016, 9 p. (In Russian)
13. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii, tom «Zhivotnye»* [Red Book of the Russian Federation, volume "Animals"]. Moscow, Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Ecology" Publ., 2021, 2nd ed., 1128 p. (In Russian)
14. Krever V.G., Ivannikova T.O. *Kommercheskii oborot dikikh zhivotnykh v Rossiiskoi Federatsii* [Commercial trade in wild animals in the Russian Federation]. Moscow, WWF Publ., 2020, 328 p. (In Russian)
15. Smelyanskii I., Kamalutdinov G., Roshkanyuk M., Barashkova A., Korolyuk E. *Kommercheskii oborot dikorastushchikh lekarstvennykh i aromatischeskikh rastenii v rossiiskom sektore Altae-Sayanskogo ekoregiona: prirodookhrannye aspekty* [Commercial circulation of wild medicinal and aromatic plants in the Russian sector of the Altai-Sayan ecoregion: environmental aspects]. Novosibirsk, 2009, 72 p. (In Russian)
16. *Krasnaya kniga Zabaikal'skogo kraia. Zhivotnye* [Red Book of the Transbaikal Territory. Animals]. Novosibirsk, OOO «Novosibirsk Publishing House» Publ., 2012, 344 p. (In Russian)
17. *Krasnaya kniga Irkutskoi oblasti* [Red Book of the Irkutsk Region]. Irkutsk, Ulan-Ude, Respublikanskaya tipografiya Publ., 2020, 2nd ed., 552 p. (In Russian)
18. Alekseeva A.A., Elaev E.N. Arkhar (argali) v Rossiiskoi Federatsii. *Informatsionnyi byulleten' TsAIM*. 2024 (in print). (In Russian)
19. Badmaeva E.N., Bazarov L.D., Dorzhiev Ts.Z., Elaev E.N., Gulgenov A.B. Current state and illegal capture of birds of prey in Buryatia. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian ornithological journal]. 2022, vol. 31, Express Edition 2192, pp. 2403–2416. (In Russian)
20. Mezentseva M.V. The problem of criteria for the special value of wild animals and aquatic biological resources included in the list of the RF Government Resolution for the purposes of Articles 2261 and 2581 of the Criminal Code of the Russian Federation. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy*

[Journal of Legal and Economic Studies]. 2023, no. 2, pp. 126–134. (In Russian)

21. *Rossiya i SITES: k 70-i sessii Postoyannogo komiteta SITES (Sochi, 1-5 oktyabrya 2018)* [Russia and CITES: towards the 70th session of the CITES Standing Committee (Sochi, 1-5

October 2018)]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, All-Russian Research Institute of Ecology, Open Design Publishing House, 2018, 104 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Эрдэни Н. Елаев, Аюна А. Алексеева, Александр А. Мокров и Наталья Г. Елаева участвовали в сборе материала, анализе данных. 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

Erdeni N. Yelaev, Ayuna A. Alekseeva, Aleksandr A. Mokrov, Natalia G. Yelaeva are participated in the collection of material, data analysis. 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

Эрдэни Н. Елаев / Erdeni N. Yelaev <https://orcid.org/0000-0002-3961-0055>

Аюна А. Алексеева / Ayuna A. Alekseeva <https://orcid.org/0009-0009-1220-811X>

Александр А. Мокров / Aleksandr A. Mokrov <https://orcid.org/0009-0001-2010-6799>

Оригинальная статья / Original article

УДК 630.181.37

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-9



Лесовосстановление и углеродный баланс лесных экосистем Центральной лесостепи Европейской части России: вызовы и перспективы устойчивого развития

Светлана С. Морковина, Елена А. Колесниченко, Наталия В. Яковенко,
Сергей С. Шешницан, Алексей Н. Водолажский

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Контактное лицо

Наталия В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, НИИ ИТЛК, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8.

Тел. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Формат цитирования

Морковина С.С., Колесниченко Е.А., Яковенко Н.В., Шешницан С.С., Водолажский А.Н. Лесовосстановление и углеродный баланс лесных экосистем Центральной лесостепи Европейской части России: вызовы и перспективы устойчивого развития // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 107-124
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-9

Получена 27 февраля 2025 г.

Прошла рецензирование 14 апреля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Целью статьи является анализ потенциала лесоклиматических проектов по поглощению углерода и обеспечению устойчивого развития экосистем в условиях Центральной лесостепи Европейской части РФ.

В работе использованы статистические данные по лесистости Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей, динамике лесовосстановления, а также сведения о климатических и антропогенных угрозах. Применялись методы сравнительного анализа лесохозяйственных мероприятий, оценки экосистемных услуг и моделирования вклада лесных экосистем в секвестрацию выбросов углерода. Особое внимание уделено анализу эффективности искусственного лесовосстановления.

Установлено, что леса Центральной лесостепи характеризуются низкой лесистостью (8,6 %), высоким удельным весом искусственных насаждений (30–70 %) и ежегодным объемом лесовосстановления до 3 тыс. га. Установлено, что Тамбовская и Липецкая области демонстрируют наивысший углеродный потенциал за счёт более благоприятных условий для роста насаждений, суммарное поглощение углекислого газа за счёт лесовосстановления достигает 11,84–20,39 т/га CO₂-экв., а через 50 лет увеличится до 120,16–164,34 т/га CO₂-экв.

Основными угрозами остаются аридизация климата и лесные пожары, что снижает эффективность классических лесохозяйственных подходов. Старовозрастные деградирующие леса имеют минимальный вклад в депонирование углерода.

Реализация региональных лесоклиматических проектов с акцентом на модернизацию лесовосстановления и повышение устойчивости экосистем может значительно повысить уровень поглощения углерода и способствовать развитию охранных и производственных функций лесов.

Ключевые слова

Лесоклиматические проекты, поглощение углерода, устойчивое развитие экосистем, лесовосстановление.

Reforestation and carbon balance of forest ecosystems in the central forest-steppe of the European part of Russia: Challenges and prospects for sustainable development

Svetlana S. Morkovina, Elena A. Kolesnichenko, Nataliya V. Yakovenko,
Sergey S. Sheshnitsan and Alexey N. Vodolazhskiy

G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

Principal contact

Nataliya V. Yakovenko, Doctor of Geography,
Professor, Research Institute of Innovative
Technologies and the Forestry Complex of the
G.F. Morosov Voronezh State University Forestry
and Technologies; 8 Timiryazev St, Voronezh,
Russia 394087.

Tel. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

How to cite this article

Morkovina S.S., Kolesnichenko E.A., Yakovenko
N.V., Sheshnitsan S.S., Vodolazhskiy A.N.
Reforestation and carbon balance of forest
ecosystems in the central forest-steppe of the
European part of Russia: Challenges and prospects
for sustainable development. *South of Russia:
ecology, development*. 2025; 20(2):107-124. (In
Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-9

Received 27 February 2025

Revised 14 April 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

The aim of the article is to analyse the carbon sequestration potential of forest-climate projects and sustainable development of ecosystems in the conditions of the central forest-steppe of the European part of the Russian Federation.

Statistical data on the forest cover of the Belgorod, Voronezh, Kursk, Lipetsk and Tambov Regions, reforestation dynamics, as well as information on climatic and anthropogenic threats have been used in this work. Methods of comparative analysis of forest management measures, ecosystem services assessment and modelling of forest ecosystems contribution to carbon sequestration have been applied. Particular attention was paid to analysing the effectiveness of artificial reforestation. It was found that the forests of the central forest-steppe are characterised by low forest cover (8.6 %), a high proportion of artificial plantations (30–70 %) and an annual volume of reforestation of up to 3 thousand ha. It was found that the Tambov and Lipetsk Regions demonstrate the highest carbon potential due to more favourable conditions for the growth of plantations. The total carbon dioxide uptake due to reforestation reaches 11.84–20.39 t/ha CO₂-eq. and in 50 years will increase to 120.16–164.34 t/ha CO₂-eq. Climate aridisation and forest fires are the main threats that reduce the effectiveness of classical forest management approaches. Degrading old-growth forests make a minimal contribution to carbon sequestration.

The implementation of regional forest-climatic projects with a focus on modernising reforestation and improving ecosystem resilience can significantly increase carbon sequestration and contribute to the development of conservation and production functions of forests.

Key Words

Forest-climate projects, carbon sequestration, sustainable ecosystem development, reforestation.

ВВЕДЕНИЕ

Растущая обеспокоенность по поводу последствий изменения климата, сопряжённая с сокращением запасов углерода в лесных экосистемах и ослаблением их роли в глобальном углеродном балансе, а также наблюдаемое снижение биоразнообразия [1–3], привели к тому, что современные практики управления лесами оказались в центре внимания научного сообщества и природоохранных организаций.

Считается, что успешные лесовосстановительные мероприятия способны компенсировать значительную часть выбросов парниковых газов (FAO, 2020) [4].

По данным различных авторов, эффективность секвестрации зависит от типа лесорастительных условий, породного состава и возраста насаждений [5].

В частности, искусственные насаждения могут иметь меньшую устойчивость к климатическим и антропогенным стрессам, чем естественные леса, однако способны демонстрировать высокие темпы накопления биомассы при правильном подборе пород и проведении ухода [6]. Важную роль играет также правильное планирование пространственного размещения новых лесных массивов и восстановление деградированных участков [7].

Научные исследования показывают, что для повышения эффективности углеродной функции необходимо интегрировать лесовосстановительные меры с задачами предотвращения деградации лесных экосистем, минимизации рисков пожаров, аридизации, а также внедрения адаптивных хозяйственных практик [8–10].

В частности, зарубежный опыт акцентирует внимание на важности проектов по восстановлению лесов с многообразием видов, что повышает устойчивость к стрессам и увеличивает долголетие лесных биоценозов [11; 12].

Актуальные исследования подчеркивают необходимость интеграции данных о почвенном, надземном и подземном углероде для комплексной оценки лесных экосистем [13; 14].

В последние годы особое внимание уделяется роли региональных и проектных подходов, а также инновационной модернизации лесохозяйственных технологий [15–17]. Проведение лесоклиматических проектов позволяет направить усилия не только на увеличение площади лесов, но и на повышение их экосистемных функций, в том числе по поглощению углерода [18].

Центральная лесостепь Европейской части России характеризуется высокой степенью фрагментации лесных массивов, интенсификацией сельскохозяйственного освоения и интенсивным лесопользованием, что приводит к утрате естественных лесов, снижению биоразнообразия и нарушению процессов круговорота углерода.

Устойчивая регенерация лесных экосистем в данной природной зоне играет критическую роль не только в сохранении природного наследия и восстановлении продуктивности ландшафтов, но и в обеспечении баланса парниковых газов на национальном и глобальном уровнях. В то же время динамика углеродного баланса в лесостепи существенно зависит от структуры породного состава, возрастных классов, режима лесопользования и

климатических параметров, что требует комплексных исследований с применением современных моделей и методов мониторинга.

В контексте международных обязательств России по сокращению выбросов парниковых газов, вопросы лесовосстановления и повышения потенциала секвестрации углерода приобретают особую значимость для Центральной лесостепи – региона, выступающего как важный буфер между лесами тайги и агроландшафтами юга страны.

Целью данной статьи является анализ потенциала лесоклиматических проектов по поглощению углерода и обеспечению устойчивого развития экосистем в условиях Центральной лесостепи Европейской части РФ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступают лесоклиматические проекты, реализуемые в региональных лесных экосистемах Центральной лесостепи Европейской части Российской Федерации и нацеленные на сокращение выбросов парниковых газов. В качестве предмета исследования рассматривались лесные массивы Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей на основе материалов государственного лесного фонда.

В качестве основных источников информации о состоянии, объемах фактически выполненных и планируемых лесохозяйственных мероприятий в исследуемых регионах использовались утверждённые лесные планы (разработанные в соответствии с типовой формой, установленной приказом Минприроды России от 20 декабря 2017 года № 692), а также формы государственного лесного реестра субъектов Российской Федерации.

Оценка изменений выбросов и увеличения поглощения парниковых газов в результате реализации лесохозяйственных мероприятий и лесоклиматических проектов осуществлялась на основании данных государственного учёта лесного фонда, государственного учёта земель и официальной статистической отчётности по лесному хозяйству.

Для количественной характеристики поглощающей способности различных древесных пород использовались сведения о текущем приросте фитомассы действующих насаждений (в т/га в год), систематизированные в сводных таблицах биологической продуктивности нормальных (полных) древостоев, характерных для лесов Северной Евразии видов: сосны, ели, пихты, лиственницы, кедра сибирского, дуба (посевого и порослевого происхождения), бука, ясеня обыкновенного, граба, акации белой, берёзы, осины, липы, ольхи серой, ольхи чёрной, ветлы (ивы белой), клёна. Для обеспечения корректной сопоставимости данных по секвестрации парниковых газов производился отбор однородных статистических групп по классам бонитетов I–III в возрасте насаждений до 40 лет

Поглощение парниковых газов в базовом сценарии в т CO₂ в год рассчитывалось по формуле (1) следующим образом:

$$\Delta C_{\text{базовый}} = \Delta C_{\text{биомасса}} + \Delta C_{\text{МОВ}} + \Delta C_{\text{ПОВ}} \quad (1)$$

где ΔC – суммарное нетто-поглощение территории проекта в сценарии реализации базовой линии, т CO₂;

$\Delta C_{\text{биомасса}}$ – изменение в запасах углерода в пуле биомассы (надземной и подземной) в базовом сценарии, т CO_2 ;

$\Delta C_{\text{МОВ}}$ – изменение в запасах углерода в пуле мертвой древесины, т CO_2 ;

$\Delta C_{\text{ПОВ}}$ – изменение в запасах углерода в пуле органического вещества почвы, т CO_2 .

Общее прогнозное значение изменения содержания углерода за период реализации проекта было определено по формуле (2):

$$\Delta C_{\text{проектный}} = \Delta C_{\text{биомасса}} + \Delta C_{\text{МОВ}} + \Delta C_{\text{ПОВ}} \quad (2)$$

где ΔC – суммарное изменение в запасах углерода после начала проектной деятельности, т C год^{-1} ;

$\Delta C_{\text{биомасса}}$ – изменение в запасах углерода в пуле биомассы (надземной и подземной), т C год^{-1} ;

$\Delta C_{\text{МОВ}}$ – изменение в запасах углерода в пуле валежной древесины, т C год^{-1} ;

$\Delta C_{\text{ПОВ}}$ – изменение в запасах углерода в пуле почвы, т C год^{-1} .

Итоговая проектная линия была определена как разница между проектным и базовым сценариями по формуле (3):

$$\Delta C_{\text{итог}} = \Delta C_{\text{проектный}} - \Delta C_{\text{базовый}} \quad (3)$$

Данные по текущему приросту фитомассы наличного насаждения пересчитывались на углерод фитомассы по формуле (1), а затем из единиц углерода в CO_2 по формуле (2) в соответствии с Методическими

указаниями по количественному определению объёмов поглощения парниковых газов [19].

В исследовании базовый уровень углерода определялся как количество углерода, аккумулированного в результате роста искусственно созданных насаждений сосны обыкновенной, смешанных сосново-берёзовых насаждений или чистых дубовых насаждений в зависимости от типов лесорастительных условий. Этот базовый сценарий является наиболее вероятным в условиях региона исследования, где лесное законодательство требует от лесопользователей проводить лесовосстановление на территориях, пострадавших от лесных пожаров или на вырубках.

Для прогнозной оценки потенциала секвестрации углерода в лесных экосистемах была использована модель углеродного баланса CO2FIX версии 3.2, которая позволяет количественно оценивать динамику потоков углерода между древесной, подстилочной и почвенной составляющими, а также учитывать влияние различных лесохозяйственных мероприятий и сценариев управления лесами на процессы накопления и выброса углерода [20–23]. В настоящем исследовании акцент был сделан на использовании модулей биомассы и почвы модели CO2FIX, в то время как дополнительные модули — продукция, биоэнергетика, экономическая оценка и учёт углерода — не задействовались. Параметризация модели осуществлялась на основе данных, собранных из различных источников, включая государственную статистическую отчётность, материалы таксационных обследований и опубликованные научные работы [24–26] (таблица 1).

Таблица 1. Параметры для оценки динамики лесных насаждений

Table 1. Parameters for assessing the dynamics of forest plantations

Параметры Parameters	Сосна Pine	Берёза Birch	Дуб Oak	Клен Maple	Тополь Poplar	Вяз Elm	Карагана Caragana
Плотность древесины (т/м ³) Wood density (t/m ³)	0,42	0,51	0,58	0,52	0,46	0,55	0,46
Содержание углерода в стволовой древесине (тС/т сух. в-ва) Carbon content of stem wood (tC/t dry matter)	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Содержание углерода в листьях (тС/т сух. в-ва) Carbon content of leaves (tC/t dry matter)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45
Содержание углерода в ветвях (тС/т сух. в-ва) Carbon content of branches (tC/t dry matter)	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Содержание углерода в корнях (тС/т сух. в-ва) Carbon content of roots (tC/t dry matter)	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Скорость обновления листьев (год ⁻¹) Leaf renewal rate (year ⁻¹)	0,18	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Скорость обновления ветвей (год ⁻¹) Branch renewal rate (year ⁻¹)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Скорость обновления корней (год ⁻¹) Root renewal rate (year ⁻¹)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Исходными данными для оценки количественных характеристик древостоев послужили нормативно-справочные материалы, подготовленные группой специалистов под руководством А.З. Швиденко [25] и утверждённые Министерством природных ресурсов Российской Федерации в 2006 году. Данные материалы предоставляют обширную базу информации о биологической продуктивности различных древесных пород в зависимости от потенциальной продуктивности место произрастания (бонитет), что позволяет корректно осуществлять межрегиональное и межпородное сопоставление.

Для моделирования текущего годичного прироста древесины использовались значения, приведённые в таблицах биологической продуктивности (ТБП) для I–III классов бонитета, что охватывает диапазон наиболее распространённых условий формирования лесных экосистем Центральной лесостепи. С целью повышения точности расчетов величина прироста по каждому субъекту Федерации и каждому типовому насаждению определялась с интерполяцией между смежными классами бонитета, исходя из средневзвешенной бонитетной оценки и типичного породного состава лесов региона.

Для смешанных древостоев расчёт осуществлялся по принципу взвешенного среднего: прирост для каждой древесной породы определялся в соответствии с её удельной долей в структуре насаждения, благодаря чему интегральный показатель приростной динамики отражал реальный видовой состав и продуктивность смешанных лесов. Такой подход обеспечивает репрезентативность получаемых данных для ландшафтных и региональных уровней оценки.

Для углублённого анализа компонентного строения биомассы были отдельно рассчитаны относительные приросты основных фракций (ствол, ветви, листья, корни):

- Для сосны, берёзы, дуба и клёна – по показателям ТБП, приведённым для соответствующих пород и условий лесостепи, что позволило максимально учесть видовые и экологические особенности.

- Характеристики прироста тополя брались из специализированной разработки [25] при этом относительные значения прироста вегетативных органов (ветви, листья, корни) вычислялись с опорой на соответствующие параметры осины, учитывая близость морфолого-биологических признаков.

- Для вяза использовались количественные данные годичного прироста из работы [25], а относительные показатели распределения биомассы между надземными и подземными компонентами оценивались по аналогичным данным.

- В отношении караганы расчёты осуществлялись комплексно на основании всего массива экспериментальных данных работы [26], позволяющих разделять долю фитомассы, приходящуюся на каждую морфологическую фракцию.

Комплексный подход к использованию нормативно-справочных и специализированных источников, сопряжённый с поэтапной разбивкой структуры прироста биомассы, позволил получить

детализированные и валидные оценки динамики продукционного процесса и углеродного баланса в различных типах лесных насаждений лесостепи Центральной России.

Для оценки динамики органического углерода в почве применялась модель Yasso [20] — современная процессно-ориентированная динамическая модель круговорота углерода, широко используемая в исследованиях лесных экосистем. Модель Yasso была адаптирована как для хвойных, так и для лиственных лесов, что позволило комплексно учесть специфику литтерообразования различных типов фитоценозов. В рамках данной модели опад подразделялся на несколько функциональных категорий: недревесный опад (листья и мелкие корни), мелкий древесный опад (ветви и крупные корни), а также крупный древесный опад (стволы и пни). Последний учитывался в совокупности в расчётах общего поступления древесного детрита. Для корневого опада применялась дополнительная классификация в соответствии с пропорциями между ветвями и листьями, что обеспечивало более точное отражение состава поступающего органического материала. Ключевой особенностью модели Yasso является детализированное описание процессов фракционирования и разложения органического вещества, динамика которых зависит от температуры среды и доступности почвенной влаги. Такие климатические параметры, как средняя температура воздуха и уровни влажности, встраиваются непосредственно в расчетные блоки модели, что позволяет достоверно учитывать влияние текущих и прогнозируемых климатических условий на темпы распада органического материала и аккумуляцию углерода в почвенном профиле.

Использование данной модели обеспечило возможность проведения количественных оценок общего запаса органического углерода в почве, а также комплексного анализа процессов, определяющих долгосрочную устойчивость углеродных резервуаров в лесных экосистемах на фоне изменяющихся климатических факторов. Среднемесячные температуры и продолжительность вегетационного периода были указаны в соответствии с таблицей 2.

Выбросы и поглощение, связанные с плановыми рубками ухода (осветлением и прочисткой в 8- и 13-летнем возрасте с интенсивностью 15 %, а также прореживанием в 35 лет с интенсивностью 15 %), учитывались во всех сценариях, за исключением прореживаний в лиственных насаждениях. В базовом сценарии учитывали приживаемость и сохранность лесных культур сосны в Центральной лесостепи по имеющимся данным [18]. Пересчёт из единиц углерода в единицы CO₂ проводится с учётом коэффициента 44/12.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состояние лесного хозяйства Центральной лесостепи Европейской части Российской Федерации определяется рядом ключевых характеристик, отражающих структурно-функциональные особенности, ресурсный потенциал и современные тенденции развития региональных лесных экосистем.

Таблица 2. Среднемесячные температуры воздуха, осадки и длительность вегетационного сезона*
Table 2. Mean monthly air temperatures, precipitation and duration of the growing season*

Месяц года Month of the year	Среднемесячная температура воздуха, °C Average monthly air temperature, °C						Вегетационный сезон Growing season
	Орел Orel	Курск Kursk	Валуйки Valuiki	Воронеж Voronezh	Елец Yelets	Тамбов Tambov	
Январь / January	–6.1	–5.9	–7.8	–6.0	–6.6	–7.5	Нет / No
Февраль / February	–5.8	–5.5	–7.6	–5.5	–6.4	–7.3	Нет / No
Март / March	–0.8	–0.3	–2.8	–0.3	–1.2	–1.9	Нет / No
Апрель / April	7.6	8.2	3.9	+8.8	7.8	7.7	Да / Yes
Май / May	14.3	14.8	9.3	+15.5	14.9	15.0	Да / Yes
Июнь / June	17.9	18.4	13.3	+19.1	18.4	18.5	Да / Yes
Июль / July	19.8	20.3	15.2	+21.3	20.5	20.7	Да / Yes
Август / August	18.5	19.4	13.5	+20.2	19.0	19.1	Да / Yes
Сентябрь / September	12.7	13.5	8.4	+13.3	13.2	13.2	Да / Yes
Октябрь / October	6.4	6.9	3.5	+7.5	6.7	6.5	Нет / No
Ноябрь / November	0.0	0.1	–1.5	+0.5	–0.3	–0.7	Нет / No
Декабрь / December	–4.3	–4.3	–5.9	–4.1	–4.8	–5.6	Нет / No
За сезон, мм During the season, mm	353	349	312	367	313	279	–

Примечание: * – по данным метеостанций в субъектах Центральной лесостепи
 Note: * – according to meteorological stations in the regions of the central forest-steppe

Во-первых, практически все территории лесного фонда Центральной лесостепи Европейской части Российской Федерации обладают потенциалом включения в хозяйственный оборот, за исключением участков, регулируемых в соответствии с установленными ограничениями лесного законодательства в части эксплуатации защитных лесов. Совокупная площадь лесных ресурсов региона, по состоянию на 2023 год, составляет 1,554 млн га.

Во-вторых, преобладающее большинство лесных массивов в пределах Центральной лесостепи относится к категории защитных лесов, наделённых приоритетной экологической функцией, включающей сохранение биоразнообразия и формирование высококачественных экосистемных услуг.

В-третьих, породный спектр лесов региона характеризуется явным доминированием мягколиственных пород: их площадь приблизительно в два раза превышает участки, занятые хвойными насаждениями, и в четыре раза — территории твердолиственных лесов.

В-четвёртых, общий запас древесины в региональных лесах оценивается в 271,8 млн м³, однако объём освоения расчётной лесосеки реализуется лишь на 28 %, что указывает на значительный резерв неиспользованного экономического потенциала.

В-пятых, площадь лесных пожаров на территории Центральной лесостепи составляет 62 га, тогда как годовой объём лесовосстановления и лесоразведения достигает 3,1 тыс. га.

Анализ динамики развития региональных экосистем Центральной лесостепи позволяет выделить несколько устойчивых тенденций:

- увеличение общей площади лесных земель, в том числе защитных лесов, на 4 %, что способствует стабилизации уровня лесистости региона;
- изменение породного состава насаждений, обусловленное сокращением площадей твердолиственных насаждений одновременно с расширением площадей мягколиственных и хвойных пород;

- незначительный рост продуктивности лесов, обеспечивающий некоторое увеличение запасов древесины;
- снижение фактического использования лесных ресурсов, а также уменьшение объёмов освоения расчётной лесосеки, что влечёт за собой уменьшение инвестиционной привлекательности лесоклиматических проектов.

Совокупность приведённых факторов свидетельствует о возрастании климатических рисков в экосистемах Центральной лесостепи Европейской части России, связанных с изменениями температурного режима, ростом частоты и масштабов природных пожаров, а также повышением вероятности распространения вредных организмов.

Характеристики лесного фонда исследуемых региональных экосистем по состоянию на 01.01.2023 г. представлены в таблице 3.

Для прогнозирования поглощения выбросов парниковых газов в результате реализации мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению сначала спрогнозированы объёмы площадей, создаваемых и сохраняющихся лесных культур, так как это основной способ лесовосстановления на рассматриваемых территориях. Разработано два варианта прогнозов (реалистичный и оптимистичный) динамики площадей искусственного лесовосстановления. Прогнозы основываются на экстраполяции фактических объёмов лесовосстановления и лесоразведения за последние 5 лет на следующие пять лет, с учетом плановых объёмов лесовосстановления, приведенных в Лесном плане субъекта. Принцип формирования прогнозных значений покажем на примере Белгородской области. реалистичный прогноз основан на динамике фактических площадей искусственного лесовосстановления с их экстраполяцией на следующие 5 лет по уравнению (4):

$$y = -6,529 \ln x + 81,23 \quad (4)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного лесовосстановления, га;

x – номера следующих лет в прогнозе (рис. 1).

Таблица 3. Характеристика лесного фонда субъектов Центральной лесостепи Русской равнины по состоянию на 01.01.2023

Table 3. Characterisation of the forest fund of the regions of the central forest-steppe of the Russian Plain as of 01.01.2023

Наименование показателя Name of indicator	Белгородская область Belgorod Region	Воронежская область Voronezh Region	Курская область Kursk Region	Липецкая область Lipetsk Region	Тамбовская область Tambov Region	Орловская область Orel Region
Общая площадь лесов, га Total forest area, ha	230,8	475,9	236,8	180,4	374,8	173,1
Площадь лесных земель, га Forest land area, ha	223,1	381,4	224,2	169,6	349,1	102,2
Лесистость, % Forest cover, %	8,7	8,3	8,2	8,7	10,6	8,0
Площадь земель, покрытых лесной растительностью, тыс. га Area of land covered with forest vegetation, th.ha	219,8	349,9	219,8	165,2	342,3	100,4
Общий запас насаждений, млн м³ Total stock of plantations, mln. m³	47,14	61,84	40,55	33,13	65,92	21,56
Средний возраст, лет Average age, years	71	60	58	61	52	59
Бонитет Bonitet	2,3	2,3	2,5	1,5	1,6	2,0

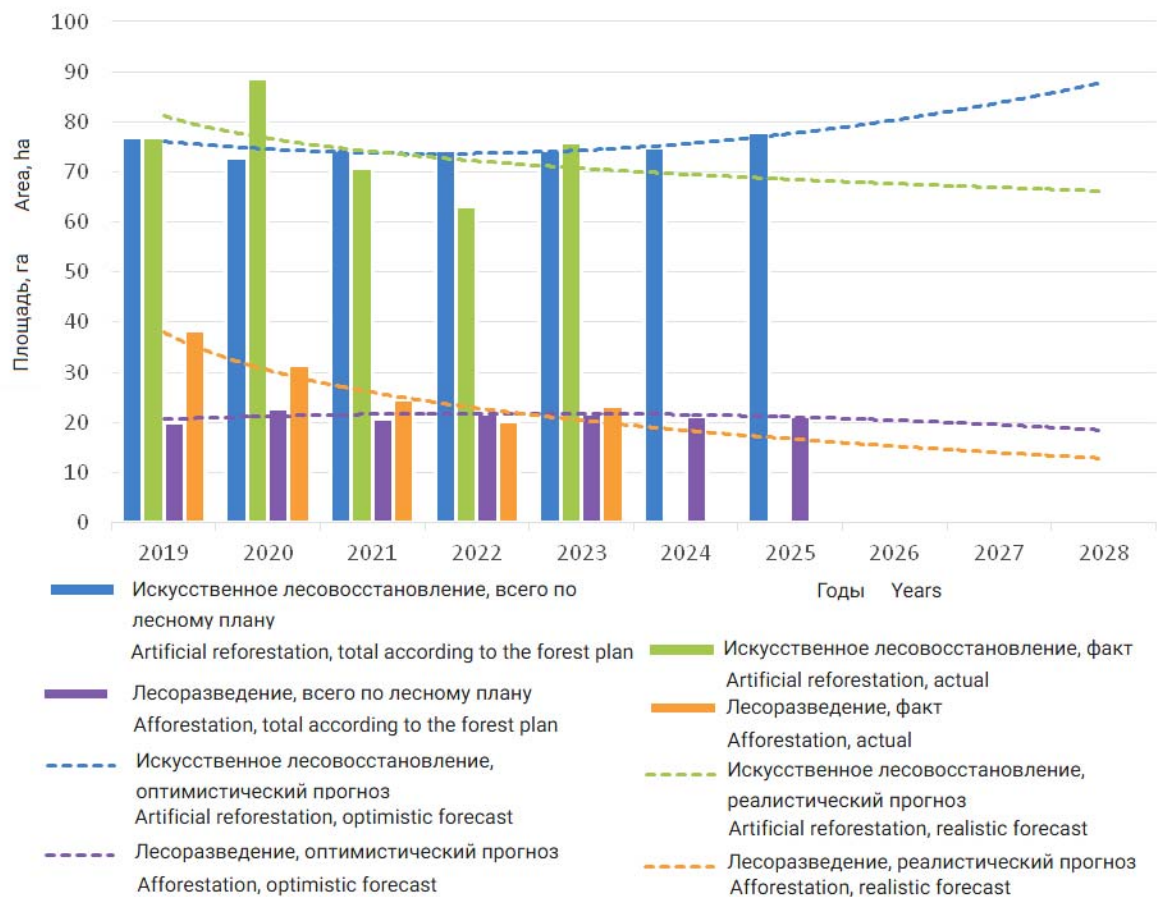


Рисунок 1. Прогнозируемые объёмы искусственного лесовосстановления и лесоразведения в Белгородской области

Figure 1. Projected areas of artificial reforestation and afforestation in the Belgorod region

Ввиду того, что действующий лесной план субъекта завершается в 2025 году, долгосрочное прогнозирование объёмов лесовосстановления на период до 2028 года осуществлялось путём экстраполяции утверждённых проектных показателей на последующий трёхлетний интервал. В основу расчёта легла предпосылка о сохранении темпов и объёмов лесовосстановительных мероприятий на уровне запланированных лесным планом на ближайшие годы,

что соответствует оптимистичному сценарию развития лесного сектора региона.

Экстраполяция осуществлялась с использованием формализованного подхода, при котором площади лесовосстановления на 2026–2028 годы определялись по уравнению (5), учитывающему среднегодовые показатели реализации лесохозяйственных мероприятий в базовый период планирования. Данный метод позволяет не только обеспечить преемственность прогноза, но и количественно оценить потенциал устойчивого развития лесных экосистем в условиях возможного продолжения действующей политики в лесном секторе. Такой подход обеспечивает обоснованность получаемых результатов и позволяет использовать их при стратегическом планировании природоохранных и лесохозяйственных мероприятий на региональном уровне.

Формула расчёта отражает непосредственное продолжение динамики освоения лесовосстановительных площадей, зафиксированной в официальной проектной документации, и позволяет объективно оценить потенциальный вклад данных процессов в общее повышение лесистости и углеродного потенциала территории на обозримую перспективу.

$$y = 0,3512x^2 - 2,5488x + 78,271 \quad (5)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного лесовосстановления, га;

x – номера следующих лет в прогнозе.

Кроме лесовосстановления в Белгородской области имеются значительные объёмы площадей пригодных для лесоразведения.

Их прогнозные значения для оптимистичного и реалистичного прогнозов рассчитываются по следующим уравнениям соответственно (6, 7):

$$y = -0,1071x^2 + 0,9357x + 19,786 \quad (6)$$

$$y = -10,95 \ln x + 38,027 \quad (7)$$

где y – прогнозируемая площадь лесоразведения, га;

x – номера следующих лет в прогнозе.

В связи с отсутствием лесоразведения в Воронежской области и крайне низкими объёмами искусственного лесовосстановления на протяжении последних трёх лет, в рамках оптимистичного прогноза на последующий период предполагается сохранение сложившейся стагнации. Учитывая ограниченность инициирования новых лесных культур и невысокую интенсивность работ по воспроизводству лесных ресурсов, ожидается, что площади восстанавливаемых лесов в регионе останутся на прежнем, минимальном уровне либо незначительно изменятся.

В Курской области на протяжении последних четырёх лет фиксируется устойчивая тенденция к сокращению площадей ежегодного лесовосстановления, что, несмотря на отдельный эпизодический рост подобных работ в 2020 году, отражает общие структурные проблемы лесного сектора области – недостаточный уровень инвестиций, ограниченные технические и кадровые ресурсы, а также неоптимальные природно-климатические условия для успешного воспроизводства лесов. Соответственно, среднесрочный оптимистичный прогноз по Курской области также основан на допущении сохранения текущей отрицательной динамики либо её стабилизации на фоне реализации существующих лесохозяйственных программ.

Ситуация в Липецкой области характеризуется несколько иными тенденциями. В течение последних пяти лет фактические объёмы лесовосстановительных работ стабильно превышали плановые показатели, что свидетельствует о более высоком административном и организационном потенциале регионального лесного хозяйства. Тем не менее, даже при превышении целевых значений наблюдается общая тенденция к снижению ежегодных площадей лесовосстановления. Это может быть обусловлено исчерпанием наиболее доступных для восстановления земель, изменением приоритетов управления земельными и лесными ресурсами, а также возможными ограничениями финансового и ресурсного характера. Поэтому, даже при условии сохранения эффективной региональной политики в сфере лесовосстановления, в ближайшие годы целесообразно ожидать либо дальнейшей стабилизации, либо несущественного снижения объёмов искусственного и естественного восстановления лесов.

В целом, несмотря на отдельные позитивные примеры превышения плановых показателей или кратковременных всплесков активности, динамика лесовосстановления в данных субъектах Центральной лесостепи демонстрирует сдержанный или негативный тренд, что требует разработки дополнительных стимулирующих мер и комплексной адаптации лесохозяйственной политики к региональным вызовам и ограничениям (8):

$$y = 398,64e^{-0,076x} \quad (8)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного лесовосстановления по пессимистичному сценарию, га;

x – номера следующих лет в прогнозе.

При оптимистичном прогнозе следующие пять лет лесокультурные площади не снизятся до плановых значений, принятых в качестве реалистичных, и определяются по следующему уравнению (9):

$$y = -88,9 \ln x + 405,46 \quad (9)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного лесовосстановления, га;

x – номера следующих лет в прогнозе.

Лесным планом субъекта лесоразведение не предусмотрено, и в прогнозе также отсутствует.

В Орловской области значительная доля лесовосстановительных мероприятий — около 16 % — реализуется по комбинированной технологии, включающей элементы как искусственного, так и естественного восстановления лесов. Такой интегрированный подход позволяет более эффективно использовать потенциал территории для воспроизводства лесных ресурсов, а также повышает устойчивость создаваемых биоценозов за счёт сочетания разновозрастных и разнородных групп деревьев.

В расчётах прогноза динамики лесовосстановления эта доля комбинированных посадок была полностью учтена и включена в итоговые оценки, что обеспечивает более полное отражение лесохозяйственных процессов региона. Актуальный анализ динамики показывает, что в последние годы в Орловской области наблюдается устойчивая положительная тенденция: фактические объёмы лесовосстановления не только стабильно превышают плановые показатели, заложенные в территориальных

программах, но и демонстрируют поступательный рост. Это свидетельствует о наличии в регионе благоприятных организационно-экономических и природных условий для наращивания масштабов и эффективности восстановления лесов.

В рамках оптимистичного сценария прогнозирования предполагается сохранение сложившейся тенденции опережающего выполнения плановых заданий по лесовосстановлению. Такой подход отражает реалистичные перспективы управляемого роста объемов посадок при условии сохранения текущей политики, ресурсной поддержки и положительного опыта реализации лесопосадочных проектов. Количественная динамика данного процесса формализуется следующим уравнением, аккумулирующим не только показатели традиционного искусственного и естественного лесовосстановления, но и вклад комбинированных технологий. Таким образом, Орловская область может рассматриваться как пример эффективного сочетания традиционных и инновационных методов восстановления лесов, способствующих не только сохранению, но и расширению лесного фонда региона в средне- и долгосрочной перспективе (10):

$$y = 12,702 \ln x + 58,884 \quad (10)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного и комбинированного лесовосстановления, га;

x – номера следующих лет в прогнозе

В Тамбовской области для оценки перспектив развития лесного комплекса были сформированы три сценария прогноза лесовосстановления, отражающие различные варианты динамики данного процесса в среднесрочной перспективе.

Анализ статистических данных за последние годы показывает, что в период с 2019 по 2022 год наблюдался устойчивый положительный тренд: фактические площади лесовосстановления систематически превышали значения, определённые официальными программами и лесным планом региона. Это свидетельствовало о высокой активности природоохранных структур и надлежащем уровне организации работ в сфере восстановления лесных экосистем. Однако в 2023 году произошёл резкий перелом: объем выполненных лесовосстановительных мероприятий снизился на 22 % относительно плановых ориентиров, предусмотренных документами стратегического планирования.

Указанный прецедент рассматривается как значимый индикатор возможных рисков и внешних ограничений – как природно-климатических (неблагоприятные погодные условия, засухи), так и экономико-организационных (сокращение финансирования, нехватка посадочного материала или персонала), – способных оказывать существенное влияние на способность региона обеспечивать стабильное воспроизводство и расширение лесного фонда.

На этой основе в сценарном анализе был сформулирован пессимистичный вариант развития, при котором ежегодные объемы лесовосстановления прогнозируются на уровне, существенно уступающем как плановым проектным значениям, так и предыдущим годам с их устойчивым ростом. Данный прогноз отражает возможность закрепления негативной тенденции, что может привести к

сдерживанию темпов восстановления лесных экосистем, снижению способности региона к углеродной секвестрации, а также ослаблению экологических и социально-экономических функций лесов.

Разработка пессимистичного сценария позволяет наглядно продемонстрировать потенциальные потери и вызовы при реализации лесохозяйственной политики в условиях неблагоприятных обстоятельств, что особенно важно для принятия обоснованных управленческих и профилактических решений, как на региональном, так и на федеральном уровнях.

Уравнение, описывающее динамику лесовосстановительных площадей в рамках пессимистичного сценария развития, принимает следующий вид (11):

$$y = -0,031 \ln x + 939,96 \quad (11)$$

где y – прогнозируемая площадь искусственного лесовосстановления (пессимистичный прогноз), га;

x – номера следующих лет в прогнозе.

Данная формализованная модель позволяет количественно оценить ожидаемое сокращение объемов лесовосстановления при сохранении негативных тенденций и акцентирует внимание на необходимости принятия мер по стабилизации и поддержке отрасли в условиях неблагоприятных экономических и природных факторов

Основываясь на анализе периода, для которого характерен устойчивый рост объемов лесовосстановления, был построен оптимистичный прогноз, предполагающий сохранение среднегодового темпа превышения плановых показателей на протяжении последующих пяти лет. Такой сценарий отражает потенциал лесохозяйственного комплекса региона при благоприятных социально-экономических и природно-климатических условиях, а также эффективной реализации существующих мер государственной поддержки. В рамках данного сценария проведён расчёт динамики изменения фонда искусственного лесовосстановления для всех исследованных областей Центральной лесостепи Европейской части России.

При построении оптимистического прогноза учитывались стартовые плановые объёмы лесовосстановления, а также среднегодовой ввод обезлесенных площадей (вырубок) в состав лесокультурного фонда, что позволило смоделировать поступление новых площадей под восстановление. Важным допущением данного сценария выступает условие полной сохранности создаваемых лесных культур: прогноз исходит из максимальной успешности приживаемости и отсутствия списаний в течение всего расчетного периода.

В отличие от оптимистичного, реалистичный прогноз базируется на предположении о среднерегиональном темпе списания лесных культур по причинам их неудовлетворительного приживания или гибели. Для каждой области был принят индивидуальный процент списания, отражающий специфику местных лесорастительных условий и эффективности восстановительных работ: для Белгородской области – 7,2 %, Воронежской – 40 %, Курской – 7,7 %, Липецкой – 12,1 %, Орловской – 33,1 %, Тамбовской – 7,7 %. Такой подход обеспечивает более

взвешенную и реалистичную оценку перспектив формирования покрытой лесом площади.

Пессимистичный прогноз, в свою очередь, предполагает не только сохранение средних уровней списания создаваемых лесных культур, но и снижение общих темпов лесовосстановления по сравнению с предшествующим периодом, что отражает возможные неблагоприятные стратегические, финансовые или климатические вызовы.

Сформированные прогнозные оценки площадей лесовосстановления до 2028 года послужили исходными данными для расчёта потенциального дополнительного депонирования парниковых газов лесными насаждениями. При условии благоприятного развития событий и успешного перевода лесных культур в покрытую лесом площадь, эти значения могут стать ключевым вкладом в региональный и национальный углеродный баланс, способствуя выполнению климатических обязательств страны и повышению экологической устойчивости территорий Центральной лесостепи.

Для комплексной оценки вклада лесных экосистем регионов Центральной лесостепи в климатическую повестку крайне важно не только моделировать динамику площадей лесовосстановления, но и количественно анализировать связанные с этим процессы выброса и секвестрации парниковых газов. Такой анализ позволяет установить, в какой мере реализация различных сценариев восстановления лесов способна сформировать дополнительный вклад в снижении углеродного следа региона и повысить долгосрочную экологическую устойчивость лесных ландшафтов.

В рамках проведённого исследования была осуществлена оценка баланса парниковых газов, обусловленного осуществлением лесохозяйственных мероприятий, с учетом, как антропогенных выбросов,

так и поглощения углерода за счёт роста и развития новых древесных насаждений и связанных с ними биогеохимических процессов. Расчёты, выполненные для различных сценариев, показывают, что динамика изменения запасов органического углерода тесно коррелирует с изменением объемов поглощения и выброса парниковых газов на региональном уровне.

Поскольку все изучаемые регионы демонстрируют схожие закономерности в изменениях углеродных пулов и в величинах связанного с этим потока парниковых газов при реализации аналогичных лесохозяйственных стратегий, целесообразным представляется рассмотреть результаты детального моделирования на примере одного субъекта — Белгородской области, как региона, отражающего типичные для Центральной лесостепи лесорастительные условия и темпы ведения хозяйства. Этот подход позволит наглядно проанализировать все элементы углеродного цикла в лесных экосистемах, оценить динамику эмиссии и секвестрации CO₂ при различных вариантах лесовосстановления, а также экстраполировать полученные выводы на другие территории с аналогичными климатическими и почвенно-экологическими условиями.

В дальнейшем представлен сравнительный анализ результатов моделирования для базового сценария лесохозяйственных мероприятий в разрезе основных типов лесорастительных условий, что позволит выявить основные факторы и механизмы, определяющие устойчивость лесных экосистем к изменению климата и их роль в формировании регионального углеродного баланса.

На рисунке 2 представлена динамика выбросов и поглощения парниковых газов в ходе создания и роста сосновых монокультурных насаждений (далее — 10С) в бедных лесорастительных условиях (далее — А₁ и А₂).

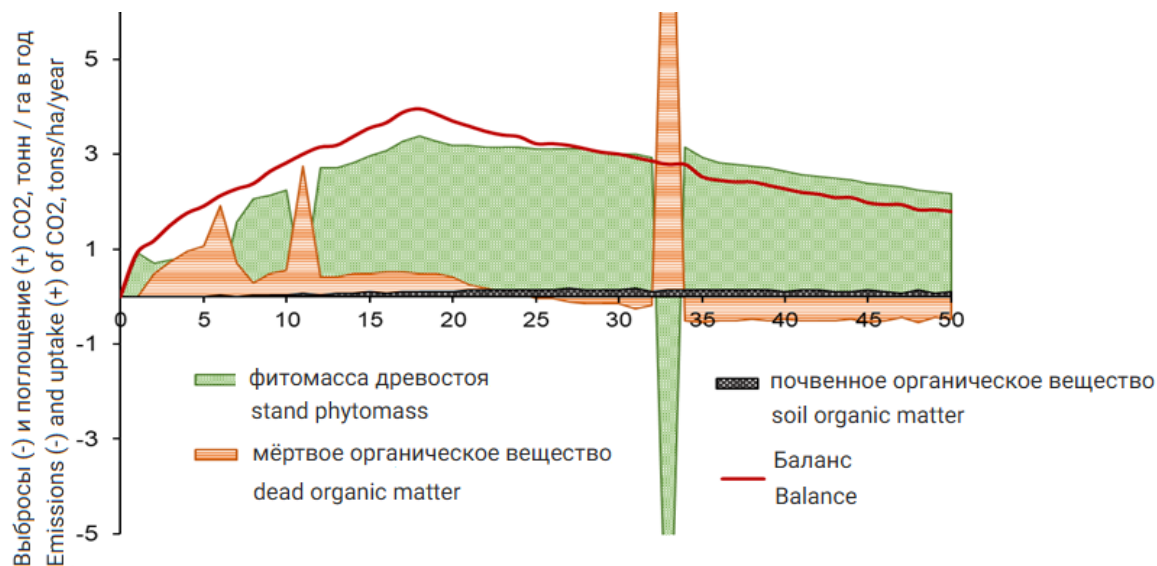


Рисунок 2. Ежегодные выбросы и поглощения парниковых газов по пулам углерода и их баланс в условиях А₁ и А₂
Figure 2. Annual greenhouse gas emissions and removals by carbon pool and their balance under A₁ and A₂ conditions

Отметим, что лесохозяйственные мероприятия по лесовосстановлению занимают в среднем период до 10 лет (до перевода в покрытую лесом площадь), в течение которого осуществляется создание условий для активного формирования фитомассы древостоя. Этот этап характеризуется интенсивным поглощением

углекислого газа, что обусловлено ростом лесных культур. К 20–25 годам достигается максимум накопления углерода в фитомассе, составляющий около 3 т/га CO₂. При этом необходимо учитывать, что проведение плановых рубок ухода, включая осветление и прочистку в 8 и 13 лет с интенсивностью 15 %,

оказывает умеренное воздействие на баланс углерода. Эти мероприятия временно снижают углеродные запасы за счёт удаления части деревьев, но одновременно способствуют улучшению условий освещённости и аэрации, что стимулирует рост оставшихся деревьев. В возрасте 35 лет, при выполнении прореживания с аналогичной интенсивностью, наблюдается кратковременное снижение накопленного углерода, связанное с изъятием древесины, однако это компенсируется последующим увеличением продуктивности древостоя. Динамика мёртвого органического вещества отличается значительной вариабельностью. Особенно значительные выбросы фиксируются после прореживания в возрасте 35 лет, что связано с разложением увеличенного объёма древесных остатков. Эти результаты свидетельствуют о необходимости разработки и внедрения дополнительных мер,

направленных на минимизацию выбросов. Таким образом, общий углеродный баланс в базовом сценарии демонстрирует положительную динамику на протяжении первых 30 лет, что обусловлено активным накоплением углерода в фитомассе. После проведения рубок ухода наблюдается временное снижение баланса, однако оно компенсируется за счёт стабильного накопления углерода в почве и дальнейшего роста древостоя.

Фитомасса древостоя в свежих субориях (далее – В₂) со смешанным составом сосново-берёзовых насаждений (далее – 5С5Б) демонстрирует значительно более высокие темпы накопления углерода на начальных стадиях лесовосстановления по сравнению с А₁ и А₂. На рисунке 3 видно, что в первые 10 лет наблюдается интенсивное поглощение углекислого газа, что связано с активным ростом.

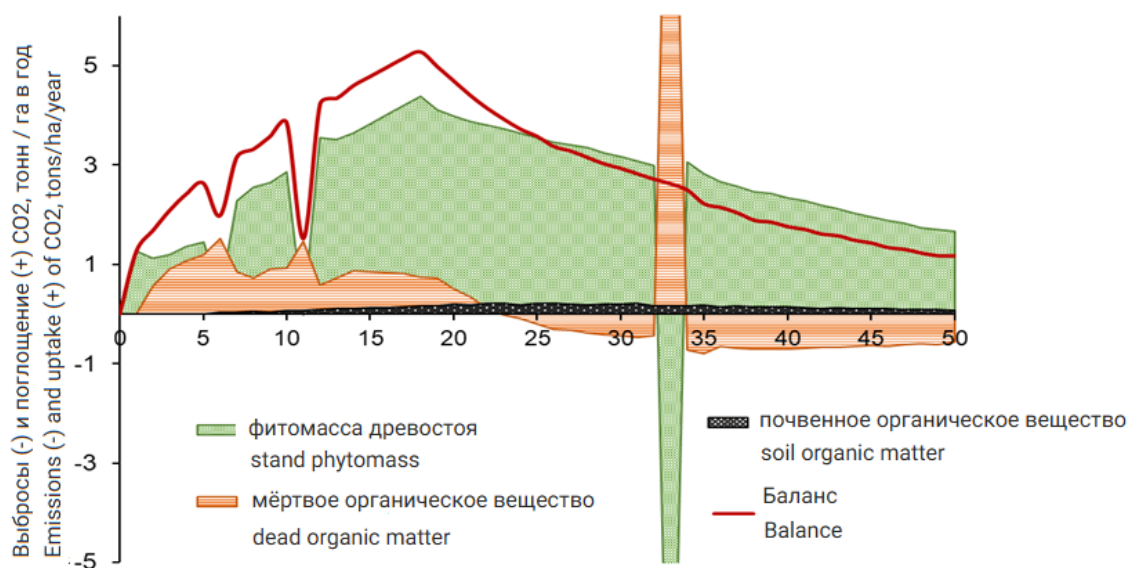


Рисунок 3. Ежегодные выбросы и поглощения парниковых газов по пулам углерода и их баланс в условиях В₂

Figure 3. Annual greenhouse gas emissions and removals by carbon pool and their balance under B₂ conditions

Максимум накопления углерода в фитомассе достигается к возрасту 20–25 лет и составляет около 3,5–4 т CO₂/га, что превышает аналогичные показатели для А₁ и А₂. 5С5Б обеспечивает оптимальное использование ресурсов благодаря сочетанию светолюбивой сосны и менее требовательной к освещению берёзы. После 30 лет темпы накопления углерода замедляются, что связано с возрастным снижением прироста биомассы, однако общий объём запасённого углерода остаётся выше, чем в А₁ и А₂. Для пула мёртвого органического вещества в условиях В₂ характерны более выраженные пики выбросов углерода, особенно после рубок ухода. В первые 10 лет накопление мёртвого органического вещества происходит за счёт опада и естественного отпада (гибели) лесных культур. Рубки ухода, проведённые в 8 и 13 лет, вызывают умеренные выбросы углекислого газа из-за разложения древесных остатков, однако эти выбросы компенсируются ускоренным ростом оставшихся деревьев. В возрасте 35 лет прореживание приводит к значительному всплеску выбросов, что связано с поступлением большого объёма органических остатков в почву. В отличие от А₁ и А₂, где объём остаточного материала меньше из-за более низкой продуктивности насаждений, в условиях В₂ выбросы оказывают более

заметное влияние на общий углеродный баланс. В целом, результирующий углеродный баланс в В₂ на протяжении первых 30 лет демонстрирует более высокие значения по сравнению с А₁ и А₂.

Таким образом, более благоприятные лесорастительные условия В₂ обеспечивают интенсивный рост насаждений и более эффективное накопление углерода. В₂ позволяет оптимально использовать доступные ресурсы, что улучшает общий углеродный баланс. Однако рубки ухода в этих условиях требуют особого внимания к управлению остаточными материалами, чтобы минимизировать выбросы и сохранить положительный эффект лесохозяйственных мероприятий.

Дубовые насаждения (далее – 10 Д) демонстрируют стабильное ежегодное поглощение углекислого газа в смешанной фитомассе (далее – С₂ и Д₂). В первые 10 лет темпы поглощения возрастают по мере увеличения роста древостоя, что соответствует начальным стадиям формирования насаждений. Максимальные значения ежегодного поглощения углекислого газа отмечаются в возрасте 20–30 лет и составляют около 3,5 т/га CO₂. Это значение превышает аналогичные показатели для других типов лесорастительных условий, таких как А₁ или В₂, за

счёт более благоприятных почвенных условий и высокой продуктивности. После 30 лет ежегодное поглощение постепенно снижается, что связано с возрастным

замедлением прироста биомассы, однако этот показатель остаётся стабильно высоким в сравнении с другими типами древостоев (рис. 4).

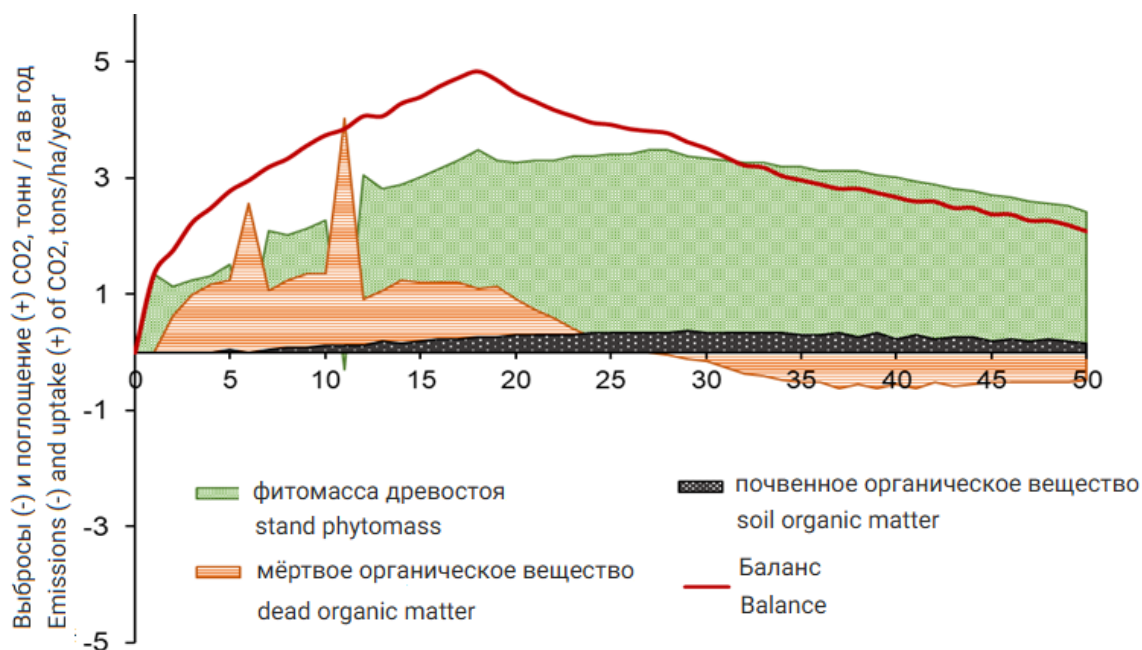


Рисунок 4. Ежегодные выбросы и поглощение парниковых газов по пулам углерода и их баланс в условиях C_2 и D_2
Figure 4. Annual greenhouse gas emissions and removals by carbon pool and their balance under C_2 and D_2 conditions

Отказ от проведения рубок ухода в течение первых 35 лет функционирования насаждений обеспечивает максимальный уровень секвестрации углерода, позволяя избежать потерь, которые неминуемо сопровождали бы удаление части деревьев и последующее разложение древесных остатков. За счёт сохранения полноты состава древостоя весь доступный объём фитомассы продолжает эффективно накапливать органический углерод.

Вклад мёртвого органического вещества в формирование углеродного баланса характеризуется умеренным уровнем эмиссии углекислого газа, особенно заметным на ранних этапах развития молодого леса. Наиболее выраженные пики выбросов приходятся на возраст 8–10 лет, что связано с естественным отпадом части ослабленных и затенённых деревьев, а также интенсивным разложением свежих органических остатков. После завершения данного этапа динамика эмиссии стабилизируется, и выбросы CO_2 из пула мёртвого органического вещества поддерживаются на относительно низком и устойчивом уровне.

В отсутствие рубок ухода на протяжении 35 лет дальнейшее поступление детрита в почву ограничено, что способствует минимизации дополнительных выбросов углекислого газа. Подобная стратегия позволяет поддерживать максимально положительное сальдо углеродного баланса в экосистеме. Так, моделирование динамики углеродного баланса для условий, соответствующих типам C_2 и D_2 , демонстрирует устойчивое накопление углерода на протяжении первых трёх десятилетий. Пик запаса углерода достигается к 30-му году развития насаждений; в дальнейшем отмечается постепенное снижение темпов годового прироста вследствие возрастного замедления продукционных процессов в древесном сообществе.

В целом, результаты моделирования показывают значительные различия в ежегодном поглощении и выбросах углекислого газа для различных типов

лесорастительных условий (A_1 , A_2 , B_2 , C_2 , D_2). Эти различия обусловлены как природными особенностями условий, так и характером лесохозяйственных мероприятий, включая лесовосстановление (период до 10 лет) и рубки ухода. Прежде всего, бедные условия (A_1 и A_2) демонстрируют низкую интенсивность ежегодного поглощения углерода в фитомассе. На начальных стадиях (до 10 лет) темпы прироста деревьев ограничены, что снижает объёмы поглощения. Максимальные значения (около 3 т/га CO_2) достигаются к возрасту 20–25 лет, после чего темпы резко снижаются. В более благоприятных условиях (B_2) поглощение значительно выше: максимум достигает 3,5–4 т/га CO_2 в возрасте 20–25 лет. Наиболее продуктивными являются условия C_2 и D_2 , где дубовые насаждения поддерживают стабильно высокие показатели ежегодного поглощения (до 3,5 т/га CO_2) даже после 30 лет. Динамика выбросов углерода из мёртвого органического вещества также варьируется. В условиях A_1 и A_2 выбросы умеренные, их пики связаны с рубками ухода в 8, 13 и 35 лет. В B_2 выбросы выше, особенно после прореживания в 35 лет. В C_2 и D_2 отсутствие рубок ухода в 35 лет минимизирует выбросы.

Сравнительный анализ субъектов Центральной лесостепи (см. таблицу 4) позволяет выявить отчетливые различия в характеристиках лесных экосистем, обусловленные как уникальными природно-климатическими факторами каждого региона, так и особенностями структуры древесных насаждений. Несмотря на определённую унификацию методов ведения лесного хозяйства и типовую схожесть применяемых лесовосстановительных мероприятий, сказываются значимые территориальные различия по уровню лесистости, породному составу, продукционным возможностям и потенциалу секвестрации углерода. В совокупности эти различия отражают комплексный характер адаптации лесных экосистем к локальным

условиям среды и подчеркивают необходимость лесным фондом в разрезе каждого субъекта региона. разработки дифференцированных стратегий управления

Таблица 4. Суммарные выбросы (в) и поглощение (п) парниковых газов (в т CO₂-экв./га) в результате лесохозяйственных мероприятий в субъектах Центральной лесостепи
Table 4. Total emissions (c) and absorption (p) of greenhouse gases (in t CO₂-eq./ha) as a result of forestry operations in the subjects of the central forest-steppe region

Субъект Region	К году By the year	Потоки Flows	Состав насаждений / Composition of plantations								
			10С / 10P			5С5Б / 5P5B			10Д / 10O		
			Ф / F	МОВ DOM	ПОВ SOM	Ф / F	МОВ DOM	ПОВ SOM	Ф / F	МОВ DOM	ПОВ SOM
Белгородская область Belgorod Region	10	в е п а	0	0	0	-0,02	0	0	-0,29	0	0
			12,39	9,90	0,22	17,12	10,08	0,31	15,47	15,66	0,44
	50	в е п а	-9,09	-9,61	0	-11,59	-14,58	0	-0,29	-10,49	0
			120,38	26,40	5,13	131,34	31,19	6,29	136,14	27,94	10,74
Воронежская область Voronezh Region	10	в е п а	0	0	0	-0,02	0	0	-0,29	0	0
			12,39	9,06	0,29	17,12	10,89	0,42	15,47	10,63	0,55
	50	в е п а	-9,09	-10,38	0	-11,59	-15,51	0	-0,29	-8,10	0
			120,38	23,61	5,24	131,34	29,19	6,42	136,14	20,24	10,63
Курская область Kursk Region	10	в е п а	0	0	0	-0,18	0	0	-0,22	0	0
			12,39	9,28	0,26	18,11	11,37	0,37	14,04	12,91	0,48
	50	в е п а	-9,09	-10,19	0	-11,84	-15,31	0	-0,22	-8,03	0
			120,38	24,16	5,21	132,33	29,74	6,20	127,60	20,83	9,79
Орловская область Orel Region	10	в е п а	0	0	0	0	0	0	-0,33	0	0
			11,84	8,91	0,26	18,35	9,48	0,40	17,23	15,66	0,59
	50	в е п а	-8,91	-9,06	0	-12,39	-15,35	0	-0,33	-10,60	0
			120,16	22,99	4,91	138,12	29,59	6,33	148,50	23,87	10,96
Тамбовская область Tambov Region	10	в е п а	0	0	0	-0,02	0	0	-0,37	0	0
			14,70	11,70	0,26	20,09	11,42	0,37	19,65	19,25	0,55
	50	в е п а	-10,60	-11,95	0	-13,46	-16,52	0	-0,37	-14,12	0
			132,99	30,10	5,65	146,14	34,05	6,44	161,11	30,36	11,37
Липецкая область Lipetsk Region	10	в е п а	0	0	0	0	0	0	-0,33	0	0
			14,74	11,33	0,29	20,39	10,51	0,39	20,17	18,52	0,62
	50	в е п а	-10,60	-12,32	0	-13,71	-16,92	0	-0,33	-14,12	0
			133,06	28,97	5,79	148,23	33,26	6,51	164,34	28,78	11,66

Примечание: Ф – фитомасса древостоя, МОВ – мёртвое органическое вещество, ПОВ – почвенное органическое вещество,
С – сосна, Б – береза, Д – дуб, в – выброс, п – поглощение
Note: F – stand phytomass, DOM – dead organic matter, SOM – soil organic matter, P – pine, B – birch, O – oak,
e – ejection, a – absorption

В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что наименее продуктивные лесные насаждения формируются в относительно бедных лесорастительных условиях (Курская и Воронежская области), для которых характерно пониженное углеродное поглощение по сравнению с Тамбовской и Липецкой областями, обладающими более высокими потенциалами лесорастительной продуктивности. Выбросы углекислого газа в исследованных регионах связаны преимущественно с разложением мёртвого органического материала, а в меньшей степени — с почвенным органическим веществом; величины этих выбросов варьируют в зависимости от возраста древостоев и особенностей их породного состава. В среднем объёмы выбросов остаются стабильными в разных регионах, однако их вклад оказывается более значительным в смешанных насаждениях, где увеличен объём опада и древесных остатков.

Сопоставительный анализ лесных экосистем Центральной лесостепи свидетельствует о прямой зависимости интенсивности процессов углеродного секвестирования и выбросов парниковых газов от сочетания природно-климатических факторов и породного состава древостоев. Наиболее высокий углеродный потенциал фиксируется в Тамбовской и Липецкой областях благодаря оптимальным условиям для роста и развития древесных насаждений. Величина суммарного поглощения углекислого газа лесовосстановительными процессами достигает 11,84–20,39 т/га CO₂-экв. с перспективой увеличения до 120,16–164,34 т/га CO₂-экв. через 50 лет. При этом стартовые значения выбросов минимальны (0 т/га CO₂-экв.), однако через полувековой период они могут достичь — 16,92 т/га CO₂-экв. в смешанных сосново-берёзовых насаждениях за счёт проведения рубок

ухода за лесом. Полученные данные подчёркивают необходимость учёта породного состава насаждений и условий среды при планировании и реализации лесохозяйственных мероприятий для максимизации углеродного баланса и оптимизации региональных климатических стратегий.

Учитывая ранее установленную необходимость расширения комплекса лесохозяйственных мероприятий и прогнозируемые площади их проведения, была осуществлена количественная оценка выбросов и поглощения парниковых газов при реализации программ лесовосстановления, лесоразведения, рубок ухода (осветления, прочистки, прореживания, проходные рубки), санитарно-оздоровительных мероприятий (выборочные санитарные рубки, удаление неликвидной древесины), а также мероприятий по предупреждению и тушению лесных пожаров, включая контролируемые профилактические выжигания.

Расчёт депонирования атмосферного углерода в результате лесовосстановления и лесоразведения осуществлялся к моменту перевода соответствующих площадей в категорию покрытых лесом земель с использованием конверсионных коэффициентов, учитывающих породу возобновления, минимальную густоту и высоту древостоев по лесным районам. Поглощённые объёмы CO₂ приведены для года, соответствующего моменту перевода лесных культур в категорию покрытых лесом земель.

Прогнозные значения объёмов поглощения CO₂ в результате перевода лесных культур в покрытые лесом участки, рассчитанные в рамках оптимистического, реалистичного и пессимистичного сценариев проведения лесовосстановительных мероприятий, представлены в таблице 5.

Таблица 5. Прогнозируемые объёмы поглощения CO₂ в результате лесовосстановительных мероприятий в субъектах Центральной лесостепи

Table 5. Projected volumes of CO₂ uptake as a result of forest restoration measures in the regions of the central forest-steppe

Субъект / Region	Вид прогноза Type of forecast	Объёмы поглощения т CO ₂ -экв. ПГ при лесовосстановлении по годам Volumes of absorption of t CO ₂ -eq. GHGs during reforestation by years				
		2024	2025	2026	2027	2028
Белгородская область Belgorod Region	Оптимистичный Optimistic	1718,4	1224,0	821,7	714,8	667,8
	Реалистичный Realistic	1057,7	917,8	722,1	579,6	549,0
	Пессимистичный Pessimistic	668,2	528,1	391,0	341,4	318,0
Воронежская область Voronezh Region	Оптимистичный Optimistic	7650,8	3452,2	3212,5	2912,7	2922,4
	Реалистичный Realistic	5323,8	3019,2	2796,5	2535,2	2540,4
	Пессимистичный Pessimistic	2976,3	2855,5	2651,9	2231,9	2307,9
Курская область Kursk Region	Оптимистичный Optimistic	997,3	868,8	802,1	750,5	723,8
	Реалистичный Realistic	605,0	560,4	581,8	543,2	522,3
	Пессимистичный Pessimistic	550,4	468,5	473,3	409,7	400,3

Липецкая область Lipetsk Region	Оптимистичный Optimistic	3581,7	1267,8	1208,2	1000,6	774,7
	Реалистичный Realistic	2336,3	1396,4	1132,9	943,6	752,5
	Пессимистичный Pessimistic	1168,1	1282,5	989,2	818,5	668,7
Орловская область Orel Region	Оптимистичный Optimistic	223,7	144,3	103,8	89,1	74,5
	Реалистичный Realistic	116,2	73,9	76,2	68,0	53,8
	Пессимистичный Pessimistic	87,2	57,5	60,0	49,9	44,4
Тамбовская область Tambov Region	Оптимистичный Optimistic	1983,3	772,8	810,9	833,6	751,8
	Реалистичный Realistic	1151,1	816,0	834,5	835,0	754,9
	Пессимистичный Pessimistic	428,0	511,0	534,6	588,7	514,6

1. Воронежская область. Демонстрирует наибольшие значения по всем сценариям. В оптимистичном сценарии поглощение достигает максимума в 2024 году (7650,8 т), затем значительно снижается (2922,4 т к 2028 году). Реалистичный и пессимистичный сценарии также показывают тенденцию к сокращению, но стартовые и итоговые значения остаются существенно выше большинства других регионов.

2. Липецкая область. Занимает второе место по объему поглощения CO₂. В оптимистичном сценарии в 2024 году фиксируется 3581,7 т, к 2028 году – 774,7 т. Для реалистичного и пессимистичного сценариев значения также достаточно высоки, что свидетельствует о значительном потенциале региона к секвестрации углерода даже при неблагоприятных условиях.

3. Тамбовская область. Показатели поглощения схожи с Липецкой областью: в 2024 году – 1983,3 т (оптимистичный сценарий), в 2028 году – 751,8 т. При реалистичном сценарии динамика сохраняется на уровне 1151,1 т в 2024 году и 754,9 т в 2028 году. Пессимистичный сценарий показывает меньшее, но незначительно отличающееся снижение (428,0 -> 514,6 т).

4. Белгородская область. Значения более скромные, максимальный объем в 2024 году – 1718,4 т (оптимистичный), к 2028 – 667,8 т. По реалистичному и пессимистичному сценариям данные также указывают на устойчивое снижение.

5. Курская область. Общий объем поглощения ниже, чем у вышеперечисленных регионов: 997,3 т в 2024 (оптимистичный) и 723,8 т в 2028 году. Здесь отличие между сценариями менее выражено, что указывает на устойчивость лесных экосистем, но не на их высокую производительность.

6. Орловская область. Продемонстрировала наименьшие значения поглощения: оптимистичный сценарий – от 223,7 т в 2024 до 74,5 т в 2028 году. Для реалистичного и пессимистичного сценариев значения еще ниже.

Таким образом, во всех регионах наблюдается снижение объемов поглощения CO₂ по годам, что может быть обусловлено постепенным насыщением молодых насаждений, снижением потенциала лесовосстановления или спецификой внесённого годового вклада. Наиболее контрастно сценарные различия проявляются в Воронежской, Липецкой и

Тамбовской областях. Наибольший вклад в секвестрацию углерода по итогам пятилетнего периода обеспечивают Воронежская, Липецкая и Тамбовская области, что связано с более высокими природно-климатическими ресурсами, активной политикой лесовосстановления и большей площадью лесных земель. Белгородская, Курская и Орловская области уступают им по данному показателю. Эти данные подчеркивают значительную региональную дифференциацию потенциала лесов Центральной лесостепи к поглощению CO₂, что необходимо учитывать при разработке и реализации лесоклиматических и природоохранных программ. Для максимизации секвестрационного потенциала требуется адаптация лесохозяйственных мероприятий к местным условиям и эффективная реализация лесовосстановительных работ по оптимистичным сценариям.

На основании проведенного анализа установлено, что при сохранении текущих тенденций совокупный объем поглощения парниковых газов в лесных экосистемах Центральной лесостепи через 50 лет может достичь 120,16–164,34 т/га CO₂-экв. Тем не менее, для обеспечения устойчивого развития региональных экосистем и повышения эффективности секвестрации углерода целесообразно не ограничиваться только плановыми объемами лесовосстановления до 2028 года. Необходимым условием достижения целевых показателей является увеличение масштабов создания лесных насаждений с использованием саженцев с закрытой корневой системой на площади не менее чем на 4 830 га. Такой подход позволит не только усилить углеродный баланс, но и существенно повысить адаптационный потенциал и стабильность лесных экосистем в условиях нарастающих климатических и антропогенных воздействий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования дана всесторонняя оценка современного состояния углеродного баланса лесных экосистем Центральной лесостепи Европейской части России, а также рассмотрены перспективы его улучшения в контексте реализации лесоклиматических проектов. Проведён комплексный анализ динамики естественного и искусственного лесовосстановления, породного разнообразия, продуктивности, использо-

вания лесных ресурсов, а также ключевых факторов, ограничивающих потенциал региона по секвестрации углерода. Установлено, что величина вклада лесного покрова в поглощение парниковых газов существенно определяется не только типом насаждений и экологическими условиями, но и эффективностью реализации лесохозяйственных мероприятий, используемых технологий, а также наличием координированной государственной и региональной поддержки лесного сектора.

Выявлено, что наибольший углеродный потенциал характерен для территорий с благоприятными лесорастительными условиями и активным участием в программах восстановления и расширения лесов, прежде всего за счёт выращивания ценных пород на основе современных агротехнологий и применения посадочного материала с закрытой корневой системой. В то же время в ряде районов сохраняется значительный нереализованный потенциал увеличения площади лесных культур, что обусловлено как естественными ограничениями (почвенно-климатические условия, фрагментированность земель), так и недостаточной интенсивностью внедрения инновационных практик в лесном хозяйстве.

Прогнозные сценарии демонстрируют, что при сохранении существующих тенденций и реализации набора организационно-правовых и технологических мер общий объем секвестрации углекислого газа может возрасти и достичь среднепогодных значений 120–164 т/га CO₂-экв. за полувековой период. Однако достижение целевых индикаторов в плане поглощения парниковых газов и устойчивого развития региона требует комплексной адаптации лесохозяйственной политики с приоритетом на инновационные методы организации производства, расширение масштабов искусственного лесовосстановления, оптимизацию породного состава, а также внедрение устойчивых форм управления лесами, среди которых особое значение приобретает мониторинг состояния экосистем с использованием дистанционного зондирования и геоинформационных систем.

Реализация комплекса мер по расширению лесных площадей, оптимизации породного состава и внедрению современных агротехнологий обеспечит не только дополнительное поглощение парниковых газов, но и повысит устойчивость экосистем к неблагоприятным климатическим и антропогенным воздействиям, тем самым способствуя сохранению природного капитала региона и улучшению качества жизни населения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FZUR-2024-0001, № 124020100131-5).

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FZUR-2024-0001, № 124020100131-5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jönsson M., Snäll T. Ecosystem service multifunctionality of low-productivity forests and implications for conservation and

management // *J Appl Ecol.* 2020. N 57. P. 695–706.

<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13569>

2. Mikkonen N., Leikola N., Lehtomäki J., Halme P., Moilanen A. National high-resolution conservation prioritisation of boreal forests // *Forest Ecology and Management.* 2023. V. 541. Article ID: 121079.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121079>

3. Mönkkönen M., Juutinen A., Mazziotta A. et al. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns // *J Environ Manage.* 2014. N 134. P. 80–89.

<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.12.021>

4. Состояние лесов мира 2022. Лесохозяйственные стратегии развития как инструмент экологически сбалансированного восстановления и создания инклюзивной, жизнестойкой и устойчивой экономики. Рим, ФАО. URL:

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/de76d76e-289a-4bbc-a661-0aeabb30a710/content>.

<https://doi.org/10.4060/cb9360ru> (дата обращения: 02.03.2025)

5. Brack D. Forests and Climate Change, Background Analytical Study prepared for the fourteenth session of the United Nations Forum on Forests, 2019. URL: <https://www.un.org/esa/forests/wpcontent/uploads/2019/03/UNFF14-BkgdStudy-SDG13-March2019.pdf>. (дата обращения: 02.03.2025)

6. Busch J. et al. Potential for Low-cost Carbon Dioxide Removal through Tropical Reforestation // *Nature Climate Change.* 2019. N 9(6). P. 463–470.

<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>

7. Cushman S.A., McKelvey K.S., Hayden J., Schwartz M.K. Gene flow in complex landscapes: testing multiple hypotheses with causal modeling // *Am Nat.* 2006. N 168(4). P. 486–499.

8. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Перспективные способы и технологии восстановления нарушенных лесных экосистем, улучшение качества и повышение продуктивности лесов Европейского Севера РФ // *Экологический Вестник Северного Кавказа.* 2020. Т. 16. N 1. С. 85–86.

9. Обыденников В.И., Волков С.Н., Коротков С.А. Эколого-географические аспекты лесоводственных систем // *Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник.* 2016. Т. 20. N 2. С. 6–16.

10. Попов Н.Л. Лесовосстановление в России: текущее состояние и пути развития // *Современные аспекты экономики.* 2021. N 6(286). С. 26–36.

11. Löf M., Madsen P., Metslaid M. et al. Restoring forests: regeneration and ecosystem function for the future // *New Forests.* 2019. V. 50. P. 139–151.

<https://doi.org/10.1007/s11056-019-09713-0>

12. Silva L., Freer-Smith P., Madsen P. Production, restoration, mitigation: a new generation of plantations // *New Forests.* 2019. N 50(2). P. 153–168.

13. Nandal A., Yadav S.S., Rao A.S. et al. Advance methodological approaches for carbon stock estimation in forest ecosystems // *Environ Monit Assess.* 2023. N 195. P. 315.

<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10898-9>

14. Шварц Е.А., Птичников А.В. Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в ее реализации // *Научные труды Вольного экономического общества России.* 2022. Т. 236. N 4. С. 399–426. DOI: 10.38197/2072-2060-2022-236-4-399-426

15. Шанин В.Н., Фролов П.В., Коротков В.Н. Всегда ли искусственное лесовосстановление может быть лесоклиматическим проектом? // *Вопросы лесной науки.* 2022. N 2. Статья N 106. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-106

16. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 2020. N 5. P. 661–687.

<https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>

17. Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // *Scientific Reports*. 2021. N 11. Article ID: 12825.
18. Морковина С.С., Шешнищан С.С., Иванова А.В., Яковенко Н.В., Прядилина Н.К. Потенциал и инвестиционная привлекательность проектов по улучшенному лесному хозяйству в условиях возрастающих климатических вызовов // *Юг России: экология, развитие*. 2024. Т. 19. N 3. С. 180–192. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-18
19. Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов. URL: https://eipc.center/pdf/analitic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf (дата обращения: 02.04.2025)
20. Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievanen R. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils // *Ecological Modelling*. 2005. N 189. P. 168–182.
21. Masera O.R., Garza-Caligaris J.F., Kanninen M. et al. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach // *Ecological Modelling*. 2003. V. 164. P. 177–199.
22. Paustian K., Ravindranath N.H., van Amstel A.R. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. 2006. V. 4. P. 1–21.
23. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Laur N.V. Biological and economic features of the 'Voronezh Giant' hybrid poplar // *IOP Conference series: Earth and Environmental science*. 2020. V. 574. N 1. Article ID: 012083.
24. Pietsch S.A., Hasenauer H., Thornton P.E. BGC-model parameters for tree species growing in central European forests // *Forest Ecology and Management*. 2005. N 211(3). P. 264–295.
25. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Москва: Федеральное агентство лесного хозяйства, ИАASA, 2008. 886 с.
26. Li Q., Jia Z., Feng L., He L. Dynamics of biomass and carbon sequestration across a chronosequence of Caragana intermedia plantations on alpine sandy land // *Scientific Reports*. 2018. V. 8(1). Article ID: 12432.

REFERENCES

1. Jönsson M., Snäll T. Ecosystem service multifunctionality of low-productivity forests and implications for conservation and management. *J Appl Ecol.*, 2020, no. 57, pp. 695–706. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13569>
2. Mikkonen N., Leikola N., Lehtomäki J., Halme P., Moilanen A. National high-resolution conservation prioritisation of boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 2023, vol. 541, article id: 121079. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121079>
3. Mönkkönen M., Juutinen A., Mazziotta A. et al. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *J Environ Manage*, 2014, no. 134, pp. 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.021>
4. The state of the world's forests 2022. Forestry development strategies as a tool for environmentally balanced recovery and the creation of an inclusive, resilient and sustainable economy. Rome, FAO Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d76d76e-289a-4bbc-a661-0aeabb30a710/content>. <https://doi.org/10.4060/cb9360ru> (accessed: 02.03.2025)
5. Brack D. Forests and Climate Change, Background Analytical Study prepared for the fourteenth session of the United Nations Forum on Forests, 2019. Available at:

- <https://www.un.org/esa/forests/wpcontent/uploads/2019/03/UNFF14-BkgdStudy-SDG13-March2019.pdf> (accessed: 02.03.2025)
6. Busch J. et al. Potential for Low-cost Carbon Dioxide Removal through Tropical Reforestation. *Nature Climate Change*, 2019, no. 9(6), pp. 463–470. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>
7. Cushman S.A., McKelvey K.S., Hayden J., Schwartz M.K. Gene flow in complex landscapes: testing multiple hypotheses with causal modeling. *Am Nat.*, 2006, no. 168(4), pp. 486–499.
8. Surina E.A., Senkov A.O. Promising methods and technologies for restoring disturbed forest ecosystems, improving the quality and productivity of forests in the European North of the Russian Federation. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2020, vol. 16, no. 1, pp. 85–86. (In Russian)
9. Obyedennikov V.I., Volkov S.N., Korotkov S.A. Ecological and geographical aspects of forestry systems. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoi vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of Forests - Lesnoi Vestnik]. 2016, vol. 20, no. 2, pp. 6–16. (In Russian)
10. Popov N.L. Reforestation in Russia: current status and development paths. *Sovremennye aspekty ekonomiki* [Modern aspects of economics]. 2021, no. 6(286), pp. 26–36. (In Russian)
11. Löf M., Madsen P., Metslaid M. et al. Restoring forests: regeneration and ecosystem function for the future. *New Forests*, 2019, no. 50, pp. 139–151. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09713-0>
12. Silva L., Freer-Smith P., Madsen P. Production, restoration, mitigation: a new generation of plantations. *New Forests*, 2019, no. 50(2), pp. 153–168.
13. Nandal A., Yadav S.S., Rao A.S. et al. Advance methodological approaches for carbon stock estimation in forest ecosystems. *Environ Monit Assess.*, 2023, no. 195, p. 315. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10898-9>
14. Shvarts E.A., Ptichnikov A.V. The strategy of low-carbon development of Russia and the role of forests in its implementation. *Scientific papers of the Free Economic Society of Russia*, 2022, vol. 236, no. 4, pp. 399–426. DOI: 10.38197/2072-2060-2022-236-4-399-426
15. Shanin V.N., Frolov P.V., Korotkov V.N. Can artificial reforestation always be a forest-climatic project? *Questions of forest science*, 2022, no. 2 (106). (In Russian) DOI: 10.31509/2658-607x-202252-106
16. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2020, no. 5, pp. 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
17. Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 2021, no. 11, article id: 12825.
18. Morokovina S.S., Sheshnitsan S.S., Ivanova A.V., Yakovenko N.V., Pryadilina N.K. Potential and investment attractiveness of improved forestry projects under increasing climatic challenges. *South of Russia: ecology, development*, 2024, no. 9(3), pp. 180–192. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-18
19. On the approval of methodological guidelines for the quantitative determination of greenhouse gas absorption. Available at: https://eipc.center/pdf/analitic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf (accessed: 02.04.2025)
20. Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievanen R. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*. 2005, no. 189, pp. 168–182.

21. Masera O.R., Garza-Caligaris J.F., Kanninen M. et al. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling*. 2003, vol. 164, pp. 177–199.
22. Paustian K., Ravindranath N.H., van Amstel A.R. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006, vol. 4, pp. 1–21.
23. Tsarev A.P. Tsareva R.P., Tsarev V.A., Laur N.V. Biological and economic features of the 'Voronezh Giant' hybrid poplar. IOP Conference series: Earth and Environmental science. 2020, vol. 574, no. 1, article id: 012083.
24. Pietsch S.A., Hasenauer H., Thornton P.E. BGC-model parameters for tree species growing in central European forests. *Forest Ecology and Management*. 2005, no. 211(3), pp. 264–295.
25. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilsson S., Bului Y.I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdenii osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoi Evrazii (normativno-spravochnye materialy)* [Tables and models of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia (normative and reference materials)]. Moscow, Federal Forestry Agency, IASA Publ., 2008, 886 p. (In Russian)
26. Li Q., Jia Z., Feng L., He L. Dynamics of biomass and carbon sequestration across a chronosequence of Caragana intermedia plantations on alpine sandy land. *Scientific Reports*. 2018, vol. 8(1), article id: 12432.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана С. Морковина разработала концепцию и дизайн исследования, написала первую версию статьи. Елена А. Колесниченко провела расчеты по оценке эффективности инвестиционных проектов. Наталия В. Яковенко несет ответственность за все аспекты работы и гарантирует соответствующее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью всех частей публикации. Сергей С. Шешницан одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей в редакцию, сформулировал результаты исследования и заключительные выводы. Алексей Н. Водолажский подготовил графический и картографический материал.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana S. Morkovina developed the concept and design of the research and wrote the first version of the article. Elena A. Kolesnichenko undertook calculations to evaluate the effectiveness of investment projects. Nataliya V. Yakovenko by agreement was responsible for all aspects of the work and to guarantee appropriate consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity all parts of the publication. Sergey S. Sheshnitsan approved the final version of the article before its submission for publication, formulated research results and final conclusions. Alexey N. Vodolazhskiy prepared graphic and cartographic materials.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Светлана С. Морковина / Svetlana S. Morkovina <https://orcid.org/0000-0003-3776-5181>
 Елена А. Колесниченко / Elena A. Kolesnichenko <https://orcid.org/0000-0002-1213-3199>
 Наталия В. Яковенко / Nataliya V. Yakovenko <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>
 Сергей С. Шешницан / Sergey S. Sheshnitsan <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>
 Алексей Н. Водолажский / Alexey N. Vodolazhskiy <https://orcid.org/0000-0003-0847-3462>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 632.4.01/.08

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10



Фитопатологический скрининг и идентификация генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале озимых российской селекции

Валерия Д. Руденко, Галина В. Волкова, Ольга А. Кудинова, Ольга Ф. Ваганова

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Валерия Р. Руденко, аспирант, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350040 Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 62.

Тел. +79181486565

Email agapovaleraa@ya.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>

Формат цитирования

Руденко В.Д., Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Фитопатологический скрининг и идентификация генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале озимых российской селекции // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 125-139. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10

Получена 22 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 10 июня 2024 г.

Принята 23 сентября 2024 г.

Резюме

Цель – фитопатологическая оценка перспективных сортов пшеницы и тритикале озимых к возбудителю бурой ржавчины и идентификация в них генов устойчивости.

Материалом для исследования являлись 15 сортов пшеницы и тритикале озимых отечественной селекции. Критериями устойчивости к бурой ржавчине служили: тип реакции (балл) и степень поражения (%), площадь под кривой развития болезни (ПКРБ, у.е.) и индекс устойчивости (ИУ). Для идентификации *Lr*-генов использовали фитопатологическое тестирование и молекулярные маркеры.

Сорт тритикале Арго был абсолютно устойчив (0). Высокоустойчивыми являлись сорта тритикале Азнавур и Аргус, а также сорта пшеницы: Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Секлетия. К умеренно устойчивым отнесли шесть сортов пшеницы: Акапелла, Арсенал, Былина Дона, Вольница, Каролина 5, Корона. Сорта с расоспецифическим типом устойчивости составили 73 % изученных. С использованием молекулярных маркеров идентифицировали ген возрастной устойчивости *Lr34* в сорте тритикале Арго и сортах пшеницы: Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина 5, Корона, Секлетия. *Lr18* был найден в двух сортах тритикале (Азнавур и Арго). С помощью фитопатологического тестирования было выявлено большинство неэффективных генов, за исключением *Lr36*, который является эффективным и постулирован в сортах пшеницы Богема, Вольный Дон, Жаворонок, а ген *Lr17* – умеренноэффективным и выявлен в сорте Вольница.

Полученные данные важно учитывать в региональных селекционных программах и применять для научно обоснованного размещения сортов в производственных посевах.

Ключевые слова

Пшеница, тритикале, бурая ржавчина, *Puccinia triticina*, фитопатологическая оценка, идентификация, гены устойчивости, молекулярные маркеры, фитопатологическое тестирование.

Phytopathological screening and identification of *Lr* genes in wheat varieties and winter triticale of Russian selection

Valeria D. Rudenko, Galina V. Volkova, Olga A. Kudinova and Olga F. Vaganova

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Valeria R. Rudenko, postgraduate student, researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Center of Biological Plant Protection, 62 Kalinina St, Krasnodar, Russia 350040.

Tel. +79181486565

Email agapovaleraa@ya.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>

How to cite this article

Rudenko V.D., Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F. Phytopathological screening and identification of *Lr* genes in wheat varieties and winter triticale of Russian selection. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):125-139. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10

Received 22 March 2024

Revised 10 June 2024

Accepted 23 September 2024

Abstract

Aim. Phytopathological assessment of leaf rust resistance and identification of *Lr* genes in 15 zoned varieties of wheat and winter triticale.

The material for the study was 15 varieties of winter wheat and triticale of domestic selection. The criteria for resistance to leaf rust were: type of reaction (score) and degree of damage (%), area under the disease development curve (ADDC, a.u.) and resistance index (RI). Phytopathological testing and molecular markers were used to identify genes.

The triticale variety Argo was absolutely resistant (0). Triticale varieties Aznavur and Argus were highly resistant, as well as wheat varieties, Bogema, Volny Don, Zhavoronok, Kavalierka, Karavan and Sekletiya. Six wheat varieties were classified as moderately resistant: Akapella, Arsenal, Bylina Dona, Volnitsa, Karolina 5 and Korona. Varieties with a race-specific type of resistance accounted for 73 % of those studied. Using molecular markers, the age resistance gene *Lr34* was identified in the triticale variety Argo and wheat varieties, Akapella, Arsenal, Vol'nica, Vol'nyj Don, Zhavoronok, Karolina 5, Korona and Sekletiya. *Lr18* was found in two triticale varieties, Aznavur and Argo). Using phytopathological testing, most of the ineffective genes were identified under field conditions, with the exception of *Lr36*, which is effective and postulated in the wheat varieties Bogema, Volny Don, Zhavoronok, and the *Lr17* gene is moderately effective and was identified in the Volnitsa variety.

It is important to take the data obtained here into account in regional breeding programmes and apply them for scientifically based placement of varieties in industrial crops.

Key Words

Wheat, triticale, leaf rust, *Puccinia triticina*, phytopathological assessment, identification, resistance genes, molecular markers, phytopathological testing.

ВВЕДЕНИЕ

Буряя ржавчина пшеницы (возбудитель фитопатогенный гриб – *Puccinia triticina* Erikss.) снижает количество и качество урожая зерна во всем мире. Патоген широко распространен и способен быстро эволюционировать, что приводит к появлению новых вирулентных рас [1]. Сорты, внедряемые в производство, должны иметь разные типы и гены устойчивости, способные снижать скорость роста патогена [2]. В настоящее время в государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, зарегистрировано более 200 сортов пшеницы озимой и 50 сортов тритикале озимой для районирования в Северо-Кавказском регионе. Несмотря на успехи в селекции на иммунитет, буряя ржавчина пшеницы остается актуальной проблемой [3]. Устойчивость к фитопатогенам – это один из важных признаков конкурентной способности сортов сельскохозяйственных растений [4]. Рациональное применение устойчивых сортов в производственных посевах позволит снизить пестицидную нагрузку, такой прием является экономически и экологически выгодным для защиты сельскохозяйственных культур [5].

Отмечают два вида устойчивости растений к патогенам: расоспецифическую (вертикальную) и общую (горизонтальную, расонеспецифическую). Расоспецифическая устойчивость основана на реакции сверхчувствительности. Расонеспецифическая устойчивость не снижается при появлении новых рас патогена и характеризуется увеличением инкубационного периода, уменьшением спорообразования. Селекция на расоспецифическую устойчивость часто приводит к быстрой ее утрате, в связи с селективным влиянием генотипа сорта на микроэволюционные процессы в популяции патогена. Наиболее предпочтительный генетический способ защиты – это создание сортов с расонеспецифической устойчивостью, особенно если она контролируется несколькими генами. К комбинациям генов приспособление гриба затруднено, и устойчивость сорта будет сохраняться дольше [6].

Также выделяют два наиболее распространенных типа защиты растения-хозяина от ржавчинных заболеваний пшеницы – устойчивость на всех стадиях (ASR – all stage resistance) и устойчивость взрослого растения (APR – adult plant resistance). В отличие от устойчивости по типу ASR, которая эффективна от всходов до стадии взрослых растений, APR-устойчивость активна только на поздних стадиях развития растений [7; 8]. На сегодняшний день в мире зарегистрировано более 80 локализованных *Lr*-генов [9]. Большая часть из них придает устойчивость к бурой ржавчине в ювенильную фазу и зависит от патотипа гриба. За исключением нескольких генов (*Lr34*, *Lr46*, *Lr67*, *Lr68*), которые являются генами устойчивости взрослых растений и не являются расоспецифическими. Комбинация генов устойчивости, как у всходов, так и взрослых растений, способна увеличить устойчивость к бурой ржавчине [10].

Стандартными методами идентификации *Lr*-генов у сортов пшеницы являются: фитопатологическое тестирование, основанное на теории Г. Флора «ген-на-ген» [11], гибридологический анализ и молекулярные маркеры. Постулирование генов

устойчивости с помощью фитопатогического теста достаточно трудоемкий процесс. У данного метода есть свои плюсы и минусы, например, этот способ возможно использовать в случае идентификации генов, для которых ДНК-маркеры не разработаны, но выявление некоторых эффективных генов к *P. triticina* осложняется ограниченным числом вирулентных изолятов. В результате такого исследования полученные данные не полноценны и их целесообразно дополнять другими методами идентификации генов [12]. Использование молекулярных маркеров – хорошее дополнение к фитопатологическому тестированию, что позволяет сократить время анализа с помощью оптимизированных протоколов. Для большинства известных *Lr*-генов уже подобраны высокоспецифичные ДНК-маркеры [13]. Данные методы идентификации используют большинство научных центров, занимающихся изучением бурой ржавчины пшеницы.

Метод фитопатологического тестирования активно стали использовать с 1993 года в Мексике (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo) [14] и США (Agricultural Research Service, Cereal Disease Laboratory) [15]. В России первые работы с использованием данного метода появились в конце 2000-х годов [16; 17]. В настоящее время многие ученые используют такой подход для идентификации генов устойчивости пшеницы, дополняя его методом молекулярного маркирования, например, в России – Гульяева Е.И., Баранова О. (ФГБНУ ВИЗР, г. Санкт-Петербург) [18; 19], Сколотнева Е.С. (ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск) [20], Жогалева О.С., Вожжова Н.Н. (ФГБНУ «АНЦ «Донской», г. Зерноград) [21], Манукян И.Р. (СКНИИГПСХ ВНИЦ РАН, г. Владикавказ) [22], также в странах ближнего зарубежья Кохметова А.М. (РГП «Институт биологии и биотехнологии растений», Казахстан, г. Алматы) [23]. Аналогичные исследования проводят в Китае [24; 25], Индии [26], Египте [27; 28], Чехии [29], Иране [30], США [31] и других странах.

Идентификация генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины в районированных сортах пшеницы и тритикале чрезвычайно полезна для научно обоснованного размещения в производственных посевах и для селекционных программ.

Цель данной работы: комплексная оценка 15 районированных сортов пшеницы и тритикале озимых по типу устойчивости и наличию в них *Lr*-генов с использованием двух методов идентификации генов (фитопатологического тестирования и молекулярных маркеров).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили 3 сорта тритикале озимой и 12 сортов пшеницы озимой российской селекции (табл. 1). Сорта пшеницы озимой селекции были высеяны на полевом сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) (г. Краснодар) в 2020–2021 гг. на делянках площадью 1 м кв. в трехкратной повторности.

Погодные условия вегетационного сезона 2020–2021 гг. складывались неблагоприятно для развития бурой ржавчины на зерновых колосовых культурах: наблюдался значительный недостаток влаги в

зимний и весенний период, возвратные заморозки весной, атмосферная и почвенная засуха. Но создание искусственного инфекционного фона заболевания

позволило получить объективные результаты даже в неблагоприятный год.

Таблица 1. Сорта, используемые для исследования

Table 1. Varieties used for the study

Сорт Variety	Оригинатор Originator	Год включения в реестр Year of inclusion in register
Тритикале озимая / Triticale winter		
Азнавур / Aznavur	ФГБНУ ФРАНЦ* / FRARC*	2023
Аргус / Argus	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2023
Арго / Argo	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2018
Пшеница озимая / Wheat winter		
Акапелла / Akapella	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2020
Арсенал / Arsenal	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»** North Caucasus FSAC**	2019
Богема / Bogema	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2021
Былина Дона / Bylina Dona	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2020
Вольница / Volnitsa	ФГБНУ «АНЦ «Донской»*** / Donskoy ASC***	2020
Вольный Дон / Volny Don	ФГБНУ «АНЦ «Донской» / Donskoy ASC	2020
Жаворонок / Zhavoronok	ФГБНУ «АНЦ «Донской» / Donskoy ASC	2020
Кавалерка / Kavalerka	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»**** P.P. Lukyanenko NGC****	2019
Караван / Karavan	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» P.P. Lukyanenko NGC	2018
Каролина 5 / Karolina 5	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2017
Корона / Korona	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2019
Секлетия / Sekletiya	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2020

Примечание: * – ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»; ** – ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; *** – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»;

**** – ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»

Note: * – Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Rostov Agrarian Research Center»;

** – Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre»;

*** – Federal State Budgetary Scientific Institution «Donskoy Agrarian Scientific Centre»;

**** – Federal State Budgetary Scientific Institution «P.P. Lukzenko National Grain Centre»

Основными критериями оценки устойчивости исследуемых сортов являлись: тип реакции и степень поражения, согласно классификации CIMMYT [32]:

O (immunity) – признаки болезни отсутствуют;

R (resistance) – высокая устойчивость, хлоротические пятна занимают до 5–10 % поверхности листьев и стеблей;

MR (moderate resistance) – средняя устойчивость, хлоротические пятна занимают не более 10–25 % поверхности листьев или стеблей;

MS (moderate susceptible) средняя восприимчивость, пустулы мелкие, окружены хлоротичной каймой, занимают до 40–50 % поверхности листьев или стеблей;

S (susceptible) – высокая восприимчивость, пустулы крупные занимают до 50–100 % поверхности листьев или стеблей.

Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ, у.е.) и индекс устойчивости (ИУ). ПКРБ определяли по формуле [33]:

$$S = \frac{1}{2}((x_1 + x_2)(t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n)(t_n - t_{n-1})),$$

где S – площадь под кривой развития болезни;

x_1 – интенсивность развития болезни на момент первого учета, %;

x_2 – интенсивность развития болезни на момент второго учета, %;

x_n – интенсивность развития болезни на момент последнего учета, %;

$(t_2 - t_1)$ – количество дней между вторым и первым учетом;

$(t_n - t_{n-1})$ – количество дней между последним и предпоследним учетами;

n – количество учетов.

Индекс устойчивости выражается в отношении площади под кривой развития болезни анализируемого сорта к контрольному сорту по восприимчивости:

ИУ = ПКРБ сорта / ПКРБ контроля по восприимчивости.

Полученные данные классифицировали по методу А.А. Макарова с соавторами [34] (таблица 2).

Фитопатологическое тестирование проводили в условиях тепличного комплекса ФГБНУ ФНЦБЗР. Для проведения тестирования были использованы 9 монопустульных изолятов (МПИ) с различными формулами вирулентности (таблица 3).

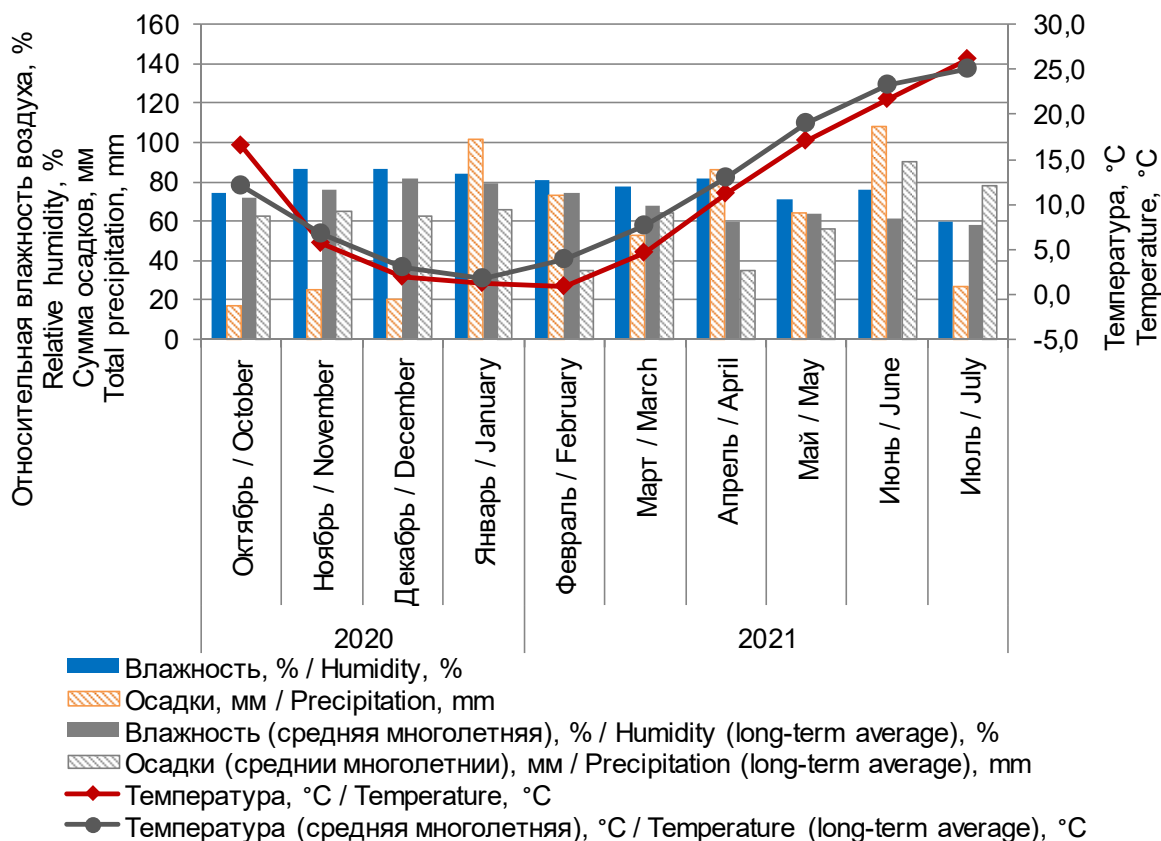


Рисунок 1. Погодные условия по данным метеостанции Круглик, г. Краснодар, 2020–2021 гг.

Figure 1. Weather conditions according to the Kruglik weather station, Krasnodar, 2020–2021

Таблица 2. Классификация сортов растения-хозяина по степени устойчивости к патогену *Puccinia triticina*

Table 2. Classification of varieties of host plant according to the degree of resistance to the pathogen *Puccinia triticina*

Степень устойчивости сорта Degree of resistance of the variety	Относительный показатель индекса устойчивости* Relative sustainability index score*
Восприимчивость Susceptibility	> 0,9
Слабая расонеспецифическая устойчивость Low race-nonspecific resistance	0,7 – 0,9
Умеренная расонеспецифическая устойчивость Moderate race-nonspecific resistance	0,4 – 0,7
Высокая расонеспецифическая устойчивость High race-nonspecific resistance	0,1 – 0,4
Расоспецифическая устойчивость Race-specific resistance	< 0,1

Примечание: * – относительно восприимчивого контроля с индексом, равным 1

Note: * – relative to susceptible control with index equal to 1

Для постулирования генов устойчивости пророщенные семена 15 изучаемых сортов и 43 сортов-дифференциаторов высевали одновременно, выращивали в вазонах (50 мл) на гидропонике с применением питательного раствора. На стадии одного листа проводили инокуляцию спорами отобранных монопустульных изолятов, затем зараженные растения помещали во влажную камеру на 12–16 часов. После чего проростки пшеницы содержали при температуре от +18 до +20 °C, интенсивности освещения до 15 тыс. лк и влажности воздуха 60–70 % [36]. На 10–14-й день фиксировали инфекционные типы по шкале Mains E.E., Jackson H.C. [37]. Растения с типами реакции

0–2 балла, относили к устойчивым, с баллами 3 и 4 – к восприимчивым. Данный подход опирается на теорию Флора – «ген-на-ген» и используется для быстрого определения набора генов устойчивости к бурой ржавчине в ювенильную фазу растений пшеницы [38]. Устойчивые и восприимчивые типы реакций сортов на заражение различными по вирулентности изолятами патогена сравнивали с типами реакции близкородственных линий Thatcher (43 линии, содержащие *Lr*-гены: 1, 2a, 2c, 3, 9, 16, 24, 26, 3ka, 11, 17, 30, B, 10, 14a, 18, 3bg, 14b, 20, 28, 2b, 15, 19, 21, 23, 25, 29, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 50, Exch, Kanr, W), проинокулированных теми же изолятами. Если при

этом наблюдается совпадение восприимчивого типа реакции у сорта и линий *Lr*, то можно постулировать

присутствие в данном сорте соответствующих генов устойчивости.

Таблица 3. Характеристика вирулентности монопустульных изолятов возбудителя бурой ржавчины пшеницы (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2020 г.)

Table 3. Characteristics of the virulence of monopustular isolates of the causative agent of brown rust of wheat (FRCBPP, 2020)

Фенотип* МПИ Phenotype* MPI	Вирулентность к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i> Virulence to Thatcher lines with <i>Lr</i> genes
МКТТТ	<i>Lr1, Lr3, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr3bg, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
РФТТН	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
NBCFH	<i>Lr1, Lr2c, Lr30, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
РСТТН	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
PHRTK	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr16, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
PCGLK	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr26, Lr11, LrB, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
DKTTR	<i>Lr2c, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr3bg, Lr14b, Lr28</i>
МКНКС	<i>Lr1, Lr3, Lr16, Lr24, Lr26, Lr11, Lr30, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr28</i>
НННСF	<i>Lr1, Lr2c, Lr16, Lr26, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr20, Lr28</i>

Примечание: * – Фенотип изолята определен по североамериканской номенклатуре [35]

Note: * – Phenotype of the isolate according to the North American nomenclature [35]

Идентификацию генов устойчивости с помощью молекулярных маркеров *Lr* выполняли на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр риса» в лаборатории информационных, цифровых и биотехнологий. Для выявления *Lr*-генов с помощью молекулярных маркеров ДНК сортов пшеницы и тритикале озимых выделяли из листьев 7–10-дневных проростков СТАВ-методом. ПЦР проводили согласно предложенным авторами маркеров протоколам, при необходимости модифицированным (таблица 4). Положительным контролем были линии Thatcher, содержащие известные гены устойчивости *Lr*. В качестве отрицательного контроля – восприимчивый сорт Michigan amber. Работу выполняли в

ДНК-амплификаторе «Bio Rad», оптимизировав при этом условия ПЦР. Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 2 %-ном агарозном геле при напряжении 80V [39]. Визуализация результатов продуктов ПЦР проводили с использованием бромистого этидия (BrEt) в УФ свете. Для установления длины амплифицированных фрагментов применяли ДНК маркер Step50 plus «Биолабмикс». Положительное заключение о наличии гена в образце делали с помощью обнаружения в дорожке характерной светящейся полосы определенной молекулярной массы, установленной по линейке молекулярных масс – при идентификации генов устойчивости к ржавчинным заболеваниям.

Таблица 4. Перечень используемых маркеров к генам устойчивости *Lr*

Table 4. List of markers used for *Lr* resistance genes

Ген <i>Lr</i> Gen <i>Lr</i>	SSR-(SCAR) маркер SSR-(SCAR) marker	Последовательность Sequence	Источник Source
29	<i>Lr29F24</i>	GTG ACC TCA GGC AAT GCA CAC AGT GTG ACC TCA GAA CCG ATG TCC ATC	[40]
<i>Lr34-Yr18-Sr57</i>	csLV34 (STS)	GTT GGT TAA GAC TGG TGA TGG TGC TTG CTA TTG CTG AAT AGT	[41]
19	CS265	GGCGGATAAGCAGAGCAGA GGCGGATAAGTGGGTATGG	[42]
18	wmc75	GTCCGCCGCACACATCTTACTA GTTTGATCCTGCGACTCCCTTG	[43]

В исследованиях использована материально-техническая база Уникальной научной установки (УНУ) «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>) и объекты биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате иммунологической оценки районированные сорта пшеницы озимой и тритикале озимой были ранжированы по устойчивости на три группы. В первой группе с абсолютной устойчивостью (отсутствие признаков болезни) выявили один сорт тритикале озимой – Арго. К высоко устойчивым сортам (тип реакции R и MR, степень поражения до 10 % включительно) отнесли три сорта тритикале озимой

(Азнавур, Аргус, Арго) и шесть сортов пшеницы озимой (Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Секлетия). В группе умеренно устойчивых (степень поражения от 5 %, при типе реакции MS или S или степень поражения больше 10 %, тип реакции R и MR) установлено шесть сортов озимой пшеницы – Акапелла, Арсенал, Былина Дона, Вольница, Каролина 5, Корона.

Также сорта были классифицированы по типам устойчивости. Сорта с типом расоспецифической (ИУ меньше 0,1 у.е.) устойчивости составили большую часть (73 %) изученных сортов, к ним относятся Азнавур, Аргус, Арго, Акапелла, Богема, Вольный Дон,

Жаворонок, Кавалерка, Караван, Каролина 5, Секлетия. Высокая расонеспецифическая устойчивость (ИУ от 0,1 у.е. до 0,4 у.е.) выявлена в четырех сортах: Арсенал, Былина Дона, Вольница, Корона.

Анализ результатов полевых исследований отражает, что показатели ПКРБ и ИУ являются убедительными критериями определения расонеспецифического типа устойчивости и их можно использовать для изучения устойчивости к возбудителю бурой ржавчины пшеницы. Они хорошо дифференцируют разные по восприимчивости генотипы растения-хозяина с учетом вирулентности патогена [44].

Таблица 5. Иммунологическая оценка сортов пшеницы озимой и тритикале озимой по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины (инфекционный питомник ФГБНУ ФНЦБЗР, 2021 г.)

Table 5. Immunological assessment of winter wheat and winter triticale varieties for resistance to leaf rust (infections nursery FRCBPP, 2021)

Сорт Variety	Развитие болезни Development of the disease	ПКРБ*, у.е. PKRB*, conv. units	Индекс устойчивости, у.е. Sustainability Index, conv. units	Тип устойчивости Type of resistance
Тритикале озимая / Triticale winter				
Азнавур / Aznavur	3R	20,5	0,02	расоспецифическая / race-specific
Аргус / Argus	5R	35,5	0,03	расоспецифическая / race-specific
Арго / Argo	0	0,0	0	расоспецифическая / race-specific
Пшеница озимая / Wheat winter				
Акапелла / Akapella	7MS	87,5	0,08	расоспецифическая / race-specific
Арсенал / Arsenal	10MS	130,0	0,11	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Богема / Bogema	10MR	66,0	0,06	расоспецифическая / race-specific
Былина Дона / Bylina Dona	25MS	163,0	0,14	высокая расонеспецифическая
Вольница / Volnitsa	7MS	115,0	0,10	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Вольный Дон / Volny Don	5MR	105,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Жаворонок / Zhavoronok	5R	105,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Кавалерка / Kavalerka	R	5,0	0,004	расоспецифическая / race-specific
Караван / Karavan	10MR	66,0	0,06	расоспецифическая / race-specific
Каролина 5 / Karolina 5	10MS	108,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Корона / Korona	20MS	158,0	0,14	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Секлетия / Sekletiya	5MR	35,5	0,03	расоспецифическая / race-specific
Michigan amber*	80S	1140,0	1,0	восприимчивость / susceptibility

Примечание: * – Площадь под кривой развития болезни; ** – Контроль по восприимчивости
Note: * – Area under disease progress curve; ** – Control by susceptibility

С использованием молекулярных маркеров у 15 сортов пшеницы и тритикале озимых провели идентификацию четырех генов устойчивости к бурой ржавчине. В

изученном материале выявлен ген возрастной устойчивости *Lr34* и ювенильной устойчивости растений *Lr18* (рис. 2).

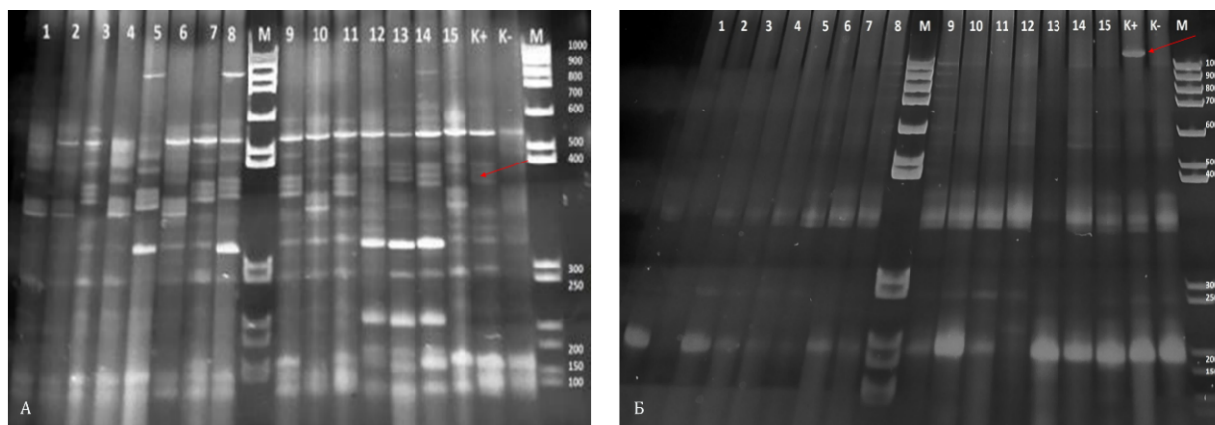


Рисунок 2. Электрофорез в полиакриламидном геле ДНК сортов озимой пшеницы с парами праймеров: А) WMC783 (*Lr18*); Б) Lr29F24 (*Lr29*). 1 – Вольница, 2 – Вольный Дон, 3 – Жаворонок, 4 – Кавалерка, 5 – Караван, 6 – Былина Дона, 7 – Акапелла, 8 – Корона, 9 – Арсенал, 10 – Секлетия, 11 – Каролина, 12 – Аргус, 13 – Азнавур, 14 – Арго, 15 – Богема, К+ – линия Thather, содержащая *Lr18* (или *Lr29*), К– Michigan Amber (не содержит *Lr18* или *Lr29*), М – маркер молекулярной массы (Gene ruler). Стрелкой обозначены ПЦР-фрагменты, указывающие на наличие гена

Figure 2. Polyacrylamide gel electrophoresis of DNA of winter wheat varieties with primer pairs: А) WMC783 (*Lr18*); Б) Lr29F24 (*Lr29*). 1 – Vol'nitsa, 2 – Vol'nyj Don, 3 – Zhavoronok, 4 – Kavalierka, 5 – Karavan, 6 – Bylina Dona, 7 – Akapella, 8 – Korona, 9 – Arsenal, 10 – Sekletia, 11 – Karolina, 12 – Argus, 13 – Aznavour, 14 – Argo, 15 – Bohemia, K+ – Thather line containing *Lr18* (or *Lr29*), K– Michigan Amber (does not contain *Lr18* or *Lr29*), M – molecular weight marker (Gene ruler). The arrow indicates PCR fragments indicating the presence of the gene

У большинства изученных сортов обнаружен ген *Lr34* (один сорт тритикале озимой – Арго и восемь сортов пшеницы озимой – Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина, 5, Корона, Секлетия). Фитопатологическое тестирование подтвердило наличие гена *Lr34* в сортах пшеницы озимой – Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Секлетия. Полученные данные согласуются с результатами Гулятьевой Е.И. с соавторами о присутствии данного гена в сортах пшеницы Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Корона и Секлетия [45]. Ген *Lr34* обладает устойчивостью по типу медленного развития (slow rusting), что важно для селекции, поскольку он обеспечивает устойчивость в течение длительного периода времени и эффективен против многих патогенов [46]. Сорта пшеницы Арсенал (10MS), Вольница (7MS) и Корона (20MS) имеют тип высокой расонеспецифической устойчивости в поле.

Ген *Lr34* обеспечивает устойчивость не только к бурой ржавчине, но и к желтой ржавчине (*Yr18*), стеблевой ржавчине (*Sr57*) и мучнистой росе (*Pm38*), устойчивость этого гена сохранялась более 50 лет. Он широко распространен в пшенице по всему миру [24]. Известно, что этот ген эффективен в фазу взрослого растения (APR), но также он экспрессируется и в ювенильной фазе, когда растения с геном *Lr34* выращивают при низких температурах (примерно при 8 °C) [47]. На юге Западной Сибири данный ген снижал скорость развития болезни при среднесуточной температуре ниже 16 °C, но был мало эффективен при температуре выше 20 °C [48].

С помощью молекулярных маркеров ген *Lr18* был идентифицирован в двух сортах тритикале озимой Азнавур и Арго. Ген устойчивости к бурой ржавчине пшеницы *Lr18* получен из *Triticum timopheevii* Zhuk. и расположен на длинном плече 5В хромосомы.

Устойчивость растений в ювенильной фазе, защищенных *Lr18*, наиболее эффективна при температуре от 15 до 18 °C, а с повышением температуры ген становится менее эффективным, и при 25 °C он становится неэффективным [49].

Высокоэффективные гены *Lr19* и *Lr29* не были обнаружены ни в одном из исследуемых сортов (рис. 3).

По данным Шишкина Н.В. с соавторами, в Ростовской области линии *TcLr18* и *TcLr34* относятся к умеренно восприимчивым со степенью поражения 30–40 % [50]. На территории Краснодарского края в течении десяти лет (2011–2020) линия с геном *Lr18* является умеренно устойчивой (степень поражения болезнью до 10 %), а линия с геном *Lr34* также относится к группе умеренно восприимчивых (в среднем степень поражения 45 %) [51].

С помощью фитопатологического тестирования было постулировано у 15 сортов озимой пшеницы и тритикале российской селекции 19 генов *Lr*: 1, 2b, 3, 3bg, 3ka, 10, 11, 20, 14a, 15, 17, 25, 26, 30, 32, 34, 36, 73, *Kanred* (табл. 6). Выявленные гены устойчивости в большинстве своем неэффективны в защите от северокавказской популяции бурой ржавчины пшеницы, что связано с высокой вирулентностью патогена [52]. Из перечисленных генов ген *Lr36* является эффективным (1R-5R) и постулирован в сортах пшеницы Богема (10MR), Вольный Дон (5MR), Жаворонок (5R), а ген *Lr17* – умеренноэффективным (10MR-20MR) и выявлен в сорте Вольница (7MS). Наличие генов *Lr1*, *Lr10* в сортах пшеницы озимой Кавалерка и *Lr26* в сорте Корона подтверждено в исследованиях с помощью молекулярных маркеров Гулятьевой Е.И. с коллегами [45]. Реакция сортов на заражение 9 разными патотипами северокавказской популяции бурой ржавчины пшеницы представлены в таблице 7.

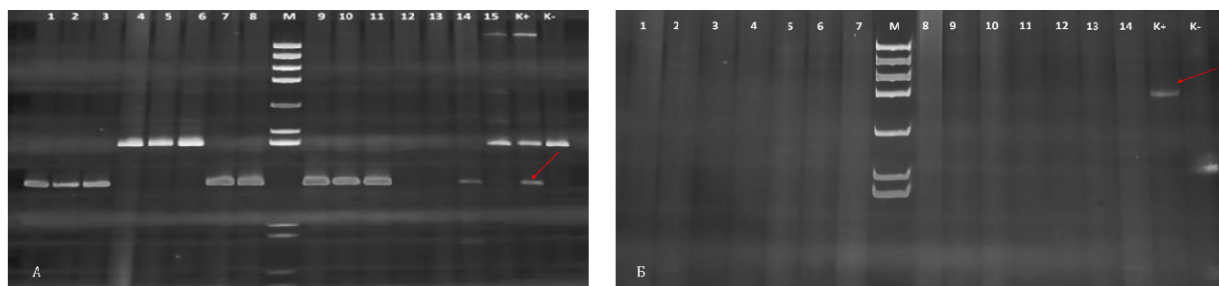


Рисунок 3. Электрофорез в полиакриламидном геле ДНК сортов озимой пшеницы с парами праймеров:

А) csLV34 (*Lr34*); Б) CS265(*Lr19*): 1 – Вольница, 2 – Вольный Дон, 3 – Жаворонок, 4 – Кавалерка, 5 – Караван, 6 – Былина Дона, 7 – Акапелла, 8 – Корона, 9 – Арсенал, 10 – Секлетия, 11 – Каролина, 12 – Аргус, 13 – Азнавур, 14 – Арго, 15 – Богема, К+ – линия Thatcher, содержащая *Lr34* (или *Lr19*), К- – Michigan Amber (не содержит *Lr34* или *Lr19*), М – маркер молекулярной массы (Gene ruler). Стрелкой обозначены ПЦР-фрагменты, указывающие на наличие гена

Figure 3. Electrophoresis in polyacrylamide gel of DNA of winter wheat varieties with primer pairs:

А) csLV34 (*Lr34*); Б) CS265(*Lr19*): 1 – Vol'nitsa, 2 – Vol'nyj Don, 3 – Zhavoronok, 4 – Kavalierka, 5 – Karavan, 6 – Bylina Dona, 7 – Akapella, 8 – Korona, 9 – Arsenal, 10 – Sekletia, 11 – Karolina, 12 – Argus, 13 – Aznavour, 14 – Argo, 15 – Bohemia, K+ – Thatcher line containing *Lr34* (or *Lr19*), K- – Michigan Amber (does not contain *Lr34* or *Lr19*), M – molecular weight marker (Gene ruler). The arrow indicates PCR fragments indicating the presence of the gene

Таблица 6. Сорта пшеницы и тритикале озимых с идентифицированными генами устойчивости к *P. triticina* различными методами

Table 6. Wheat and winter triticale varieties with *P. triticina* resistance genes identified by various methods

Сорт Variety	Постулированные <i>Lr</i> -гены (фитотест) Postulated <i>Lr</i> genes (phytotest)	Выявленные <i>Lr</i> -гены (ПЦР-метод) Identified <i>Lr</i> genes (PCR method)
Тритикале озимая / Triticale winter		
Азнавур / Aznavur	<i>Lr2b, Lr 20</i>	<i>Lr 18</i>
Аргус / Argus	<i>Lr15, Lr20</i>	-
Арго / Argo	-	<i>Lr 18, Lr 34</i>
Пшеница озимая / Wheat winter		
Акапелла / Akapella	<i>Lr10, Lr11, Lr14a, Lr26, Lr30</i>	<i>Lr 34</i>
Арсенал / Arsenal	<i>Lr34</i>	<i>Lr 34</i>
Богема / Bogema	<i>Lr3ka, Lr3bg, Lr36</i>	-
Былина Дона / Bylina Dona	<i>Lr3ka</i>	-
Вольница / Volnitsa	<i>Lr3ka, Lr17, Lr34</i>	<i>Lr 34</i>
Вольный Дон / Volny Don	<i>Lr34 Lr36, Lr73</i>	<i>Lr 34</i>
Жаворонок / Zhavoronok	<i>Lr34, Lr36, Lr73</i>	<i>Lr 34</i>
Кавалерка / Kavalierka	<i>Lr1, Lr10, Lr30</i>	-
Караван / Karavan	<i>Lr3ka, Lr32</i>	-
Каролина 5 / Karolina 5	<i>Lr14a, Lr25</i>	<i>Lr 34</i>
Корона / Korona	<i>Lr3, Lr26</i>	<i>Lr 34</i>
Секлетия / Sekletiya	<i>Lr26, Lr11, Lr34, Lr Kanred</i>	<i>Lr 34</i>

В устойчивых сортах, районированных на территории Северного Кавказа, наблюдается широкое распространение неэффективных генов устойчивости *Lr1*, *Lr3*, *Lr10* и *Lr26*, *Lr34*. По отдельности они потеряли свою эффективность, но в сочетании обеспечивают повышение уровня полевой устойчивости [53]. Известно, что генотипы пшеницы с тремя или более из этих неэффективных генов (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr20* и *Lr26*) обладали более высокой устойчивостью в полевых условиях, чем те, у которых был только один или два из этих генов. Присутствие гена устойчивости *Lr34* дополнительно усиливает действие этих ювенильных генов [54]. Например, в сорте Кавалерка постулированы гены устойчивости *Lr1*, *Lr10*, *Lr30* и в полевых условиях

данный сорт является высоко устойчивым (R). В сорте Акапелла были постулированы гены *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr26*, *Lr30* методом фитопатологического тестирования и с помощью молекулярного маркера определен ген *Lr34*, в полевых условиях степень поражения не превышала 7 % и болезнь развивалась по типу slow rusting. Также *Lr26* был обнаружен в сортах пшеницы озимой Корона (*Lr3* и *Lr34*), Секлетия (*Lr11*, *Lr34*, *LrKanred*) и по данным литературы в сорте Караван [45]. Широкое использование данного гена может быть связано больше с его адаптивной способностью и высокой урожайностью, а не устойчивостью к болезням [55].

Таблица 7. Реакция сортов пшеницы и тритикале озимых (балл), инокулированных в ювенильной фазе вирулентными изолятами *P. triticina*, 2021 г.**Table 7.** Response of winter wheat and triticale varieties (score) inoculated in the juvenile phase with virulent isolates of *P. triticina*, 2021

Сорт Variety	Фенотип / Phenotype								
	MKTTT	PFTTH	NBCFH	PCTTH	PHRTK	PCGLK	DKTTR	MKHKC	NHHSF
Тритикале озимая / Triticale winter									
Азнавур Aznavor	3	3	0	3	3	3	0	2	3
Аргус / Argus	0	1	0	0	2	3	2	0	3
Арго / Argo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пшеница озимая / Wheat winter									
Акапелла Akappella	3	3	0	3	1	0;	3	3	3
Арсенал Arsenal	3	3	0	3	3	2	3	2	0
Богема Bogema	3	3	1	0	3	0	3	2	0
Былина Дона Bylina Dona	3	3	0	3	3	0;	3	1	3
Вольница Volnitsa	3	3	2	3	3	0	3	2	0
Вольный Дон Volny Don	3	3	2	3	3	0	2	3	0
Жаворонок Zhavoronok	3	3	2	3	3	0	0	3	0
Кавалерка Kavalerka	3	3	3	0	3	0	3	3	3
Караван Karavan	3	3	1	0	3	1	3	2	0
Каролина 5 Karolina 5	3	3	0	3	3	1	3	3	3
Корона Korona	3	3	0	3	1	3	3	3	0
Секлетия Sekletiya	3	3	0;	3	3	3	3	3	3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом установлено, что все изученные сорта пшеницы и тритикале являются высоко- и умеренноустойчивыми к бурой ржавчине в полевых условиях. При этом у большей части сортов (73 % от числа изученных) выявлен расоспецифический тип устойчивости (тритикале озимая – Азнавур, Аргус, Арго; пшеница озимая – Акапелла, Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Каролина 5, Секлетия). Высокий расоспецифический тип устойчивости выявлен в четырех сортах пшеницы озимой: Арсенал, Былина Дона, Вольница, Корона. С помощью молекулярных маркеров установлено, что большинство изученных сортов (тритикале озимая – Арго, пшеница озимая – Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина 5, Корона, Секлетия) содержат ген *Lr34*, который часто используется в селекции. *Lr18* был идентифицирован в двух сортах тритикале – Азнавур и Арго. Тенденция к увеличению частоты вирулентных изолятов к гену *Lr18* на Северном Кавказе [51] требует мониторинга генетики районированных сортов, и анализа вирулентности популяции *P. triticina*. С помощью фитопатологического тестирования постулировано 19 *Lr*-генов, большинство из которых являются неэффективными в полевых условиях, за

исключением эффективного *Lr36* (сорта пшеницы Богема, Вольный Дон, Жаворонок) и умеренноэффективного *Lr17* (сорт пшеницы Вольница). Метод фитотеста является хорошим дополнением к другим методам идентификации генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале.

Полученные результаты указывают на то, что, несмотря на полевую устойчивость к бурой ржавчине изученных сортов, необходим их ежегодный мониторинг, поскольку вирулентные изоляты северокавказской популяции *P. triticina* способны быстро преодолеть расоспецифическую устойчивость сортов. Также важно знание генетики районированных сортов, для эффективной их ротации во времени и пространстве. Своевременная смена генетически защищенных сортов дает возможность снизить вероятность вспышки патогена и стабилизировать популяционный состав возбудителя бурой ржавчины.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Авторы выражают благодарность д.б.н. Дубине Елене Викторовне и сотрудникам ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» за предоставление оборудования для молекулярно-генетических исследований;

сотрудникам ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» за предоставление семенного материала.

2. Иммунологическая оценка сортов пшеницы озимой и идентификация *Lr*-генов с помощью фитопатологического тестирования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN–2025-0002.

3. Идентификация *Lr*-генов с помощью молекулярных маркеров выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-016-00268.

ACKNOWLEDGMENT

1. The authors express their gratitude to: Dr. Dubina Elena Viktorovna and the staff of State Budgetary Scientific Institution, Federal Rice Science Centre for providing equipment for molecular genetic research; the staff of Federal State Budgetary Scientific Institution, Donskoy Agricultural Research Center, Federal State Budgetary Scientific Institution, P.P. Lukyanenko National Grain Centre; Federal State Budgetary Scientific Institution, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Centre, Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Rostov Agrarian Scientific Centre, for the provision of seed material.

2. Immunological evaluation of winter wheat varieties and identification of *Lr* genes by phytopathological testing was carried out in accordance with the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic № FGRN–2025-0002.

3. Identification of *Lr* genes by molecular markers was funded by RFBR according to the research project № 20-016-00268.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Prasad P., Savadi S., Bhardwaj S.C., Gupta P.K. The progress of leaf rust research in wheat // *Fungal Biology*. 2020. V. 124(6). P. 537–550. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.02.013>
- Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Шумилов Ю.В., Синяк Е.В., Ваганова О.Ф., Сегеда Е.С., Дерова Т.Г. Характеристика сортов и линий озимой пшеницы селекции ВНИИЗК им. И.Г. Калиненко по устойчивости к комплексу возбудителей экономически значимых болезней // *Зерновое хозяйство России*. 2016. N 1. С. 27–32.
- Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А. Набоков Г.Д., Ковтуненко В.Я., Филобок В.А., Давоян Р.О., Худокормова Ж.Н., Мохова Л.М., Левченко Ю.Г., Тархов А.С. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко // *Зерновое хозяйство России*. 2016. N 5. С. 32–36.
- Афанасенко О.С. Генетическая защита растений: проблемы и перспективы // *Защита и карантин растений*. 2016. N 1. С. 13–16.
- Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней // *Юг России: экология, развитие*. 2023. T. 18. N 2(67). С. 140–151. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

6. Манукян И.Р., Абиева Т.С., Догужова Н.Н. Скрининг сортов озимой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции на устойчивость к бурой ржавчине в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный научный журнал*. 2022. T. 10. С. 55–61.

7. Bikas B., Philomin J., Keshav B., Umisha U. A Review on Major Rust Resistance Gene and Amino Acid Changes on Wheat (*Triticum aestivum* L) // *Advances in Agriculture*. 2022. V. 2022, Article ID: 7419326, 11 p.

<https://doi.org/10.1155/2022/7419326>

8. Bouvet L., Percival-Alwyn L., Berry S., Fenwick P., Mantello C.C., Sharma R., Holdgate S., Mackay I.J., Cockram J. Wheat genetic loci conferring resistance to stripe rust in the face of genetically diverse races of the fungus *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. V. 135. N 1. P. 301–319. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03967-z>

9. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement // *Annual Wheat Newsletter*. 2020. V. 66. P. 109–128.

10. Vikas V.K., Pradhan A.K., Budhlakoti N., Mishra D.C., Chandra T., Bhardwaj S.C., Kumar S., Sivasamy M., Jayaprakash P., Nisha R., Shajitha P., Peter J., Geetha M., Mir R.R., Singh K., Kumar S. Multi-locus genome-wide association studies (ML-GWAS) reveal novel genomic regions associated with seedling and adult plant stage leaf rust resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Heredity*. 2022. V. 128(6). P. 434–449. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00525-1>

11. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts // *Advanced Genetics*. 1956. V. 8. P. 29–54.

12. Колесова М.А., Зуева А.А., Тырышкин Л.Г. Ревизия теории флора–“ген-на-ген”–для феноменов взаимодействия проростков зерновых культур с возбудителями ржавчин // *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*. 2021. T. 496. N 1. С. 19–23.

13. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // *Frontiers in Genetics*. 2022. V. 13. Iss. 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>

14. Singh R.P. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars // *Crop Science*. 1993. V. 33.3. P. 633–637.

15. McVey D.V., Long D.L. Genes for leaf rust resistance in hard red winter wheat cultivars and parental lines // *Crop Science*. 1993. V. 33.6. P. 1373–1381.

16. Гайнуллин Н.Р., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И. Киселева М.И., Коломиец Т.М., Коваленко Е.Д.

Использование фитопатологического и молекулярно-генетического методов для идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом // *Генетика*. 2007. T. 43. N 8. С. 1058–1064.

17. Анпилогова Л.К., Волкова Г.В., Ваганова О.Ф., Авдеева Ю.В. Идентификация генов ювенильной устойчивости к возбудителю бурой ржавчины у новых отечественных сортов озимой пшеницы // *Вестник защиты растений*. 2011. T. 3. С. 38–40.

18. Гульятеева Е.И., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Шайдаюк Е.Л. Расширение генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Eriks.) в Нижнем Поволжье // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. T. 55(1). С. 27–44. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.27rus>

19. Баранова О.А. Молекулярная идентификация генов устойчивости к стеблевой ржавчине у новых допущенных к использованию сортов пшеницы // *Вестник защиты*

- растений. 2020. Т. 103. N 2. С. 113–118.
<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936>
20. Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Шаманин В.П., Бойко Н.И., Апарина В.А., Салина Е.А. Ген Sr38: значение для селекции мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 7. С. 740–745. DOI: 10.18699/VJ21.084
21. Жогалева О.С., Вожжова Н.Н., Шумская О.В. Скрининг генов устойчивости к бурой ржавчине (Lr) у селекционных линий озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. N 6. С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-23-28
22. Манукян И.Р., Догужова Н.Н. Селекция озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине // Аграрный научный журнал. 2022. N 9. С. 38–42.
<https://doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>
23. Кохметова А.М., Атишова М.Н., Галымбек К. Идентификация гермоплазма пшеницы, устойчивой к бурой, желтой и стеблевой ржавчине с использованием молекулярных маркеров // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2020. С. 45–52.
<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.40>
24. Wu H., Kang Z., Li X., Li Y., Li Y., Wang S., Liu D. Identification of wheat leaf rust resistance genes in Chinese wheat cultivars and the improved germplasm // Plant disease. 2020. V. 104(10). P. 2669–2680.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2619-RE>
25. Yuan L.I.U., Gebrewahid T.W., Zhang P.P., Li Z.F., Liu D.Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries // Journal of Integrative Agriculture. 2021. V. 20(5). P. 1302–1313.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63371-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63371-8)
26. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K., An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // Frontiers in Genetics. 2022. V. 13. P. 816057.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
27. El-Orabey W.M., Mabrouk O.I., Gad M.A., Esmail S.M. Inheritance and detection of leaf rust resistance genes in some Egyptian wheat cultivars // International Journal of Genetics and Genomics. 2020. V. 8(1). P. 1–10. DOI: 10.11648/j.ijgg.20200801.11
28. Omara R.I., Shahin A.A., Ahmed S.M., Mostafa Y.S., Alamri S.A., Hashem M., Elsharkawy M.M. Wheat Resistance to Stripe and Leaf Rusts Conferred by Introgression of Slow Rusting Resistance Genes // Journal of Fungi. 2021. V. 7. P. 622.
<https://doi.org/10.3390/jof7080622>
29. Hanzalová A., Dumaslová V., Zelba O. Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018 // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 2020. V. 56. N 3. P. 87–92. DOI: 10.17221/86/2019-CJGPB
30. Talebi R., Mahboubi M., Naji A.M., Mehrabi R. Physiological specialization of *Puccinia triticina* and genome-wide association mapping provide insights into the genetics of wheat leaf rust resistance in Iran // Scientific Reports. 2023. V. 13(1). p. 4398. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31559-y>
31. Kolmer J.A., Fajolu O. Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States from 2018 to 2020 // Plant Disease. 2022. V. 106. N 6. P. 1723–1729. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-21-2321-RE>
32. Дүвейллер Е., Сингх П.К., Меццалама М., Сингх Р.П., Дабабат А. Болезни и вредители пшеницы. Руководство для полевого определения (2-е издание). Анкара, 2018. 147 с.
33. Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Анпилогова Л.К., Шумилов Ю.В., Сняк Е.В. Методические указания по изучению устойчивости сортов пшеницы к комплексу патогенов. 2012. 43 с.
34. Макаров А.А., Коваленко Е.Д., Соломатин Д.А., Маторина Н.М. Методы полевой и лабораторной оценки неспецифической устойчивости растений к болезням // Типы устойчивости растений к болезням: Материалы научного семинара: РАСХН, ВИЗР, Инновационный центр защиты растений. 2003. С. 17–24.
35. Long D.L., Kolmer J.A. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 1989. V. 79. P. 525–529.
36. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Данилова А.В., Матвеева И.П. Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур. Краснодар : ИП Дедкова С.А., 2018. 38 с.
37. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. V. 16(1). P. 89–120.
38. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts // Advanced Genetics. 1956. V. 8. P. 29–54.
39. Поморцев А.А., Лялина Е.В., Животовский Л.А., Калабушкин Б.А., Пухальский В.А. Электрофорез запасных белков как метод сортового контроля у ярового ячменя // Селекция и семеноводство. 2004. N 3. С. 20–28.
40. Procunier J.D. Leaf rust resistance genes Lr29 and Lr25. MAS Wheat. URL: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr29> (дата обращения 21.12.2024)
41. Soria M.A., Zhang W., Dubcovsky J. Rusts resistance gene Lr34-Yr18-Sr57, powdery mildew resistance gene Pm18. MAS Wheat. URL: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr34> (дата обращения 21.12.2024)
42. Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.V., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene Lr19 in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2006. V. 113. P. 1027–1036.
43. Sadeghabad A.A., Dadkhodaie A., Heidari B., Razi H., Mostowfizadeh-Ghalefarsa R. Microsatellite markers for the *Triticum timopheevi*-derived leaf rust resistance gene Lr18 on wheat 5BL chromosome // Breeding science. 2017. V. 67(2). P. 129–134.
44. Зеленева Ю.В., Плахотник В.В., Судникова В.П. Методические подходы к определению расонеспецифической устойчивости к возбудителю *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2017. N 2. С. 9–15.
45. Гуляева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4. N 2. С. 15–27. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2
46. Skowrońska R., Kwiatak M., Tomkowiak A., Nawracała J. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat // Journal of Applied Genetics. 2019. V. 60. P. 301–304. <https://doi.org/10.1007/s13353-019-00520-z>
47. Brar G.S., Feau N., Gill U.S., Hiebert C., Leboldus J., Park R.F. Surveillance, breeding, and cultural practices to prevent a rust storm on crops and trees // Canadian Journal of Plant Pathology. 2021. V. 43(2). P. S183–S187.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2021.1996063>
48. Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. Эффективность генов возрастной устойчивости пшеницы к бурой ржавчине *Lr22b*, *Lr34*, *Lr37* в Западной Сибири и цитофизиологическая

основа их действия // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 16. N 1. С. 123–131.

49. Carpenter N.R., Griffey C.A., Malla S., Chao S., Brown-Guedira G.L. Mapping *Lr18*: A leaf rust resistance gene widely deployed in soft red winter wheat. Identification and Mapping of Resistance to *Puccinia striiformis* and *Puccinia triticina* in Soft Red Winter Wheat. 2017. 88 p.

50. Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Гуляева Е.И., Шайдаук Е.Л. Эффективность генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2019. N 2. С. 69–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-69-73

51. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F., Agapova V.D. Effectiveness of Leaf Rust Resistance Genes in the Adult and Juvenile Stages in Southern Russia in 2011–2020 // Plants. 2022. V. 11. N 6. P. 793. DOI: 10.3390/plants11060793

52. Volkova G.V., Vaganova O.F., Kudina O.A. Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus region of Russia // Spanish journal of agricultural research. 2020. V. 18. N 1. P. 1001. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749>

53. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations // Agriculture. 2021. V. 11. N 4. P. 319.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>

54. Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection // Molecular Breeding. 2013. V. 32. P. 663–677.

<https://doi.org/10.1007/s11032-013-9899-8>

55. Pathan A.K., Park R.F. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars // Euphytica. 2006. V. 149. P. 327–342.

<https://doi.org/10.1007/s10681-005-9081-4>

REFERENCES

1. Prasad P., Savadi S., Bhardwaj S.C., Gupta P.K. The progress of leaf rust research in wheat. *Fungal Biology*, 2020, vol. 124(6), pp. 537–550.

<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.02.013>

2. Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Shumilov Yu.V., Sinyak E.V., Vaganova O.F., Segeda E.S., Derova T.G. Characteristics of varieties and lines of winter wheat selected by VNIIZK named after I.G. Kalinenko on resistance to a complex of pathogens of economically significant diseases. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain Economy of Russia]. 2016, no. 1, pp. 27–32. (In Russian)

3. Ablova I.B., Bespalova L.A., Kolesnikov F.A., Nabokov G.D., Kovtunen V.Ya., Filobok V.A., Davoyan R.O., Khudokormova Zh.N., Mokhova L.M., Levchenko Yu.G., Tarkhov A.S. Principles and methods of wheat breeding for disease resistance at the KNIISH named after. P.P. Lukyanenko. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain Economy of Russia]. 2016, no. 5, pp. 32–36. (In Russian)

4. Afanasenko O.S. Genetic plant protection: problems and prospects. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine]. 2016, no. 1, pp. 13–16. (In Russian)

5. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. The influence of various protection systems of winter wheat variety Svarog on the development of fungal diseases. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2(67), pp. 140–151. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

6. Manukyan I.R., Abieva T.S., Doguzova N.N. Screening of winter soft wheat varieties of Russian and foreign selection for resistance to leaf rust in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agricultural scientific journal]. 2022, vol. 10, pp. 55–61. (In Russian)

7. Bikas B., Philomin J., Keshav B., Umisha U. A Review on Major Rust Resistance Gene and Amino Acid Changes on Wheat (*Triticum aestivum* L). *Advances in Agriculture*, 2022, vol. 2022, article id: 7419326, 11 p.

<https://doi.org/10.1155/2022/7419326>

8. Bouvet L., Percival-Alwyn L., Berry S., Fenwick P., Mantello C.C., Sharma R., Holdgate S., Mackay I.J., Cockram J. Wheat genetic loci conferring resistance to stripe rust in the face of genetically diverse races of the fungus *Puccinia striiformis* f. sp. *Tritici*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022, vol. 135, no. 1, pp. 301–319. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03967-z>

9. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement. *Annual Wheat Newsletter*. 2020, vol. 66, pp. 109–128.

10. Vikas V.K., Pradhan A.K., Budhlakoti N., Mishra D.C., Chandra T., Bhardwaj S.C., Kumar S., Sivasamy M., Jayaprakash P., Nisha R., Shajitha P., Peter J., Geetha M., Mir R.R., Singh K., Kumar S. Multi-locus genome-wide association studies (ML-GWAS) reveal novel genomic regions associated with seedling and adult plant stage leaf rust resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Heredity*, 2022, vol. 128(6), pp. 434–449. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00525-1>

11. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts. *Advanced Genetics*. 1956, vol. 8, pp. 29–54.

12. Kolesova M.A., Zueva A.A., Tyryshkin L.G. Revision of the flora theory – “gene-for-gene” – for the phenomena of interaction of grain seedlings with rust pathogens. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o zhizni* [Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences]. 2021, vol. 496, no. 1, pp. 19–23. (In Russian)

13. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat.

Frontiers in Genetics, 2022, vol. 13, iss. 816057.

<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>

14. Singh R.P. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Science*. 1993, vol. 33.3, pp. 633–637.

15. McVey D.V., Long D.L. Genes for leaf rust resistance in hard red winter wheat cultivars and parental lines. *Crop Science*. 1993, vol. 33.6, pp. 1373–1381.

16. Gainullin N.R., Lapochkina I.F., Zhemchuzhina A.I. Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Kovalenko E.D. Use of phytopathological and molecular genetic methods to identify genes for resistance to leaf rust in bread wheat samples with foreign genetic material. *Genetika* [Genetics]. 2007, vol. 43, no. 8, pp. 1058–1064. (In Russian)

17. Anpilogova L.K., Volkova G.V., Vaganova O.F., Avdeeva Yu.V. Identification of genes for juvenile resistance to the leaf rust pathogen in new domestic varieties of winter wheat. *Vestnik zashchity rastenii* [Bulletin of Plant Protection]. 2011, vol. 3, pp. 38–40. (In Russian)

18. Gulyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Expanding the genetic diversity of spring soft wheat varieties for resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in the Lower Volga region. *Agricultural Biology*, 2020, vol. 55(1), pp. 27–44. (In Russian)

<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.27rus>

19. Baranova O.A. Molecular identification of genes for resistance to stem rust in new wheat varieties approved for use. *Bulletin of plant protection*, 2020, vol. 103, no. 2, pp. 113–118. (In Russian) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936>

20. Skolotneva E.S., Kelbin V.N., Shamanin V.P., Boyko N.I., Aparina V.A., Salina E.A. Gene Sr38: significance for breeding bread wheat in Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics*

- and Breeding*. 2021, vol. 25, no. 7, pp. 740–745. (In Russian) DOI: 10.18699/VJ21.084
21. Zhogaleva O.S., Vozzhova N.N., Shumskaya O.V. Screening of genes for resistance to leaf rust (Lr) in breeding lines of winter soft wheat. *Grain Economy of Russia*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 23–28. (In Russian) DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-23-28
22. Manukyan I.R., Doguzova N.N. Breeding winter soft wheat for resistance to leaf rust. *Agricultural Scientific Journal*, 2022, no. 9, pp. 38–42. (In Russian) <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>
23. Kokhmetova A.M., Atishova M.N., Galymbek K. Identification of wheat germplasm resistant to brown, yellow and stem rust using molecular markers. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2020, vol. 2, no. 384, pp. 45–52. (In Russian) <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.40>
24. Wu H., Kang Z., Li X., Li Y., Li Y., Wang S., Liu D. Identification of wheat leaf rust resistance genes in Chinese wheat cultivars and the improved germplasms. *Plant disease*, 2020, vol. 104(10), pp. 2669–2680. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2619-RE>
25. Yuan L.I.U., Gebrewahid T.W., Zhang P.P., Li Z.F., Liu D.Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, vol. 20(5), pp. 1302–1313. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63371-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63371-8)
26. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K., An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*, 2022, vol. 13, pp. 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
27. El-Orabey W.M., Mabrouk O.I., Gad M.A., Esmail S.M. Inheritance and detection of leaf rust resistance genes in some Egyptian wheat cultivars. *International Journal of Genetics and Genomics*, 2020, vol. 8(1), pp. 1–10. DOI: 10.11648/j.ijgg.20200801.11
28. Omara R.I. Shahin A.A. Ahmed S.M. Mostafa Y.S. Alamri S.A. Hashem M. Elsharkawy M.M. Wheat Resistance to Stripe and Leaf Rusts Conferred by Introgression of Slow Rusting Resistance Genes. *Journal of Fungi*, 2021, vol. 7, pp. 622. <https://doi.org/10.3390/jof7080622>
29. Hanzalová A., Dumalasová V., Zelba O. Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 87–92. DOI: 10.17221/86/2019-CJGPB
30. Talebi R., Mahboubi M., Naji A.M., Mehrabi R. Physiological specialization of *Puccinia triticina* and genome-wide association mapping provide insights into the genetics of wheat leaf rust resistance in Iran. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13(1), pp. 4398. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31559-y>
31. Kolmer J.A., Fajolu O. Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States from 2018 to 2020. *Plant Disease*, 2022, vol. 106, no. 6, pp. 1723–1729. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-21-2321-RE>
32. Duveiller E., Singh P.K., Mezzalama M., Singh R.P., Dababat A. *Bolezni i vrediteli pshenitsy. Rukovodstvo dlya polevogo opredeleniya* [Diseases and pests of wheat. Field Determination Guide]. Ankara, 2018, 2nd ed., 147 p. (In Russian)
33. Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Anpilogova L.K., Shumilov Yu.V., Sinyak E.V. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti sortov pshenitsy k kompleksu patogenov* [Guidelines for studying the resistance of wheat varieties to a complex of pathogens]. 2012, 43 p. (In Russian)
34. Makarov A.A., Kovalenko E.D., Solomatin D.A., Matorina N.M. [Methods for field and laboratory assessment of nonspecific plant resistance to diseases]. In: *Tipy ustoichivosti rastenii k bolezniam: Materialy nauchnogo seminar: RASKHN, VIZR, Innovatsionnyi tsentr zashchity rastenii* [Types of plant resistance to diseases: Materials of a scientific seminar: RAAS, VIZR, Innovative Center for Plant Protection]. 2003, pp. 17–24. (In Russian)
35. Long D.L., Kolmer J.A. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. tritici. *Phytopathology*. 1989, vol. 79, pp. 525–529.
36. Volkova G.V., Kudina O.A., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Danilova A.V., Matveeva I.P. *Virulentnost' populyatsii vozbuditeli rzhavchiny zernovykh kolosovykh kul'tur* [Virulence of populations of rust pathogens in cereal crops]. Krasnodar, Dedkova S.A. Publ., 2018, 38 p. (In Russian)
37. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
38. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts. *Advanced Genetics*. 1956, vol. 8, pp. 29–54.
39. Pomortsev A.A., Lyalina E.V., Zhivotovsky L.A., Kalabushkin B.A., Pukhalsky V.A. Electrophoresis of storage proteins as a method of varietal control in spring barley. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed production]. 2004, no. 3, pp. 20–28. (In Russian)
40. Procnier J.D. Leaf rust resistance genes Lr29 and Lr25. MAS Wheat. Available at: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr29> (accessed 21.12.2024)
41. Soria M.A., Zhang W., Dubcovsky J. Rusts resistance gene Lr34-Yr18-Sr57, powdery mildew resistance gene Pm18. MAS Wheat. Available at: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr34> (accessed 21.12.2024)
42. Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.V., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene Lr19 in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006, vol. 113, pp. 1027–1036.
43. Sadeghabad A.A., Dadkhodaie A., Heidari B., Razi H., Mostowfizadeh-Ghalefarsa R. Microsatellite markers for the *Triticum timopheevi*-derived leaf rust resistance gene Lr18 on wheat 5BL chromosome. *Breeding science*. 2017, vol. 67, no. 2, pp. 129–134.
44. Zeleneva Yu.V., Plakhotnik V.V., Sudnikova V.P. Methodological approaches to determining race-nonspecific resistance to the pathogen *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo [Issues of modern science and practice. University named after VI Vernadsky]. 2017, no. 2, pp. 9–15. (In Russian)
45. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of genes for resistance to leaf rust in new Russian varieties of bread wheat. *Biotechnology and plant breeding*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 15–27. (In Russian) DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2
46. Skowrońska R., Kwiatek M., Tomkowiak A., Nawracała J. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat. *Journal of Applied Genetics*, 2019, vol. 60, pp. 301–304. <https://doi.org/10.1007/s13353-019-00520-z>
47. Brar G.S., Feau N., Gill U.S., Hiebert C., Leboldus J., Park R.F. Surveillance, breeding, and cultural practices to prevent a rust storm on crops and trees. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 43, no. 2, pp. S183–S187. <https://doi.org/10.1080/07060661.2021.1996063>
48. Plotnikova L.Ya., Shtubey T.Yu. Efficiency of wheat age resistance genes to leaf rust Lr22b, Lr34, Lr37 in Western

- Siberia and the cytophysiological basis of their action. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2014, vol. 16, no. 1, pp. 123–131. (In Russian)
49. Carpenter N.R., Griffey C.A., Malla S., Chao S., Brown-Guedira G.L. Mapping *Lr18*: A leaf rust resistance gene widely deployed in soft red winter wheat. Identification and Mapping of Resistance to *Puccinia striiformis* and *Puccinia triticina* in Soft Red Winter Wheat. 2017, 88 p.
50. Shishkin N.V., Derova T.G., Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Efficiency of wheat resistance genes to leaf rust under the conditions of the Rostov region. *Grain Economy of Russia*, 2019, no. 2, pp. 69–73. (In Russian) DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-69-73
51. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F., Agapova V.D. Effectiveness of Leaf Rust Resistance Genes in the Adult and Juvenile Stages in Southern Russia in 2011–2020. *Plants*, 2022, vol. 11, no. 6, pp. 793. DOI: 10.3390/plants11060793
52. Volkova G.V., Vaganova O.F., Kudina O.A. Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus region of Russia. *Spanish journal of agricultural research*, 2020, vol. 18, no. 1, pp. 1001. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749>
53. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 319. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
54. Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection. *Molecular Breeding*, 2013, vol. 32, pp. 663–677. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9899-8>
55. Pathan A.K., Park R.F. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica*, 2006, vol. 149, pp. 327–342. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9081-4>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валерия Д. Руденко, Ольга А. Кудинова, Ольга А. Ваганова участвовали в сборе и анализе материала, написании работы. Галина В. Волкова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Valeria D. Rudenko, Olga A. Kudina and Olga F. Vaganova participated in collecting and analysing the material and writing the paper. Galina V. Volkova proofread the manuscript before submission to the Editor. 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

Валерия Д. Руденко / Valeria D. Rudenko <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>
Галина В. Волкова / Galina V. Volkova <https://orcid.org/0000-0002-3696-2610>
Ольга А. Кудинова / Olga A. Kudina <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>
Ольга Ф. Ваганова / Olga F. Vaganova <https://orcid.org/0000-0003-2345-2643>

Оригинальная статья / Original article
УДК 581.135.51:582.894 (470.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-11



Свидина южная как ресурсный вид Дагестана

Фарида В. Сулейманова, Загирбег М. Асадулаев, Азиз Б. Исмаилов

Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Фарида В. Сулейманова, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45. Тел. +79894970958
Email faridavladimirovna@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0009-0003-4266-8770>

Формат цитирования

Сулейманова Ф.В., Асадулаев З.М., Исмаилов А.Б. Свидина южная как ресурсный вид Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 140-152. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-11

Получена 13 января 2025 г.
Прошла рецензирование 10 марта 2025 г.
Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: изучение изменчивости биохимического состава жирных масел из перикарпа и семян *Swida australis* (C.A. Mey.) Pojark. ex Grossh. в зависимости от высотных условий произрастания природных популяций для оценки как ресурсного вида в области медицины. Отобраны плоды *S. australis* вдоль высотного градиента: 15 м, 620 м и 1000 м. Для извлечения липидов использован метод циркуляционного экстрагирования в аппарате Сокслета с применением летучего экстрагента – n-гексана. Сравнительная количественная оценка проведена методом Фолча. После определения выхода масла, одна часть его использована для нахождения триглицеридного состава, методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии, вторая, переведена в метиловые эфиры для определения кислотного состава липидов методом хроматомасс-спектрометрии. Качество масла оценили, определив кислотное число и число омыления. Дана корреляционная оценка содержания триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений (полиненасыщенных жирных кислот) с высотным уровнем произрастания на основе метода Пирсона при уровне достоверности $p < 0.05$. Впервые изучен компонентный состав липидов, выделенный из перикарпа и семян *S. australis* и оценен ресурсный потенциал для медицины. Полученное масло характеризуется высоким содержанием триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений, в частности, полиненасыщенных жирных кислот, имеющих применение в медицине. Анализ масла, выделенного из перикарпа и семян *S. australis*, показал высокое содержание в его составе триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений (полиненасыщенных жирных кислот). Предлагается первоначально проводить извлечение всех липидов методом Фолча с последующей экстракцией гексаном триацилглицеридов и углеводов с целью отделения их от ценных биологически активных соединений.

Ключевые слова

Swida australis, компонентный состав, жирные масла, хроматография, триацилглицериды, углеводороды, полиненасыщенные жирные кислоты.

Swida australis as a resource species of Dagestan

Farida V. Suleimanova, Zagirbeg M. Asadulaev and Aziz B. Ismailov

Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Farida V. Suleimanova, Junior Researcher,
Laboratory of Introduction and Genetic Resources
of Woody Plants, Mountain Botanical Garden,
Dagestan Federal Scientific Centre, Russian
Academy of Sciences; 45 M. Gadzhieva St,
Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79894970958

Email faridavladimirovna@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-4266-8770>

How to cite this article

Suleimanova F.V., Asadulaev Z.M., Ismailov A.B.
Swida australis as a resource species of Dagestan.
South of Russia: ecology, development. 2025;
20(2):140-152. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-
2025-2-11

Received 13 January 2025

Revised 10 March 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. Study of the variability of the biochemical composition of fatty oils from the pericarp and seeds of *Swida australis* depending on the altitudinal conditions of growth of natural populations for assessment as a resource species in the field of medicine.

Fruits of *S. australis* were selected along the altitudinal gradients: 15 m, 620 m and 1000 m. The method of circulation extraction in a Soxhlet extractor using a volatile extractant – n-hexane was used to extract lipids. Comparative quantitative assessment was carried out by the Folch method. After determining the oil yield, one part of it was used to find the triglyceride composition by reversed-phase high-performance liquid chromatography, the second, was converted into methyl esters to determine the acid composition of lipids by chromatograph mass spectrometry. The quality of the oil was assessed by determining the acid number and saponification number. A correlation assessment of the content of triacylglycerides, hydrocarbons and biologically active compounds (polyunsaturated fatty acids) with the altitudinal level of growth is given based on the Pearson method at a reliability level of $p < 0.05$.

For the first time, the component composition of lipids isolated from the pericarp and seeds of *S. australis* was studied and the resource potential for medicine was assessed. The oil obtained is characterised by a high content of triacylglycerides, hydrocarbons and biologically active compounds and - in particular - polyunsaturated fatty acids, which are used in medicine.

Analysis of oil isolated from the pericarp and seeds of *S. australis* showed a high content of triacylglycerides, hydrocarbons and biologically active compounds (polyunsaturated fatty acids). It is proposed to initially extract all lipids using the Folch method, followed by hexane extraction of triacylglycerides and hydrocarbons in order to separate them from valuable biologically active substances.

Key Words

Swida australis, component composition, fatty oils, chromatography, triacylglycerides, hydrocarbons, polyunsaturated fatty acids.

ВВЕДЕНИЕ

Свидина южная (*Swida australis* (C.A. Mey.) Pojark. ex Grossh), один из видов рода кизил, представляет собой кустарники или деревья высотой 1.5–6 м с пурпурными или красновато-бурыми побегами. Крона широкая, ветвистая, цветы белые, в щитковидном или зонтиковидном соцветии. Плоды – мелкая костянка, сочные, округлые, черные созревают в августе–октябре, косточка шаровидная, редко несколько удлинённая, иногда сплюснутая сверху или с боков, цельная, без ямки на вершине [1; 2].

В России вид произрастает в европейской части, кроме Крайнего Севера, встречается также в Центральной Европе, Скандинавии, Средней Азии, Крыму и на Кавказе [3].

Свидина представляет интерес в области медицины из-за наличия в ее составе полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), обладающих пользой при сердечно-сосудистых заболеваниях (ССЗ) [4; 5].

Один из примеров эффекта омега-3 (ω -3) демонстрирует метаанализ (число участников $n = 2\,277$), который проводился для определения влияния ПНЖК на коронарный атеросклероз. Анализ показал, что у участников, применявших ω -3, наблюдалось замедление прогрессирования ишемической болезни сердца (ИБС) за счёт уменьшения объёма атеросклеротических бляшек [6].

Метаанализ 38 рандомизированных контролируемых исследований ω -3 жирных кислот, продемонстрировал их влияние на смертность от ССЗ, нелетальные сердечно-сосудистые исходы, кровотечения и фибрилляция предсердий.

У 149 051 участника прием ω -3 был связан со снижением сердечно-сосудистой смертности (относительный риск (ОР) 0.93; (0.88–0.98)); $p = 0.01$), нефатального инфаркта миокарда (ИМ) (ОР 0.87 (0.81–0.93); $p = 0.0001$), ИБС (ОР 0.91 (0.87–0.96); $p = 0.0002$), серьезных нежелательных сердечно-сосудистых событий (ОР 0.95 (0.92–0.98); $p = 0.002$) и реваскуляризации (ОР 0.91 (0.87–0.95); $p = 0.0001$) [7].

Также рассматривается влияние ω -3 на аутоиммунные заболевания, инфекционные заболевания, хроническую болезнь почек, заболевания центральной нервной системы и на течение COVID-19. Как было показано у пациентов с COVID-19, ω -3, как противовоспалительный медиатор, может служить профилактическим и дополнительным лечением [8].

Так примером противовоспалительного эффекта ПНЖК может служить метаанализ (2070 пациентов с остеоартритом) объединенные результаты показали, что прием ω -3 ПНЖК может значительно облегчить боль при артрите по сравнению с плацебо (стандартизированная средняя разница (ССР): 0.29, 95 % доверительный интервал (ДИ): 0.47–0.11, $p = 0.002$). Кроме того, приём ω -3 ПНЖК также был связан с улучшением функции суставов (ССР: 0.21, 95 % ДИ 0.34–0.07, $p = 0.002$). Анализ подгрупп показал схожие результаты исследований, посвящённых боли при артрите и функции суставов, оцениваемой по индексу остеоартрита Западного Онтарио-Университета Макмастера и другим шкалам. У включенных в исследование пациентов не наблюдалось серьезных нежелательных явлений (НЯ), связанных с лечением, а частота возникновения НЯ в целом была одинаковой в

обеих группах (отношение шансов (ОШ): 0.97, 95 % ДИ 0.64–1.45, $p = 0.86$) [9].

Многообещающие результаты, полученные в ходе совокупных исследований за последнее десятилетие, подтвердили, что ω -3 ПНЖК могут быть использованы для профилактики или даже лечения таких аутоиммунных заболеваний, как диабет 1-го типа, ревматоидный артрит, системная красная волчанка, рассеянный склероз. Несомненно, многие полезные свойства ω -3 ПНЖК связаны с их противовоспалительным действием, однако могут действовать и другие механизмы, например, регуляция активности mTOR, который является ключевым регулятором клеточного метаболизма [10].

Исходя из этого, поиск новых масличных видов растений, оценка их ресурсного потенциала и возможностей культивирования в настоящее время актуально и перспективно.

S. australis мало изученное растение и по имеющимся данным перикарп содержит до 45 % жирных масел [11; 12], а семена – 45 % невысыхающих масел [13].

Масло из перикарпа и семян данного вида не исследовано на содержание жирных кислот, отсутствуют сведения по физико-химическим характеристикам других составляющих. В настоящее время в доступной литературе мало информации по биохимическому составу жирных масел из перикарпа и семян *S. australis*.

Теоретическая значимость исследования – апробация подходов к оценке внутривидовой и межвидовой дифференциации особей по содержанию жирных кислот, как главных компонентов липидов, представляющих интерес в медицине, а также изучение изменчивости состава в зависимости от высотных условий произрастания растений.

Цель работы – Изучение изменчивости биохимического состава жирных масел из перикарпа и семян *Swida australis* в зависимости от высотных условий произрастания природных популяций для оценки как ресурсного вида в области медицины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период полевых работ в 2016–2023 гг. изучен ареал вида в Дагестане и отобраны плоды *S. australis* вдоль высотного уровня произрастания популяций: 15 м (парк им. Ленинского Комсомола, г. Махачкала), 620 м (Могохский мост, Гергебельский район) и 1000 м (Куппинский перевал, Гунибский район), а также определены координаты для последующих наблюдений. Для извлечения липидов использован метод циркуляционного экстрагирования, который заключается в многократном экстрагировании растительного сырья одной и той же порцией летучего экстрагирующего вещества (экстрагента) в замкнутом цикле. Метод осуществляется в аппарате Сокслета и применяется в случае использования летучего экстрагента – n -гексан и термически устойчивых действующих веществ [14].

Гексановый экстракт был освобожден от присутствующей влаги осушителем – безводным сульфатом натрия и отфильтрован. После вакуумной отгонки экстрагента, на роторном испарителе, получен жирнокислотный липофильный экстракт. Образец полученной массы последовательно подвергнут

превращениям: омылению действием твердой гранулы едкого калия в течение 24 часов, далее проведена этерификация. Этерификацию полученных производных проводили кипячением в метиловом спирте в присутствии 10 % концентрированной серной кислоты (H_2SO_4) в течение 90 минут в колбе с обратным холодильником. Из этерифицированного состава экстрагированы липидные компоненты гексаном. После удаления влаги, фильтрования и концентрирования подготовлен состав для количественного и качественного анализа на хроматомасс-спектрометре [15].

Для раздельного определения выхода компонентов из семян из перикарпа нами была разработана новая технология их отделения. Способ заключается в механическом встряхивании исследуемых плодов в дистиллированной воде, нагретой до 40° С вместе с шариками диаметром 0,5 см из диоксида циркония или из нержавеющей стали. В качестве емкости для встряхивания использовали посуду из прозрачного толстостенного полиэтилена низкого давления с закрывающейся резьбовой крышкой на один литр [16]. Для сравнительной количественной экстракции использован метод Фолча, где в качестве экстрагента служит смесь хлороформа и метанола (2:1) при соотношении растворителя 20 на одну часть ткани, а для выделения нейтральных и общих липидов использован экстрагент-гексан. После определения выхода масла, одна часть его использована для определения триглицеридного состава, методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с рефрактометрическим детектором (ВЭЖХ), а другую часть масла переводили в метиловые эфиры для определения кислотного состава липидов методом хроматомасс-спектрометрии (ГХ/МС) [14].

Качественный анализ гексановых экстрактов липидных комплексов в форме метиловых эфиров жирных кислот проводили путем анализа хроматограмм, полученных в режиме полного ионного тока, в диапазоне сканирования 30–550 м/е. Режим программирования температуры: 70°С / 5 мин 10°С / 1 мин / 210°С / 25 мин. Температура испарителя 230°С, температура интерфейсной линии 210°С, ввод пробы ручное 1 мкл с делением потока 1:10, скорость потока газ-носителя Helios 1 мл/мин, энергия ионизации 70 эВ, температура ионного источника 250°С. Для проведения анализа была использована капиллярная кварцевая полярная колонка (50 м x 0.25 мм) с неподвижной жидкой фазой-FARP. Качественный анализ проводили путем сравнения полученных масс-спектров с библиотекой спектров NIST 98.

Оценку качества масла проводили определением кислотного числа и числа омыления. Кислотное число определяли титрованием масла в присутствии индикатора фенолфталеина в органических растворителях (диэтиловый эфир + этанол) 2:1 гидроксидом калия (KOH) и представили в мг израсходованного на нейтрализацию свободных кислот, содержащихся в 1 грамме масла [14].

Число омыления масла определяли титриметрическим методом по количеству израсходованного KOH для нейтрализации 1 грамма жира. Масло свидины из перикарпа имело темный оттенок, что затрудняло возможность четко определить

точку перехода цвета индикатора при титровании. Для точного определения точки перехода исходное количество масла было уменьшено в 10 раз и доведено до 0.2 граммов. Концентрация KOH, также была уменьшена в 10 раз по сравнению с методикой оценки числа омыления масла.

Статистический анализ полученных результатов выполнялся с использованием программы IBM SPSS Statistics Version 22. Для оценки корреляции между показателями содержания триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений в липофильном экстракте мякоти свидины и высотного уровня произрастания использовался метод Пирсона (при значениях коэффициента корреляции 0.1–0.3 связь считалась слабой, 0.3–0.5 – умеренной, 0.5–0.7 – заметной, 0.7–0.9 – высокой, 0.9–0.99 – весьма высокой) при уровне достоверности $p < 0.05$ [17].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучен биохимический состав масла в зависимости от полярности экстрагента. Установлены различия по выходу и биохимическому составу компонентов, как по высотному градиенту над уровнем моря, так и внутри популяций.

Как видно из таблицы 1, в перикарпе плодов свидины дерева №3 с Куппинского перевала содержится десять жирных кислот, из них ненасыщенных жирных кислот шесть (ω -6, ω -3, ω -9), сумма которых составила 78.61 %, насыщенных жирных кислот четыре (C_{14} , C_{16} , C_{17} , C_{18}) – 20.79 %. Значительная часть ненасыщенных жирных кислот составляет олеиновая кислота (ω -9) – 45.01 %, содержание ω -6 и ω -3 – 33.6 %. Линоленовая кислота (ω -3) представлена в значительно меньшем количестве и составляет 2.3 %. Следовательно, значительное содержание ненасыщенных жирных кислот позволяет оценить полученные из перикарпа свидины липиды как биологически активные соединения.

Интерес представляет липидный состав экстракта перикарпа плодов свидины и с дерева № 4 (Куппинский перевал). Так, в составе липидов этого дерева также обнаружены десять жирных кислот, из них насыщенных пять (C_{14} , C_{15} , C_{16} , C_{17} , C_{18}), их суммарное процентное содержание составило 15.15 %. По содержанию ненасыщенных жирных кислот (ω -6, ω -3, ω -9) дерево №4 превосходит дерево №3 на 5 % и составляет 84.07 %. Содержание ω -9 в образце в сравнении с остальными ненасыщенными кислотами наибольшее и составляет 46.97 %. Сумма ω -6 и ω -3 составляет 36.9 %. Содержание ω -3 составило 4.03 %. Липиды богаты содержанием линоленовой кислоты, из чего следует, что перикарп плодов с дерева № 4 превосходит по всем полезным составляющим дерево № 3.

В липидах перикарпа свидины дерева № 15 с Могохского моста, обнаружено двенадцать компонентов, которые представлены исключительно жирными кислотами. По количеству ω жирных кислот этот образец занимает промежуточное положение, по сравнению с образцами, отобранными на Куппинском перевале. Содержание ω ненасыщенных жирных кислот (ω -6, ω -3, ω -9) составило 78.0 %. Содержание ω -9 в этом образце доходит до максимального значения и составляет 49.3 %. Сумма ω -6 и ω -3 составляет 27.68 %, а содержание ω -3 – 3.05 %. Насыщенных жирных кислот

выделилось всего четыре (C_{14} , C_{16} , C_{17} , C_{18}) и их суммарное процентное содержание составило 21.43 %.

В составе жирного масла перикарпа плодов свидины в пробе, отобранной в парковой зоне г. Махачкалы, выявлены шестнадцать веществ. В составе масла обнаружены предельные углеводороды C_{27} и C_{31} в сумме 0.32 %, янтарная кислота в пределах 0.26 % и метоксиуксусная кислота в количестве 0.17 %. Всего ω жирных кислот одиннадцать. Хотя сумма семи ненасыщенных жирных кислот (ω -6, ω -3, ω -9) из всех образцов наименьшая – 76.5 %, но в составе масла, выделенного из пробы, обнаружено наибольшее содержание ω , ω -6 и ω -3 – 39.6 %. Содержание ω -9 в этом образце составило 36.9 %, ω -3 – 2.27 %. Насыщенных жирных кислот выделилось всего четыре (C_{14} , C_{16} , C_{17} , C_{18}) и их суммарное процентное содержание составило 23.52 %.

Как видно из таблицы 2 в семенах свидины дерева №3 с Куппинского перевала содержится восемнадцать компонентов из них ненасыщенные жирные кислоты (ω -6, ω -3, ω -9) девять, сумма которых составила 87.07 %, насыщенных кислот четыре (C_8 , C_{16} , C_{17} , C_{18}) – 3.92 %. Значительная часть ненасыщенных жирных кислот составляет ω -9, в количестве 39.67 %. Содержание ω -6 и ω -3 составляет 47.4 %; ω -3 представлена в значительно меньшем количестве и составляет 0.81 %.

В семенах плодов свидины дерева №4 с Куппинского перевала выделено тринадцать кислот, из них ненасыщенных жирных кислот семь, которые в сумме составили 88.92 %, а насыщенных кислот (C_8 , C_9 , C_{14} , C_{16} , C_{19} , C_{24}) шесть (9.5 %), доля ω -9 составила 8.77 %. Содержание ω -6 и ω -3 – 80.15 %, ω -3 представлена в значительно меньшем количестве и составляет 0.38 %.

В образце с Могоха содержится десять кислот, из них ненасыщенных кислот (ω -6, ω -3, ω -9) шесть, сумма которых составляет 81.74 %, и насыщенных кислот четыре (C_8 , C_9 , C_{16} , C_{18}) – 16.32 %. Содержание ω -9 составляет 41.51 %, ω -6 и ω -3 – 40.23 %, ω -3 представлена в значительно большем количестве и составляет 40.09 %.

Исходя из полученных результатов, можно отметить, что общее количество ненасыщенных жирных кислот в перикарпе свидины среди образцов деревьев распределилось неравномерно. Выделяется дерево № 4 с Куппинского перевала в состав его перикарпа вошло наибольшее количество ненасыщенных жирных кислот (84.07 %), промежуточное положение заняли деревья №3 с Куппинского перевала (78.61 %) и дерево № 15 с Могохского моста (78.0 %) и крайнее дерево № 1 с парка г. Махачкалы (76.5 %). При этом количество ω -9 было наибольшим в перикарпе свидины с Могохского моста (49.3 %), средним в перикарпе дерева №4 (46.97 %) и дерева № 3 (45.01 %) с Куппинского перевала, и низким с парка г. Махачкалы (36.9 %).

По количеству ПНЖК ω -6 и ω -3 дерево № 1 с парка г. Махачкалы (39.6 %) и с дерева №4 Куппинского перевала показали наибольший и примерно одинаковый результат (36.9 %), среднее значение показала проба с дерева № 3 Куппинского перевала – 33.6 % и наименьшее проба с дерева № 15 Могохского моста – 27.68 %. По количеству ω -3 выделилось дерево № 4 с Куппинского перевала – 4.03 %, в дереве № 15 с

Могохского моста ее количество составило среднее значение 3.05 %, в деревьях № 1 с парка г. Махачкалы и № 3 с Куппинского перевала ее содержание было наименьшим – 2.27 и 2.3 % соответственно.

Что касается содержания ненасыщенных жирных кислот в семенах свидины результаты показали следующее: наибольшее количество выявлено у дерева № 4, с Куппинского перевала (88.92 %), промежуточное положение заняло дерево № 3 также с Куппинского перевала (87.07 %) и наименьшее количество показало дерево № 15, с Могохского моста (81.74 %). У дерева № 15 (Могохского мост) обнаружено наибольшее количество ω -9 (41.51 %), среднее значение – у дерева № 3 с Куппинского перевала (39.67 %) и минимальный показатель у дерева № 4 с Куппинского перевала (8.7 %). По содержанию ПНЖК образцы распределились следующим образом, дерево № 4 с Куппинского перевала (80.15 %), дерево № 15 с Могохского моста (40.23 %) и дерево № 3 с Куппинского перевала (47.4 %). Наибольшее количество ω -3 показал образец с Могохского моста (40.09 %), промежуточное – дерево № 3 с Куппинского перевала (0.81 %) и низкое значение дерево № 4 с Куппинского перевала (0.38 %).

В таблице 3 приведены результаты учета количественного содержания углеводов, триацилглицеридов и биологически активных соединений (ПНЖК) в липофильном экстракте образцов перикарпа свидины в зависимости от высотного градиента.

Результаты анализа корреляционной взаимосвязи между суммой показателей содержания триацилглицеридов, углеводов и местом отбора продемонстрировали, умеренную положительную связь $r = 0.334$, но достоверность данной корреляции статистически не значима ($p > 0.05$), что указывает на то, что их содержание не зависит от высотного уровня мест произрастания.

Анализ взаимосвязи между суммой биологически активных соединений и местом отбора показали умеренную обратную связь $r = -0.350$, данная корреляция также статистически не значима ($p > 0.05$) и их содержание не зависит от места произрастания.

Исследование показало, что в среднем 65.5 % состава перикарпа свидины, составили триацилглицериды и углеводороды, а на долю биологически активных соединений пришлось 34.5 %.

Процентное содержание триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений в липофильном экстракте образцов семян свидины, отобранных из различных мест произрастания, приведено в таблице 4.

Результаты анализа корреляционной взаимосвязи между суммой показателей содержания триацилглицеридов, углеводов и суммой биологически активных соединений в липофильном экстракте семян свидины и местом отбора продемонстрировали заметную обратную связь ($r = -0.639$), но и эта связь статистически не доказана при $p > 0.05$.

В случае семян доля биологически активных соединений больше, чем в перикарпе и в среднем составляет около 55 %, а количество триацилглицеридов и углеводов в среднем меньше и составляет 44.07 %.

Таблица 1. Состав липофильного экстракта перикарпа свидины
Table 1. Composition of lipophilic extract of *S. australis* pericarp

Название вещества Name of substance	Куппинский перевал, Дерево №3 Kuppinsky pass, tree №3				Могохский мост, Дерево №15 Mogoh Bridge, tree №15				г. Махачкала, Дерево №1 Makhachkala, tree №1			
Химическая формула Chemical formula	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)
Hexadecane		C ₁₆ H ₃₄	3.665	0.03	3.665	0.03	0	0	0	0	0	0
Heptadecane		C ₁₇ H ₃₆	4.058	0.01	4.058	0.03	0	0	0	0	0	0
Methyl tetradecanoate		C ₁₄ :0	0	0	0	0	5.512	0.10	5.949	0.10		
2-Propenoic acid, pentadecyl ester		C ₃ :1	0	0	0	0	6.340	0.1	0	0		
Methyl tetradecanoate		C ₁₄ :0	6.469	0.04	6.469	0.06	0	0	0	0		
Pentadecanoic acid, methyl ester		C ₁₅ :0	0	0	7.661	0.06	0	0	0	0		
Hexadecanoic acid, methyl ester		C ₁₆ :0	9.297	18.00	9.457	13.80	9.420	10.08	8.587	20.76		
9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-		C ₁₆ :1 ω-6	9.826	1.00	10.084	1.83	9.900	1.48	9.103	1.74		
Heptadecanoic acid, methyl ester		C ₁₇ :0	10.336	0.15	11.332	0.27	10.487	8.30	10.444	0.17		
cis-10-Heptadecenoic acid, methyl ester		C ₁₇ :1 ω-6	0	0	0	0	11.990	0.14	11.126	0.09		
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-		C ₁₈ :2 ω-6	0	0	0	0	13.816	2.58	0	0		
Methyl stearate		C ₁₈ :0	13.970	2.60	14.499	0.96	14.013	2.95	13.063	2.49		
8-Octadecenoic acid, methyl ester		C ₁₈ :1 ω-9	15.028	42.32	0	0	0	0	0	0		

9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	C ₁₈ :1 ω-9	15.126	2.59	15.612	46.97	15.427	49.3	14.065	35.68
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	C ₁₈ :2 ω-6	16.780	30.30	18.040	31.04	17.093	20.43	15.848	35.50
9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	C ₁₈ :3 ω-3	19.332	2.30	20.272	4.03	19.565	3.05	18.957	2.27
Succinic acid	C ₂ H ₄ (COOH) ₂	0	0	0	0	0	0	19.451	0.26
Acetic acid, 2-ethylbutyl ester	C ₂ :0	21.176	0.10	22.277	0.15	0	0	0	0
Methyl 18-methylnonadecanoate	C ₂₀ :0	22.415	0.21	22.670	0.24	22.295	0.18	21.069	0.23
cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester	C ₂₀ :1 ω-9	0	0	0	0	23.216	0.36	22.403	0.46
Methyl 9-eicosenoate	C ₂₁ :1 ω-9	23.507	0.10	23.961	0.20	0	0	0	0
Heptacosane	C ₂₇ H ₅₆	25.325	0.05	25.468	0.08	24.698	0.20	23.694	0.20
Methoxyacetic acid, 2-pentadecyl ester	CH ₃ OCH ₂ COOH (CH ₃)C ₁₃ H ₂₇	0	0	0	0	25.870	0.17	25.754	0.17
Dibutyl phthalate	C ₈ H ₄ (COOBu) ₂	27.370	0.20	27.589	0.25	0	0	0	0
Oleic Acid	C ₁₈ :1 ω-9	0	0	0	0	27.751	0.66	27.844	0.76

Таблица 2. Состав липофильного экстракта семян свидаины
Table 2. Composition of lipophilic extract of *S. australis* seeds

Название вещества Name of substance	Химическая формула Chemical formula	Куппинский перевал, дерево №3 Kuppinsky pass, tree №3				Куппинский перевал, дерево №4 Kuppinsky pass, tree №4				Могохский мост, дерево №15 Mogoh Bridge, tree №15			
		Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)	Время выхода пиков (мин) Peak release time (min)	Доля вещества (%) Proportion of substance (%)
Octanoic acid, methyl ester		C ₈ :0	3.247	2.17	3.241	0.52	3.234	0.83					
2,4-Decadienal		C ₁₀ H ₁₆ O	0	0	4.790	0.71	4.790	1.17					
Heptanoic acid		C ₇ :0	0	0	0	0	5.061	0.07					
4-Tetradecene, (E)-		C ₁₄ H ₂₈	0	0	0	0	5.540	0.09					
Oxalic acid, cyclobutyl heptadecyl ester		C ₄ H ₇ COO-COOC ₁₉ H ₃₉	5.325	0.05	0	0	0	0					
Methyl 8-oxooctanoate		CH ₃ COO (CH ₂) ₆ CHO	6.487	0.14	6.229	0.04	6.223	0.16					
Tridecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester		C ₁₄ :0	0	0	6.481	0.05	0	0					
Nonanoic acid, 9-oxo-, methyl ester		C ₁₀ H ₁₈ O ₃	7.422	1.83	7.379	0.21	7.385	1.76					
10-Undecenoic acid, methyl ester		C ₁₁ :1	0	0	0	0	9.149	0.21					
Hexadecanoic acid, methyl ester		C ₁₆ :0	0	0	9.395	7.92	9.340	9.52					
7-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-		C ₁₆ :1 ω-9	8.891	0.04	0	0	0	0					
9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-		C ₁₆ :1 ω-6	9.475	9.33	9.758	0.14	9.850	0.14					
Hexadecanoic acid, ethyl ester		C ₁₆ :0	9.900	0.51	0	0	0	0					
Cyclotetradecane		C ₁₄ H ₂₈	0	0	12.519	0.05	0	0					
9-Borabicyclo[3.3.1]nonane, 9-hydroxy-		C ₈ H ₁₄ B	0	0	0	0	12.525	0.13					
Hexadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester		C ₁₇ :0	11.289	0.06	0	0	0	0					
Phenylthio 4-methylpent-3-enoate		C ₆ H ₅ SOCOCH ₂ CH=C(C H ₃) ₂	12.550	0.17	0	0	0	0					
Methyl stearate		C ₁₈ :0	14.339	1.18	0	0	14.222	3.39					
cis-13-Octadecenoic acid, methyl ester		C ₁₈ :1 ω-6	0	0	15.482	30.42	0	0					
7-Octadecenoic acid, methyl ester		C ₁₈ :1 ω-9	0	0	15.648	8.25	0	0					
9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester		C ₁₈ :1 ω-9	15.673	39.10	0	0	15.273	38.77					
9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester		C ₁₈ :2 ω-6	17.776	36.96	17.702	48.92	17.155	39.93					

9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	C ₁₈ :3 ω-3	19.670	0.44	19.620	0.38	19.399	0.16
Tetracosanoic acid, methyl ester	C ₂₄ :0	0	0	21.557	0.66	0	0
Methyl 18-methylnonadecanoate	C ₂₀ :0	0	0	22.369	0.13	0	0
cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester	C ₂₀ :1 ω-9	23.839	0.53	23.771	0.52	23.636	0.54
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0	0	0	0	27.337	0.27
Dibutyl phthalate	C ₈ H ₄ (COOH) ₂	0	0	27.411	0.19	0	0
Octadecanoic acid	C ₁₈ :0	0	0	0	0	31.647	0.66
Oleic Acid	C ₁₈ :1 ω-9	0	0	0	0	39.899	2.20
6,9,12-Octadecatrienoic acid, methyl ester	C ₁₈ :3 ω-6	0	0	40.169	0.29	0	0
Methyl 6-cis,9-cis,11-trans-octadecatrienoate	C ₁₉ H ₃₂ O ₂ ω-6	35.447	0.18	0	0	0	0
Methyl 9-cis,11-trans,13-trans.-octadecatrienoate	C ₁₉ H ₃₂ O ₂ ω-3	37.206	0.37	0	0	0	0
Nonanedioic acid, dimethyl ester	C ₁₁ H ₂₀ O ₄	40.120	1.18	0	0	0	0
Cyclopropanecarbal, 2-octyl-	C ₁₉ H ₃₆ O	0	0	41.042	0.16	0	0
cis-13-Eicosenoic acid	C ₂₀ :1 ω-6	42.174	0.12	0	0	0	0

Таблица 3. Процентное содержание триацилглицеридов, углеводородов и биологически активных соединений в липофильном экстракте перикарпа свидины в зависимости от высоты над уровнем моря

Table 3. Percentage content of triacylglycerides, hydrocarbons and biologically active compounds in the lipophilic extract of *S. australis* pericarp depending on the altitude above sea level

№	Место отбора образца Sample collection location	Высота над у.м. (м) Altitude (m)	Сумма углеводородов и триацилглицеридов (%) Sum of hydrocarbons and triacylglycerides (%)	Коэффициент корреляции Пирсона Pearson correlation coefficient	Уровень значимости корреляции Value of the correlation coefficients	Сумма биологически активных соединений (ПНЖК) (%) Sum of biologically active compounds (PUFAs) (%)	Коэффициент корреляции Пирсона Pearson correlation coefficient	Уровень значимости корреляции Value of the correlation coefficients
1	Купинский перевал, дерево №3 Kurpinsky Pass, tree №3	1000	66.4			33.6		
2	Купинский перевал, дерево №4 Kurpinsky Pass, tree №4	1000	63.1			36.9		
3	Могохский мост, дерево №15 Mogoh Bridge, tree №15	620	72.32	0.334	0.666	27.68	- 0.350	0.650
4	Махачкала, дерево №1 Makhachkala, tree №1	15	60.4			39.6		
5	Среднее Average		65.5			34.5		

Таблица 4. Количественное содержание триацилглицеридов, углеводородов и биологически активных соединений в липофильном экстракте семян свидины в зависимости от условий произрастания
Table 4. Percentage content of triacylglycerides, hydrocarbons and biologically active compounds in the lipophilic extract of *S. australis* seeds depending on the altitude above sea level

№	Место отбора образца Sample collection location	Высота над уровнем моря (м) Altitude (m)	Сумма углеводородов и триацилглицеридов (%) Sum of hydrocarbons and triacylglycerides (%)	Коэффициент корреляции Пирсона Pearson correlation coefficient	Уровень значимости корреляции Value of the correlation coefficients	Сумма биологически активных соединений (ПНЖК) (%) Sum of biologically active compounds (PUFAs) (%)	Коэффициент корреляции Пирсона Pearson correlation coefficient	Уровень значимости корреляции Value of the correlation coefficients
1	Могохский мост, дерево №15 Mogoh Bridge, tree №15	620	59.77			40.23		
2	Кулпинский перевал, дерево №4 Kuppinsky Pass, tree №4	1000	19.85	- 0.639	0.559	80.15	0.639	0.559
3	Кулпинский перевал, дерево №3 Kuppinsky Pass, tree №3	1000	52.6			47.4		
5	Среднее Average		44.07			55.92		

ВЫВОДЫ

Впервые показано, что свидина южная является перспективной масличной культурой с точки зрения применения в медицине в связи с присутствием в составе масла триацилглицеридов и углеводов, а также биологически активных соединений (ПНЖК), таких как омега ненасыщенные жирные кислоты.

Для комплексного извлечения ценных компонентов свидины южной целесообразно вначале осуществлять экстракцию всех липидов методом Фолча, а затем проводить экстракцию триацилглицеридов и углеводов с использованием гексана, с целью их разделения на биологически активные соединения, такие как полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК).

Результаты анализа, как семян, так и перикарпа свидины позволяют предположить, что содержание триацилглицеридов, углеводов и биологически активных соединений определяется генетической особенностью растений данного вида и не зависит от высоты над уровнем моря мест произрастания растений.

БИЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабаев А.А., Винберг Г.Г., Заварзин Г.А. Биологический энциклопедический словарь. Москва: Советская Энциклопедия, 1986. 831 с.
2. Шишкина Б.К. Флора СССР. Москва: Академия наук СССР, 1951. 390 с.
3. Карпукхин М. Ю., Абрамчук А.В. Садово-парковое и ландшафтное искусство: Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2013. 612 с.
4. Elagizi A., Lavie C.J., O'Keefe E., Marshall K., O'Keefe J.H., Milani R.V. An Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Health // *Nutrients*. 2021. V. 13. N 1. P. 204. doi: 10.3390/nu13010204
5. Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits // *Annual Review of Food Science and Technology*. 2018. V. 25. N 9. P. 345–381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850
6. Gao Z., Zhang D., Yan X., Shi H., Xian X., Effects of omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Coronary Atherosclerosis and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022. V. 9. Article ID: 904250. doi: 10.3389/fcvm.2022.904250
7. Khan S.U., Lone A.N., Khan M.S., Virani S.S., Blumenthal R.S., Nasir K., Miller M., Michos E.D., Ballantyne C.M., Boden W.E., Bhatt D.L. Effect of omega-3 fatty acids on cardiovascular outcomes: A systematic review and meta-analysis // *EClinicalMedicine*. 2021. V. 38. Article ID: 100997. doi: 10.1016/j.eclim.2021.100997
8. Rodriguez D., Lavie C.J., Elagizi A., Milani R.V. Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Cardiovascular Health // *Nutrients*. 2022. V. 14. N 23. Article ID: 5146. doi: 10.3390/nu14235146
9. Deng W., Yi Z., Yin E., Lu R., You H., Yuan X. Effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids supplementation for patients with osteoarthritis: a meta-analysis // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2023. V. 18. N 1. Article ID: 381. doi: 10.1186/s13018-023-03855-w
10. Li X., Bi X., Wang S., Zhang Z., Li F., Zhao A. Z. Therapeutic Potential of ω -3 Polyunsaturated Fatty Acids in Human Autoimmune Diseases // *Front Immunol*. 2019. V. 10. Article ID: 2241. doi: 10.3389/fimmu.2019.02241
11. Газиев М.А., Мусаев А.М., Залибеков М.Д., Раджабов Г.К. Перспективы использования биоресурсов некоторых видов дендрофлоры Дагестана // *Известия Дагестанского*

государственного педагогического университета.

Естественные и точные науки. 2008. N 3. С. 27–32.

12. Гроссгейм А.А. Растительные ресурсы Кавказа. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1946. 456 с.

13. Комаров В.Л. *Флора СССР*. Ленинград: Изд-во АН СССР, 1935. 397 с.

14. Рабаданов Г.А., Султанов Ю.М., Алхасов Б.А., Сулейманова Ф.В., Мусаев А.М., Исламова Ф.И. Исследование липидов свидины южной // Материалы V Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», Махачкала, 23-26 октября, 2017. Т. 2. С. 171–176

15. Магомедмирзоева Р.Г. Интродукция амаранта в Южном дагестане и оценка его хозяйственно-полезных свойств по морфобиометрическим и биохимическим показателям. Махачкала: Изд-во ФАНЦ РД, 2019. 67 с.

16. Рабаданов Г.А., Сулейманова Ф.В., Мусаев А.М., Асваров А.Ш. Способ отделения мякоти от семян при переработке плодовой продукции. Патент РФ, RU 2676922 C2, 2016.

17. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. Москва: «МедиаСфера», 2002. 312 с.

REFERENCES

1. Babaev A.A., Vinberg G.G., Zavarzin G.A. *Biologicheskii entsiklopedicheskii slovar'* [Biological Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Sovetskaya Entsiklopetiya Publ., 1986, 831 p. (In Russian)
2. Shishkina B.K. *Flora SSSR* [Flora of the USSR]. Moscow, Akademiya nauk SSSR Publ., 1951, 390 p. (In Russian)
3. Karpukhin M.Yu., Abramchuk A.V. *Sadovo-parkovoe i landshaftnoe iskusstvo* [Gardening and landscape art]. Ekaterenburg, Ural'skii GAU Publ., 2013, 612 p. (In Russian)
4. Elagizi A., Lavie C.J., O'Keefe E., Marshall K., O'Keefe J.H., Milani R.V. An Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Health. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 204. doi: 10.3390/nu13010204
5. Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2018, vol. 25, no. 9, pp. 345–381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850
6. Gao Z., Zhang D., Yan X., Shi H., Xian X., Effects of omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Coronary Atherosclerosis and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, vol. 9, article id: 904250. doi: 10.3389/fcvm.2022.904250
7. Khan S.U., Lone A.N., Khan M.S., Virani S.S., Blumenthal R.S., Nasir K., Miller M., Michos E.D., Ballantyne C.M., Boden W.E., Bhatt D.L. Effect of omega-3 fatty acids on cardiovascular outcomes: A systematic review and meta-analysis. *EClinicalMedicine*, 2021, vol. 38, article id: 100997. doi: 10.1016/j.eclim.2021.100997
8. Rodriguez D., Lavie C.J., Elagizi A., Milani R.V. Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Cardiovascular Health. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 23, article id: 5146. doi: 10.3390/nu14235146
9. Deng W., Yi Z., Yin E., Lu R., You H., Yuan X. Effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids supplementation for patients with osteoarthritis: a meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2023, vol. 18, no. 1, article id: 381. doi: 10.1186/s13018-023-03855-w
10. Li X., Bi X., Wang S., Zhang Z., Li F., Zhao A.Z. Therapeutic Potential of ω -3 Polyunsaturated Fatty Acids in Human Autoimmune Diseases. *Front Immunol*, 2019, vol. 10, article id: 2241. doi: 10.3389/fimmu.2019.02241
11. Gaziev M.A., Musaev A.M., Zalibekov M.D., Radzhabov G.K. Prospects for the use of bioresources of some species of dendroflora in Dagestan. *Izvestiya Dagestanskogo*

- gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [Dagestan state pedagogical university journal Nature and Exact Sciences]. 2008, no. 3, pp. 27–32. (In Russian)
12. Grossgeim A.A. *Rastitel'nye resursy Kavkaza* [Plant resources of the Caucasus]. Baku, AN Azerb. SSR Publ., 1946, 456 p.
13. Komarov V.L. *Flora SSSR*. [Flora of the USSR]. Leningrad, AN SSSR Publ., 1935, 397 p. (In Russian)
14. Rabadanov G.A., Sultanov Yu.M., Alkhasov B.A., Suleymanova F.V., Musaev A.M., Islamova F.I. Issledovanie lipidov svidiny yuzhnoi [Investigation of svidina yuzhnaya lipids]. *Materialy V Mezhdunarodnoi konferentsii «Vozobnovlyаемая энергетика: проблемы и перспективы», Makhachkala, 23-26 oktyabrya, 2017* [Proceedings of the V International Conference "Renewable Energy: problems and Prospects", Makhachkala, 23-26 October, 2017]. Makhachkala, 2017, vol. 2, pp. 171–176. (In Russian)
15. Magomedmirzoeva R.G. *Introduktsiya amaranta v Yuzhnom Dagestane i otsenka ego khozyaistvenno-poleznykh svoystv po morfobiometricheskim i biokhimicheskim pokazatelyam* [Introduction of amaranth in Southern Dagestan and assessment of its economically useful properties by morphobiometric and biochemical parameters]. Makhachkala, FASC of the RD Publ., 2019, 67 p. (In Russian)
16. Rabadanov G.A., Suleimanova F.V., Musaev A.M., Asvarov A.S. *Sposob otdeleniya myakoti ot semyan pri pererabotke plodovoi produktsii* [Method for separating flesh from seeds during processing of fruits]. Patent RF, no. 2676922 C2, 2016.
17. Rebrova O.J. *Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA* [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA application software package]. Moscow, Mediasphere Publ., 2000, 312 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Фарида В. Сулейманова составила концепцию работы, проанализировала и обобщила данные литературы, собрала материал, работала с ним, написала текста рукописи и сформулировала выводы. Загирбег М. Асадулаев и Азиз Б. Исмаилов составили концепцию работы, отредактировали текст, участвовали в формулировке выводов, утвердили окончательную версию рукописи для публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Farida V. Suleimanova conceptualised the study, drafted the manuscript, collected and worked with the material, designed the manuscript, formulated the conclusions, analysis and generalisation of the literature data. Zagirbeg M. Asadulaev and Aziz B. Ismailov are conceptualised the study, edited the text, participated in the formulation of conclusions and approved the final version of the manuscript for publication. 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

Фарида В. Сулейманова / Farida V. Suleimanova <https://orcid.org/0009-0003-4266-8770>
Загирбег М. Асадулаев / Zagirbeg M. Asadulaev <https://orcid.org/0000-0001-5370-6611>
Азиз Б. Исмаилов / Aziz B. Ismailov <https://orcid.org/0000-0003-0563-0004>



Особенности биогеоцикла и динамики углерода в ландшафтном экотоне «горы – равнины» (на примере Карбонового полигона Чеченской Республики)

Алексей Н. Гуня^{1,3}, Умар Т. Гайрабеков^{2,3}, Любовь Ш. Махмудова³

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Академия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия

³Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Контактное лицо

Умар Т. Гайрабеков, доктор географических наук, доцент, Институт природных ресурсов Академии наук Чеченской Республики; 364051 Россия, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а.

Тел. +79287812988

Email gairabekov_u@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6358-0477>

Формат цитирования

Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Особенности биогеоцикла и динамики углерода в ландшафтном экотоне «горы – равнины» (на примере Карбонового полигона Чеченской Республики) // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20, N 2. С. 153-164. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-12

Получена 17 февраля 2025 г.

Прошла рецензирование 25 марта 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель – разработать схему биогеоцикла на основе изучения сезонной динамики горно-лесных экосистем в ландшафтном экотоне «горы – равнины».

В основу работы положены полустационарные наблюдения на трех участках Карбонового полигона Чеченской Республики. В различные сезоны года фиксировался ход температуры, влажности и осадков, проводились ландшафтно-фенологические и ландшафтно-геофизические обследования, включающие описание и измерения набора и сочетания основных геомасс и геогоризонтов, составляющих вертикальные структуры, отбор проб для определения фито и мортмасс.

Выделены 8 типов суточных гидротермических состояний природных комплексов, которые в сочетании с тенденциями в биогеоцикле создают 15 ландшафтно-экологических состояний, характеризующихся различными условиями биогеоцикла и динамики углерода. В низкогорье наблюдается относительно простой биогеоцикл, определенная часть фитомассы депонируется в стволах, ветках и корнях деревьев. В предгорье в биогеоцикле наблюдаются разнонаправленные тренды в динамике углерода. Преимущественная потеря углерода за счет быстрой минерализации мортмасс с частичным накоплением углерода в почве наблюдается в широколиственных предгорно-равнинных лесах.

Сезонная динамика фито- и мортмассы на ключевых участках различается. Обоснованы три возможных пути влияния на биогеоцикл с целью повышения положительного баланса углерода.

Ключевые слова

Вертикальная структура, динамика углерода, геомасса, геогоризонт, фитомасса, мортмасса, биогеоцикл.

Features of the biogeocycle and carbon dynamics in the landscape ecotone "mountains – plains" (using the example of the carbon polygon of the Chechen Republic, Russia)

Alexey N. Gunya^{1,3}, Umar T. Gairabekov^{2,3} and Lyubov Sh. Makhmudova³

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Academy of Sciences, Chechen Republic, Grozny, Russia

³M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technological University, Grozny, Chechen Republic Russia

Principal contact

Umar T. Gairabekov, Doctor of Geographic Sciences, Associate Professor, Institute of Natural Resources, Academy of Sciences, Chechen Republic; 19a V. Aliyev St., Grozny, Russia 364051. Tel. +79287812988
Email gairabekov_u@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6358-0477>

How to cite this article

Gunya A.N., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Features of the biogeocycle and carbon dynamics in the landscape ecotone "mountains – plains" (using the example of the carbon polygon of the Chechen Republic, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):153–164. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-12

Received 17 February 2025

Revised 25 March 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

The objective was to develop a biogeocycle scheme based on the study of the seasonal dynamics of mountain-forest ecosystems in the "mountains – plains" landscape ecotone.

The work is based on semi-stationary observations at three sites of the Carbon Polygon of the Chechen Republic. In different seasons of the year the course of temperature, humidity and precipitation was recorded and landscape-phenological and landscape-geophysical surveys were carried out, including the description and measurements of the set and combination of the main geomasses and geohorizons that make up vertical structures and sampling to determine phyto- and mortmasses.

Eight types of daily hydrothermal states of natural complexes are identified, which, in combination with trends in the biogeocycle, create 15 landscape-ecological states characterised by different conditions of the biogeocycle and carbon dynamics. In the lowlands, a relatively simple biogeocycle is observed; a certain part of the phytomass is deposited in the trunks, branches and roots of trees. In the foothills, the biogeocycle shows multidirectional trends in carbon dynamics. Preferential loss of carbon due to rapid mineralisation of mortmass with partial accumulation of carbon in the soil is observed in broad-leaved foothill-plain forests.

Seasonal dynamics of phyto- and mortmass in key areas differ. Three possible ways of influencing the biogeocycle in order to increase the positive carbon balance are substantiated.

Key Words

Vertical structure, carbon dynamics, geomass, geohorizon, phytomass, mortmass, biogeocycle.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение динамики углерода находится в центре внимания ученых и экспертов в связи с изменением климата и возможным влиянием на содержание углерода в атмосфере за счет регулируемой трансформации наземных экосистем [1; 2]. В центре находятся исследования на созданных карбоновых полигонах, имеющих унифицированные программы наблюдений за динамикой углерода [3]. В ареалах с сильно фрагментированным и контрастным экосистемным покровом и сложной ландшафтной структурой точечные наблюдения нуждаются в дополнительном методологическом сопровождении для обеспечения репрезентативности получаемых данных на стационарах [4]. Слабо исследованы пространственные вариации в динамике углерода на ландшафтных экотонах, представляющих резкие контрасты между горными слабо нарушенными и сильно нарушенными и трансформированными предгорно-равнинными экосистемами. Для оценки динамики углерода в таких ландшафтных экотонах требуется детальное исследование природных циклов, в первую очередь, энергообмена, влагооборота и биогеоцикла. Изучение природных циклов неотрывно от исследования закономерностей циклической и направленной динамики во вмещающих экосистемах, исследования упорядоченности во времени состояний этих экосистем, их длительности и последовательного хода (их хроноструктуры). Континуально-дискретный характер изменений экосистем был убедительно продемонстрирован в трудах биогеоценологов и ландшафтоведов (например, [5] и др.).

Первостепенное значение для оценки баланса и динамики углерода в ландшафтах умеренного пояса имеет сезонная динамика экосистем и их компонентов. Изучение сезонной динамики растительности и ландшафтов имеет глубокие корни в фенологии. Исаченко А.Г. [6] считает сезонную динамику ландшафта составной частью ландшафтной структуры. Хроноструктура ландшафта на уровне внутрисезонных состояний – повторяющийся набор сезонных состояний, который отражает некую «память» ландшафтов и формирует реакцию на межгодовые изменения. Анализ этой «памяти» ландшафта был осуществлен на основе типизации структуры года с учетом формирования термических полей в конкретных ландшафтах.

В данной работе будет подробно рассмотрен только один из трех основных названных природных циклов – биогеоцикл с тем, чтобы определить основные характеристики баланса углерода, обозначить неувязки, вызванные дыханием почвы и динамикой активных газов. Для объяснения связей между звеньями биогеоцикла требуются, как правило, трудоемкие детальное исследования. Более простая методика изучения биогеоцикла, которая апробирована в полевых условиях, опирается на выделение дискретных временных отрезков – состояний, характеризующихся конкретными данными на входе и выходе [5]. Состояние природного комплекса является центральным понятием, которое стоит в основе моделирования природных циклов в рамках ландшафтно-геофизического подхода. Оно характеризуется таким соотношением параметров структуры и функционирования в определенный промежуток времени, в течение которого вход энергии, влаги и

других потоков трансформируется в определенные измеряемые функции на выходе – прирост фитомассы, сток, затраты на дыхание и др. Важность изучения закономерностей распределения и динамики состояний ландшафтов, раскрывающих структурированность природных процессов во времени, общепризнана. Сезонная динамика углерода раскрывает также зональные особенности биогеоцикла [7].

Более ранние наблюдения на ключевых участках показали, что в самой вертикальной структуре индикаторами смен состояний являются появление или выпадение отдельных геогоризонтов, играющих важную роль в динамике углерода [8]. Полученные ранее результаты по исследованию сезонной структуры подчеркнули важную роль сезонов, которые характеризуются переходом зеленой фитомассы в мортмассу с последующим разложением мортмассы. Опираясь на полученные в предыдущие годы результаты, в данной работе была поставлена цель – разработать схему биогеоцикла на основе изучения сезонной динамики горно-лесных экосистем в ландшафтном экотоне «горы – равнины». Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- изучить сезонную динамику ненарушенного лесного участка и лесного с умеренным антропогенным воздействием;
- разработать схему биогеоцикла с различными сценариями утилизации отдельных фракций мортмассы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу работы положен ландшафтно-геофизический подход, который хорошо зарекомендовал себя при оценке динамики углерода в горных ландшафтах со сложной морфологической структурой. Этот подход предполагает структурно-функциональный анализ и синтез природных комплексов: выделение элементарных составляющих функционирования – геомасс с последующим их синтезом в геогоризонты. Набор геомасс и геогоризонтов индицирует конкретное состояние структуры и функционирования, отражая связь в цепочке «структура-процесс». Конкретное соотношение геомасс и геогоризонтов, стратифицированных по отношению к основным потокам вещества и энергии, выражается в вертикальной структуре природных комплексов. Именно тип вертикальной структуры конкретного природного комплекса указывает на характер и интенсивность трех основных циклов – энергообмена, влагооборота и биогеоцикла. Многочисленные исследования показали, что изучение геомасс, геогоризонтов и вертикальной структуры способствует определению основных параметров природных циклов и указывает на направление природной динамики [9].

Были проведены полустационарные наблюдения на трех участках карбонового полигона Чеченской Республики (рис. 1):

- 1) окультуренный участок сухостепных ландшафтов с относительно выровненным рельефом и небольшим перепадом высот (104–114 м) («карбоновая ферма») в Алханчурской долине на междуречье р. Сунжи и ее притока р. Нефтянки на северо-восточной окраине г. Грозного;

2) участок в Черноречье (Чеченская равнина под водоохранными широколиственными лесами, 169 м н. у. м.);

3) участок Рошни-Чу (широколиственно-лесные низкогогорья, около 450 м н. у. м.).

На участках были спланированы и реализованы наблюдения и измерения сезонных изменений в

биогеоциклах. Ключевые участки различаются по условиям миграции химических элементов. Как видно из рисунка 1, ключевой участок Рошни-Чу расположен в элювиально-аккумулятивных условиях, уровень грунтовых вод не влияет на биогеоцикл. Увлажнение осуществляется за счет атмосферных осадков и частично – за счет делювиального смыва.

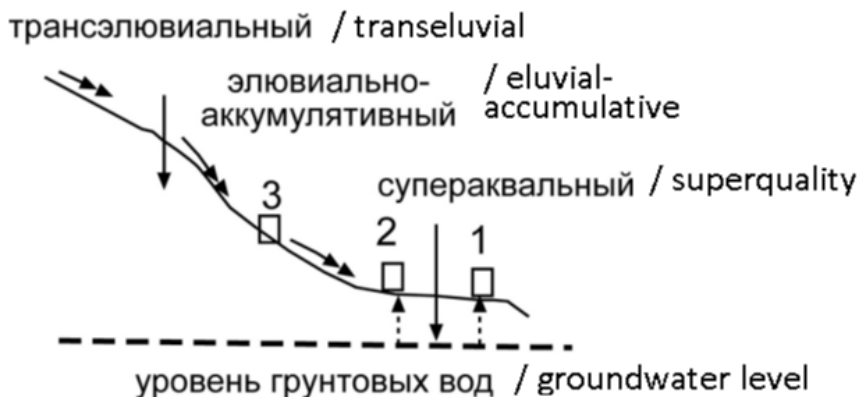


Рисунок 1. Расположение ключевых участков по условиям миграции химических элементов:

1 – «Карбоновая ферма», 2 – Черноречье, 3 – Рошни-Чу

Figure 1. Location of key areas according to the conditions of migration of chemical elements:

1 – “Carbon farm”, 2 – Chernorechye, 3 – Roshni-Chu

Участки «карбоновая ферма» и Черноречье расположены в супераккумулятивных условиях, при которых важную роль играет уровень грунтовых вод. Следует отметить, что на Чеченской равнине уровень грунтовых вод сильно зависит от сезона года. При этом значительную часть года природный комплекс находится в условиях недостаточного атмосферного и грунтового увлажнения. В этом случае тип миграции химических элементов приближается к аккумулятивно-элювиальным условиям.

На участках фиксировались микроклиматические параметры на основе данных логгеров – датчиков температуры и влажности. Был получен ход метеоклиматических элементов – внутрисуточный ход температуры воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м. Выделение состояний проводилось по разработанной Н.Л. Берущавили методике [5], предполагающей ландшафтно-геофизическое описание геомасс, геогоризонтов и вертикальных структур на ключевых участках, наблюдения за состоянием растительного покрова, динамикой биомассы, определение фракций мортмассы на поверхности почвы, а также гумуса и основных питательных веществ. Для построения моделей биогеоциклов использовались расчеты по запасам надземной и подземной массы на единицу площади ($г/м^2$, $т/га$). Определение фитомассы древостоя проводилось по методике, используемой при экспедиционных исследованиях [10]. Регулярные наблюдения на участках заложили основу к выделению влажностно-термических состояний, которые соответствуют различным фенофазам растений, интенсивности разложения подстилки и опада, интенсивности и характеру других биогенных и абиогенных процессов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сезонная структура ключевых участков

Анализ хода температуры, влажности и осадков за 2022–2024 гг., ландшафтно-фенологические и

ландшафтно-геофизические обследования ключевых участков позволили выделить 8 типов суточных гидротермических состояний природных комплексов (рис. 2).

1. С – семиаридное мегатермальное с низким содержанием влаги в почве, высокими среднесуточными ($20-25^{\circ}$) и максимальными (более 30°) температурами. Характерно для позднелетнего жаркого периода. Наряду с вегетацией травянистой растительности и подростом под пологом леса, идет усыхание некоторых вегетативных органов древесной растительности, образование мортмасс в форме отпада.
2. ГС – гумидно-семиаридное макротермальное с недостатком влаги в почвах и относительно высокими среднесуточными ($15-20^{\circ}$) и максимальными температурами (более $25-30^{\circ}$). Наблюдается сглаженный суточный ход и стабилизация температурного режима с преимущественным поступлением тепла в почву (за исключением некоторых ночных часов).
3. Г4 – семигумидное мезотермальное со среднесуточными температурами около $15-25^{\circ}$.
4. Г3 – гумидное мезотермальное со среднесуточными температурами около $5-15^{\circ}$, но минимальными температурами, спускающимися в ночные часы до 5° .
5. Г2 – гумидное микротермальное с положительными среднесуточными температурами $5-10^{\circ}$, но с большими перепадами температур – относительно высокими максимумами и минимальными, опускающимися до 0° . Наблюдаются разнонаправленные потоки тепла из почвы в атмосферу и наоборот. Деревья стоят без листьев, солнечные лучи проникают к почве, она нагревается в дневное время и охлаждается в ночное, идет активная вегетация травянистого покрова.
6. Г1 – гумидное микротермальное со среднесуточными температурами $0+5^{\circ}$, но с отрицательными минимумами, приносящими заморозки на почве. Активное разложение подстилки за счет резких колебаний температуры.

7. ГК – гумидно-нивальное криотермальное со среднесуточными температурами менее -5–0°, но положительными максимальными температурами. Образование мерзлого горизонта почв.
8. НК – нивальное криотермальное с низкими отрицательными среднесуточными и максимальными температурами, минимальные температуры опускаются ниже – 15°, образование фрагментарного снежного покрова.

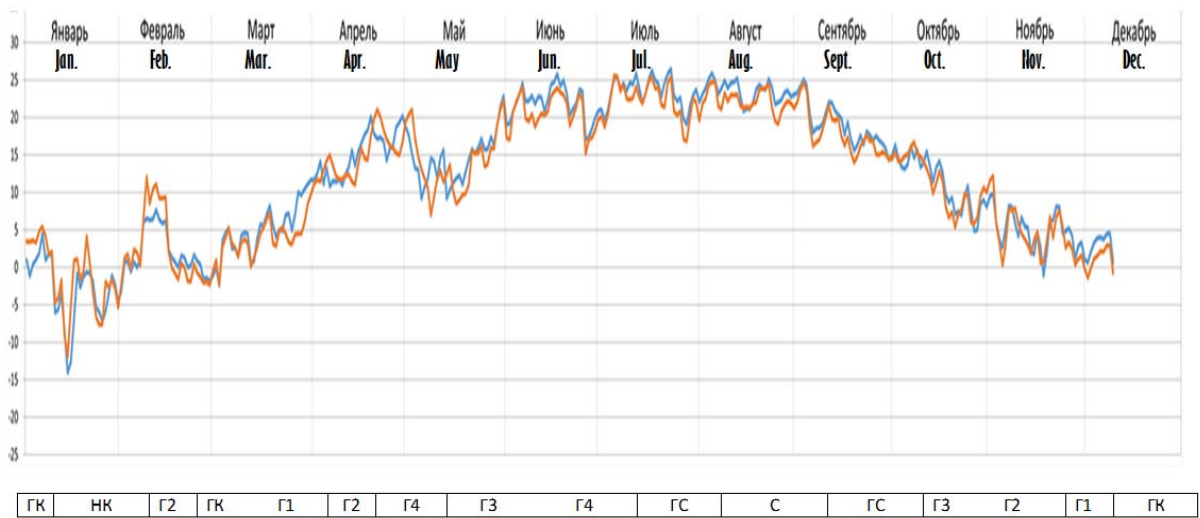


Рисунок 2. Сезонный спектр гидротермических состояний ключевых участков
Сверху показаны графики среднесуточных температур в Черноречье (синий цвет) и Рошни-Чу (красный цвет) за 2024 г. Снизу отложены типы гидротермических состояний
Figure 2. Seasonal spectrum of hydrothermal states of key areas
The graphs of average daily temperatures in Chernorechye (blue) and Roshni-Chu (red) for 2024 are shown at the top. The types of hydrothermal states are shown at the bottom

Стратификация геогоризонтов по отношению к основным потокам вещества и энергии отражает четыре основные тенденции:

1. Создание и усложнение вертикальной структуры (↑). Выделяются два варианта. В весенне-летнее время создание и усложнение вертикальной структуры идет за счет притока тепла, фотосинтеза и накопления углерода. В зимнее время и некоторые переходные периоды появляются геогоризонты, которые связаны с деятельностью холода – вода в состоянии льда (мерзлые геогоризонты в почвах) и снега.
2. Трансформация вертикальной структуры (↔) происходит за счет увеличения или сокращения тех или иных геомасс в геогоризонтах. За счет этого изменяется интенсивность биогеоцикла. В осеннее время наблюдается замедленный фотосинтез, преобладает эмиссия углерода.
3. Разрушение и упрощение вертикальной структуры (↓) сопровождается, как правило, преобладанием эмиссии углерода над стоком.
4. Стабилизация вертикальной структуры (≤) характеризуется относительно неизменным составом геомасс и геогоризонтов в условиях слабой интенсивности процессов теплообмена, наблюдается относительно низкая интенсивность экосистемного обмена CO₂.

Таким образом, сезонная структура представлена 8 температурно-влажностными состояниями, которые в сочетании с тенденциями в биогеоцикле создают 15 ландшафтно-экологических состояний, характеризующихся различными условиями биогеоцикла и динамики углерода (табл. 1).

Таблица 1. Ландшафтно-экологические состояния ключевых участков карбонового полигона (Черноречье и Рошни-Чу)

Table 1. Landscape and ecological conditions of key areas of the carbon polygon (Chernorechye and Roshni-Chu)				
Гидротермическое состояние Hydrothermal state	Создание и усложнение вертикальной структуры Creation and complication of vertical structure	Трансформация вертикальной структуры Transformation of the vertical structure	Разрушение и упрощение вертикальной структуры Destruction and simplification of the vertical structure	Стабилизация вертикальной структуры Stabilisation of the vertical structure
Сemiаридное мегатермальное Semi-arid megathermal		С ↔		
Гумидно-сemiаридное макротермальное Humid-semi-arid macrothermal	ГС ↑		ГС ↓	

Семигумидное мезотермальное Semihumid mesothermal	Г4↑	Г4↓
Гумидное мезотермальное Humid mesothermal	Г3↑	Г3↓
Гумидное микротермальное Humid Microthermal	Г2↑	Г2↓
Гумидное микро и криотермальное Humid micro- and cryothermal		Г1⚡ Г1≤≥
Гумидно-нивальное криотермальное Humid-nival cryothermal	ГК ↑	ГК ⚡
Нивальное криотермальное Nival cryothermal	НК ↑	НК ≤≥

Каждое из состояний играет свою роль в жизни природных комплексов. Уникальными (неповторяющимися в течение года) являются семиаридное мегатермальное состояние трансформации структуры и гумидно-семиаридное макротермальное состояние усложнения структуры, отличающиеся недостатком влаги в почве, замедлением фотосинтеза, ускоренной минерализацией мортмасс и потерей углерода в процессе дыхания.

Чередование и длительность состояний является важнейшим показателем хроноструктуры экосистем. Какие состояния предшествовали конкретному состоянию, насколько быстро произошла смена состояний – все это с учетом инертности энергетических сигналов в ландшафте определяет основные параметры биогеоцикла. Эти и другие особенности сезонной хроноструктуры могут быть положены в центр анализа при рассмотрении трансформации биогеоцикла под влиянием изменений глобального климата и выраженности этих изменений в регионе.

Связь климатических данных в течение сезонов с динамикой фито- и мортмасс

Как показали замеры фито- и мортмасс в Черноречье (рис. 3), динамика древесной фитомассы, мортмассы и травянистой фитомассы существенно различаются в разные сезонные состояния. Древесная фитомасса стволов – относительно стабильный фактор. Она достигает около 130 т/га и может быть измерена по годичным кольцам прироста. На текущем этапе проекта такие исследования, базирующиеся на дендрохронологическом анализе, не проводились. Расчетным способом было выявлено, что основной сезонный прирост приходится на конец мая – первую половину лета, когда появляются листья (максимальная масса достигает 3,25 т/га) и веток (около 30 т/га). С учетом только годичного прироста тонких веток общегодовой прирост фитомассы за счет листьев и веток не превышает 15 т/га. Вычисление прироста корней не представлялось возможным в рамках данных исследований. Пик травянистой фитомассы (около 4 т/га) достигался в первой половине июля (гумидно-семиаридное макротермальное состояние усложнения вертикальной структуры), затем шел спад, что связано с недостатком влаги и усыханием верхних горизонтов

почвы. Спад был несколько замедленным, что связано с растянутостью гумидных мезо- и микротермальных состояний. При этом вследствие опада листьев освещенность и относительная высокая влажность под пологом леса благоприятствовали второму пику роста травянистой растительности. Минимум травянистой фитомассы (0,1 т/га) приходился на нивально-криотермальное состояние. В течение гумидно-нивального криотермального, гумидных микро и криотермального, микротермального и мезотермального состояний шел медленный рост травянистой фитомассы. Отмечается крайняя неравномерность латеральной структуры травянистого растительного покрова вследствие неодинакового прогрева почвы. Первыми появляются куртины черемши и только затем начинает появляться разнотравье и злаки.

Кривая мортмассы в первую половину года зеркальна кривой травянистой фитомассы. Максимум мортмассы приходится на границу гумидных и семигумидных мезотермальных состояний. Именно в это время интенсивная солнечная радиация приводит к резкому уменьшению влажности на поверхности почв, наблюдается отмирание сухих веток деревьев и подвоя. Большая доля отпада приводит к тому, что мортмасса достигает более 20 т/га. Затем наблюдается интенсивное разложение подстилки и ветоши, что приводит к уменьшению мортмассы. Небольшой второй пик мортмассы приходится на гумидные мезо- и микротермальные состояния упрощения структуры.

Максимальная фитомасса стволов в Рошни-Чу достигает около 290 т/га, что более чем в 2 раза превышает таковую в Черноречье. Основной годичный прирост фитомассы приходится на листву и ветки. Максимальная масса листвы по расчетным данным достигает более 7 т/га и веток (около 70 т/га). С учетом только годичного прироста тонких веток общегодовой прирост фитомассы за счет листьев и веток не превышает 30 т/га.

Пик травянистой фитомассы (около 0,2 т/га) приходится на октябрь, когда господствуют гумидные мезотермальные состояния упрощения и разрушения структуры. В остальное время травянистые фитомассы не превышают 0,1 т/га. В травянистом покрове преобладают куртины злаков, которые вегетируют даже в зимние состояния.

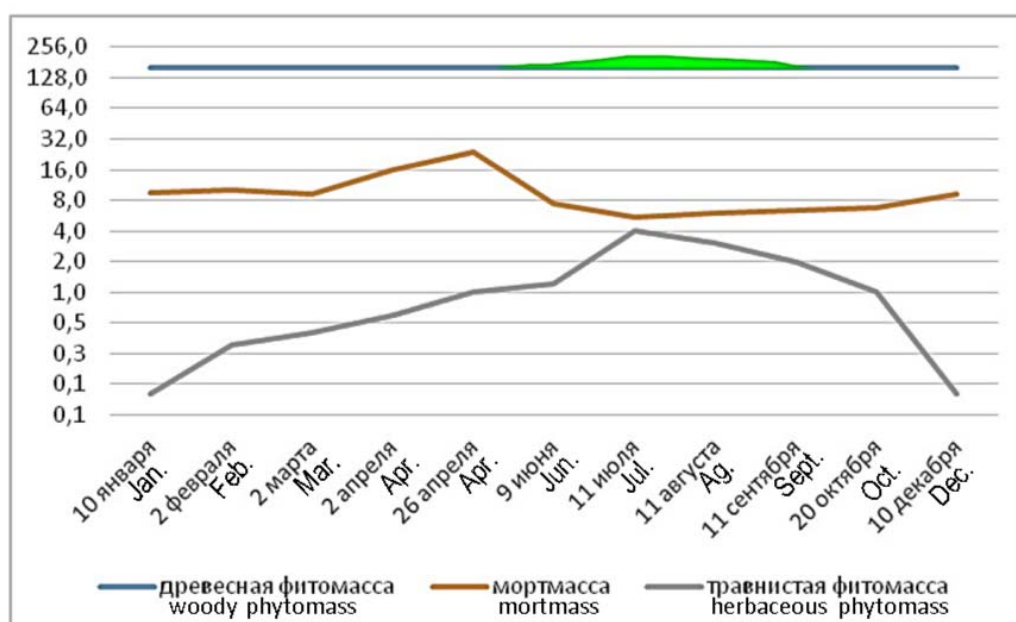


Рисунок 3. Динамика фито- и мортмассы в Черноречье (т/га, в перерасчете на сухой вес)

Ось значений фитомассы дана в логарифмическом масштабе. Зеленым цветом указаны фитомассы листьев

Figure 3. Dynamics of phyto- and mortmass in Chernorechye (t/ha, in terms of dry weight)

The axis of phytomass values is given in logarithmic scale. Leaf phytomass is shown in green

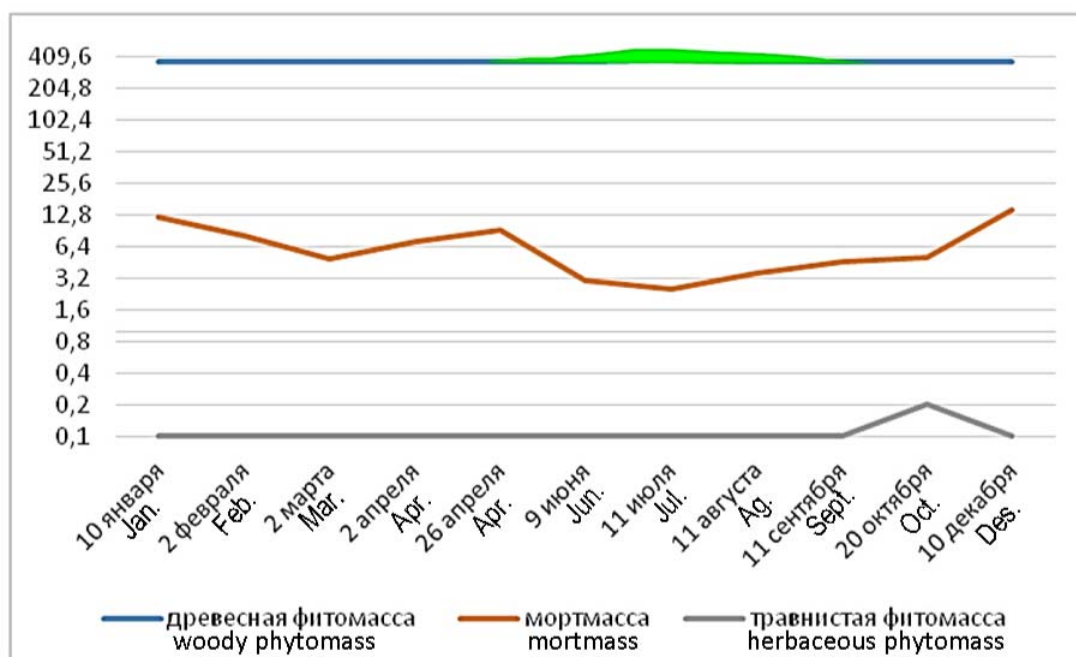


Рисунок 4. Динамика фито- и мортмассы в Рошни-Чу (т/га, в перерасчете на сухой вес).

Ось значений фитомассы дана в логарифмическом масштабе. Зеленым цветом указаны фитомассы листьев

Figure 4. Dynamics of phyto- and mortmass in Roshni-Chu (t/ha, in terms of dry weight).

The axis of phytomass values is given in logarithmic scale. Leaf phytomass is shown in green

Кривая мортмассы практически не зависит от динамики травянистой фитомассы. Максимум мортмассы (около 13 т/га) приходится на нивально-криотермальные состояния зимнего периода, когда накапливается значительный слой подстилки из опавших листьев. По мере увеличения температуры подстилка постепенно разлагается. Минимум приходится на середину лета (около 3 т/га), когда господствуют семигумидные макротермальные и семиаридные мегатермальные состояния. Далее количество мортмассы постепенно растет. Пик разложения мортмассы, таким образом, приходится на весенний период.

Сравнивая оба участка (рис. 5), обращает на себя внимание тот факт, что несмотря на значительный перевес в древесной фитомассе в Рошни-Чу, мортмасса на этом участке меньше, чем в Черноречье. Это объясняется более разновозрастным лесом в Черноречье с подлеском и подростом, который служит дополнительным источником отпада. В Рошни-Чу источником мортмассы являются в основном листья, которые при гумификации и минерализации возвращаются в атмосферу с летучими газами и частично пополняют содержание гумуса в почве.

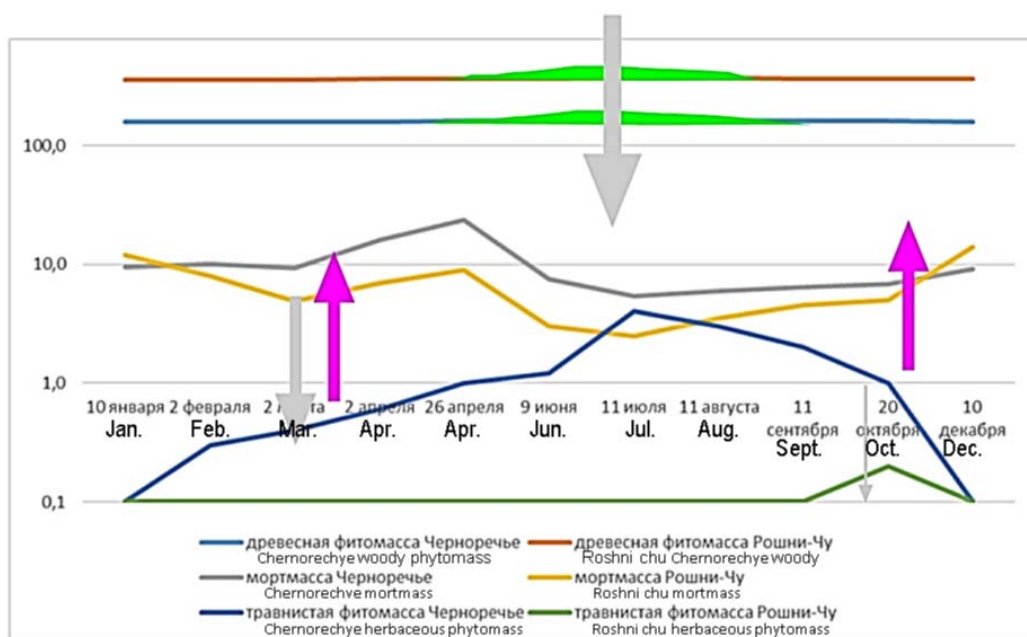


Рисунок 5. Динамика фитомассы и мортмассы (т/га, в перерасчете на сухой вес)

на участке Черноречья и Рошни-Чу

Ось значений фитомассы дана в логарифмическом масштабе. Зеленым цветом указаны фитомассы листьев.

Стрелка вверх обозначает эмиссию, вниз – сток

Figure 5. Dynamics of phytomass and mortmass (tons per hectare, in terms of dry weight) in the Chernorechye and Roshni-Chu area

The axis of phytomass values is given in logarithmic scale. Leaf phytomass is shown in green.

The upward arrow denotes emission, the downward arrow denotes runoff

Рассматривая сезонную динамику фито- и мортмассы на двух ключевых участках, можно заключить, что в Рошни-Чу наблюдается относительно простой биогеоцикл. Мертвопокровные широколиственные леса с умеренным антропогенным воздействием характеризуются периодом активного накопления углерода в результате фотосинтеза (гумидные и семигумидные мезо и макротермальные состояния) и периодом преимущественного возвращения углерода в атмосферу при дыхании почв, разложении подстилки в весенние и осенние состояния. Более сложно устроена периодичность стока и эмиссии углерода в Черноречье. Здесь в биогеоцикле наблюдаются разнонаправленные тренды в динамике углерода. Относительный баланс между стоком и эмиссией углерода наблюдается в весенне-летние гумидные и семигумидные мезо- и макротермальные состояния, которые переходят в семиаридные мегатермальные состояния с преобладанием эмиссии углерода над стоком за счет активного разложения мортмасс. В обоих участках можно выделить гумидные и нивальные криотермальные состояния относительно покоя, когда экосистемный обмен CO_2 минимальный.

К разработке модели биогеоцикла

Биогеоцикл ключевых участков является одним из трех важнейших составляющих функционирования наряду с трансформацией солнечной энергии и влагооборота. На верхнюю границу природного комплекса в летний солнечный день поступает примерно 350 Вт/м кв. в Черноречье (рис. 6). В верхнем фотосинтетически активном горизонте наблюдается основное поглощение суммарной радиации. К нижней границе проникает около трети радиации. За счет турбулентного теплообмена с атмосферой, затрат энергии на

фотосинтез и транспирацию теряется до 10–20 % энергии (в зависимости от погодной ситуации этот показатель сильно колеблется). В летние сезоны, когда лесные экосистемы имеют геогоризонт листьев, поверхности почвы достигает около 5–7 % суммарной радиации. Поэтому теплообмен с почвой относительно невелик, он резко увеличивается в весенние и осенние состояния. Так, по данным наблюдений в апреле разница температур на высоте 0,5 и 2 м. может достигать 10 град, что свидетельствует о значительном потоке тепла в системе почвы-воздух.

В переходные от зимы к лету гумидные мезотермальные и микротермальные состояния на поверхности почвы находилось от 2 до 9 т/га мортмассы (в зависимости от латеральной структуры и места взятия пробы) в виде стволов поваленных деревьев и другого мелкого опада (здесь и далее приводится сухой вес). Величина опада в данном состоянии составляла 2,5 т/га (в разных пробах от 2 до 3 т/га). Подстилка достигала от 8 до 11 т/га. Таким образом, общее количество мортмассы в гумидные мезотермальные состояния достигала от 12 до 23 т/га.

В это же состояние на участке широколиственного леса в низкоросле (Рошни-Чу), мортмасса опада составляла 1,2 т/га, опада – 3,4 т/га и подстилки – 4,4 т/га. Всего мортмасса на этом участке составляла 10 т/га, что существенно меньше, чем в Черноречье. Это связано как с особенностями строения этих природных комплексов, так и от скорости разложения мортмасс.

В летнее время количество мортмассы в Черноречье уменьшается почти в 2 раза, а в Рошни-Чу – почти в три раза. Это происходит за счет разложения в основном опада и подстилки. Органическое вещество мортмассы подвергается разложению со стороны гетеротрофов, которые по разным подсчетам достигают

до 0,5–0,7 т/га (учитывая также ризофитов и детритофитов) (см., например, [11]). Для их жизнедеятельности большое значение имеют благоприятные высокие температуры и относительно высокая влажность. Уже к концу лета влажность падает, что несколько снижает активность гетеротрофов. В Черноречье в верхнем гумусовом горизонте (0–12 см) содержание гумуса составляет 6,9 %. По некоторым данным, масса гумуса в почве в горных широколиственных лесах примерно равна надземной фитомассе [9].

Гумификация и минерализация мортмасс также сильно различается по сезонам и на разных участках. Как показали наши исследования, запасы органического вещества в мортмассе и, следовательно, углерода резко уменьшаются от весны к лету. К тому же под воздействием минерализации количество мортмассы быстро уменьшается при переходе из опада в подстилку и далее в почву. По некоторым оценкам подавляющая часть мортмассы (до 98 %) возвращается в атмосферу за счет минерализации [12].

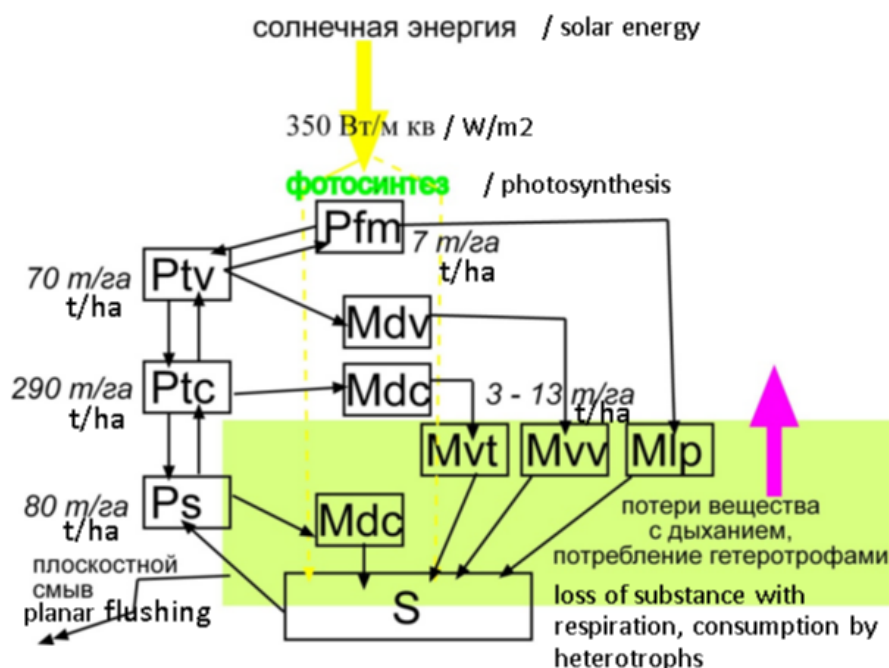


Рисунок 6. Схематическая модель биогеоцикла на участке Рошни-Чу (без учета травянистой фитомассы)

Знаками показаны геомассы: P – фитомасса, Ptc – стволы кронообразующих деревьев, Ptv – ветки деревьев и стволы кустарников, Pfm – мезофитные листья, Pi – травянистая фитомасса, Ps – корни; M – мортмасса, Md – сухостой, Mdv – отмершие ветки, Mvt – отпад в виде стволов деревьев, Mvv – валежник, Ml – ветошь, Mlp – свежая подстилка, Mo – мор, полуразложившаяся подстилка, Ms – отмершие корни. S – педомасса. Значение солнечной энергии в летнее время. Значения фито- и мортмасс указаны в т/га в перерасчете на сухой вес

Figure 6. Schematic model of the biogeocycle in the Roshni-Chu area (excluding herbaceous phytomass)

Signs indicating geomasses: P – phytomass, Ptc – trunks of crown-forming trees, Ptv – tree branches and shrub trunks, Pfm – mesophytic leaves, Pi – herbaceous phytomass, Ps – roots, M – mortmass, Md – dead wood, Mdv – dead branches, Mvt – waste in the form of tree trunks, Mvv – fallen wood, Mm – rags, Mlp – fresh litter, Mo – dead, semi-decomposed litter, Ms – dead roots. S – pedomass. The value of solar energy in summer. The values of phyto- and mortmass are indicated in t/ha, recalculated to dry weight

Принципиальная модель биогеоцикла подчеркивает две важные особенности:

1. Ведущую роль механизма разложения мортмассы. Относительно низкие значения наземной фитомассы в Черноречье по сравнению с Рошни-Чу (различаются почти в два раза) вызваны менее благоприятными условиями роста деревьев, образованием сухостоя и отпада. Причины этому как в неустойчивом увлажнении корневых систем (глубокое проникновение до уровня грунтовых вод только у части деревьев), так и в относительно низкой продуктивности. Так, содержание фосфора в почвах Черноречья крайне низкое 0,8 мг/100 г, в то время как в Рошни-Чу оно достигает 15 мг/100 г.

2. Слабо исследуемой областью является изучение интенсивности трансформации органического вещества при переходах от накопления углерода к

трансформации углерода в различных фракциях мортмассы, его участия в дыхании гетеротрофов и поступлении в почву. Скорости минерализации и гумификации сильно зависят от метеоклиматических условий. С точки зрения хроноструктуры ландшафта важным является также предопределенность переходов от одного состояния к другому, длительность предыдущих состояний, резкость переходов. Эти аспекты так или иначе затрагивают этологию ландшафта и будут исследованы на следующем этапе работ.

Другое важное наблюдение для понимания экосистемного обмена CO₂ заключается в установлении связи продуктивности почв и запасов надземной мортмассы. В случае Черноречья наблюдается относительно большое количество мортмассы, однако относительно низкое содержание гумуса и азота в

почве. Пониженная активность почв не способствует росту деревьев. Да и пополнение гумуса в почве происходит крайне медленно, подавляющее большинство мортмассы разлагается на летучие соединения и газы.

Как показали наблюдения за сезонными состояниями ключевых комплексов и динамикой фито- и мортмассы, возможное влияние на биогеоцикл тесно связано с утилизацией отдельных фракций мортмассы. На трех участках – в Черноречье, в Рошни-Чу и на карбоновой ферме – наблюдаются различные условия функционирования и динамики природных комплексов, что дает основание для реализации трех сценариев.

1. Преимущественная эмиссия углерода за счет быстрой минерализации мортмасс с частичным накоплением углерода в почве наблюдается в широколиственных предгорно-равнинных лесах с недостатком увлажнения в летние сезоны (Черноречье). Разновозрастный лес находится на грани экологического оптимума, осадков в вегетационный сезон не хватает, часть древесной растительности быстро усыхает и пополняет мортмассу. В то же время эта мортмасса в большинстве своем при разложении теряется в виде летучих соединений. В почву попадает лишь незначительная часть. Этот сценарий, таким образом, не является эффективным и требует оптимизации биогеоцикла.

2. Другая ситуация наблюдается в Рошни-Чу, где определенная часть фитомассы депонируется в стволах, ветках и корнях деревьев. Более растянутый период минерализации мортмассы позволяет ей пополнять гумусовый горизонт почв. Однако в условиях отсутствия дерновины в лесах часть верхнего гумусового горизонта и подстилки уносится плоскостным смывом. Тем не менее, сравнивая запасы надземной фитомассы, которые почти в два раза превышают таковую в Черноречье, можно сказать, что данный вариант баланса углерода более оптимален.

3. Возникает вопрос, какие оптимальные альтернативные сценарии можно предложить для Чеченской равнины, в большей степени безлесной. Аналогом таких потенциальных ареалов является участок карбоновой фермы в окрестностях Грозного. Попытки посадки деревьев в 2021 г. (*Salix Tortuosa*) оказались неудачными в связи с жаркой и сухой погодой. Здесь условия вряд позволят реализовать сценарий по типу Рошни-Чу. Но и сценарий Черноречья, как показывает анализ этого участка, не является эффективным. На наш взгляд, наиболее оптимальным вариантом экосистемы с эффективными природными и квазиприродными сценариями экосистемного обмена CO₂ на основе более оптимальной трансформации (утилизации) мортмассы может стать конструирование лесостепных (саваноидных) природных комплексов, предполагающих разреженные кустарниковые и лугостепные мелколесья с деревьями, имеющими глубокие корни и приспособленными к длительным периодам засухи. В таких условиях умеренный выпас и сенокосение позволят сократить объемы накопления мортмассы и эмиссии углерода, а также потери за счет других летучих соединений. Возможно повышение активности почв (за счет дополнительного увлажнения и повышения соотношения углерода к азоту), что позволит увеличить депонирование углерода в почву.

ВЫВОДЫ

1. Анализ хода температуры, влажности и осадков за 2022–2024 годы, ландшафтно-фенологические и ландшафтно-геофизические обследования ключевых участков позволили выделить 8 типов суточных гидротермических состояний природных комплексов, которые в сочетании с тенденциями в биогеоцикле создают 15 ландшафтно-экологических состояний, характеризующихся различными условиями биогеоцикла и динамики углерода. Каждое из состояний играет свою роль в жизни природных комплексов. Уникальными (неповторяющимися в течение года) являются состояния: семиаридное мегатермальное трансформации структуры и гумидно-семиаридное макротермальное усложнения структуры, отличающиеся недостатком влаги в почве, замедлением фотосинтеза, ускоренной минерализацией мортмассы и эмиссией углерода.

2. Сезонная динамика фито- и мортмассы на ключевых участках различается. В Рошни-Чу наблюдается относительно простой биогеоцикл. Мертвопокровные широколиственные леса с умеренным антропогенным воздействием характеризуются периодом активного накопления углерода в результате фотосинтеза (гумидные и семигумидные мезо и макротермальные состояния) и периодом преимущественной эмиссии углерода при дыхании почв, разложении подстилки в весенние и осенние состояния. В Черноречье в биогеоцикле наблюдаются разнонаправленные тренды в динамике углерода. Относительный баланс между аккумуляцией и выбросом углерода наблюдается в весенне-летние гумидные и семигумидные мезо- и макротермальные состояния, которые переходят в семиаридные мегатермальные состояния с преобладанием эмиссии углерода над стоком за счет активного разложения мортмасс. В обоих участках можно выделить гумидные и нивальные криотермальные состояния относительно покоя, когда динамика углерода замедленная.

3. Важную роль для обеспечения положительного баланса в биогеоцикле играет мортмасса. Относительно высокие значения наземной мортмассы в Черноречье вызваны менее благоприятными условиями роста деревьев, образованием мортмассы в виде сухостоя и отпада. Причины этому как в неустойчивом увлажнении корневых систем, так и в относительно низкой продуктивности почв. Учитывая, что скорости минерализации и гумификации сильно зависят от метеоклиматических условий, нужны более детальные исследования интенсивности трансформации органического вещества при переходах от накопления углерода к трансформации углерода в различных фракциях мортмассы, участия в дыхании гетеротрофов и поступлении гумуса и минеральных веществ в почву.

4. Наблюдения за сезонной динамикой ключевых комплексов позволили обозначить возможные пути влияния на биогеоцикл с целью повышения положительного баланса углерода. В настоящий момент наблюдаются три сценария. Преимущественная потеря углерода за счет быстрой минерализации мортмасс с частичным накоплением углерода в почве наблюдается в широколиственных предгорно-равнинных лесах с недостатком увлажнения в летние сезоны (Черноречье). В Рошни-Чу определенная часть фитомассы депонируется в стволах, ветках и корнях деревьев, а более растянутый период минерализации

мортмассы позволяет пополнять почвы гумусом и минеральными веществами. Что касается участка карбоновой фермы, наиболее оптимальным вариантом для повышения депонирования углерода может стать конструирование лесостепных (саваноидных) природных комплексов в виде разреженных кустарниковых и лугостепных мелколесий с деревьями, имеющими глубокие корни и приспособленными к длительным периодам засухи.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2024-0004 «Комплексное изучение потоков парниковых газов на природных и антропогенно-нарушенных ландшафтах Чеченской Республики и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению биоресурсного потенциала нарушенных земель».

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state assignment of the M.D. Millionshchikov GGNTU, FZNU-2024-0004, Comprehensive Study of Greenhouse Gas Flows in Natural and Anthropogenically Disturbed Landscapes of the Chechen Republic and the Development of Scientifically Based Recommendations for the Restoration of the Bioresource Potential of Disturbed Lands.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Winkler K., Yang H., Ganzenmüller R., Fuchs R., Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Pongratz J., Bastos A., Shvidenko A., Araza A., Herold M., Wigneron J.-P., Ciais P. Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe's terrestrial carbon sink // *Communications Earth Environment*. 2023. V. 4. N 1. Article number: e237. DOI: 10.1038/s43247-023-00893-4
2. Babalola T.S., Omoju O.J., Fasina A.S., Ajayi S.O. Soil Carbon Sequestration in Different Land Use Types // *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024. V. 36. N 12. P. 16–25. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i125178>
3. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2021. Т. 6. N 3 (25). С. 35–47. DOI: 10.25744/genb.2021.28.73.004
4. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш., Алахвердиев Ф.Д. Комплексный подход к оценке изменений в землепользовании и их влияния на динамику углерода в горных ландшафтах Чеченской Республики // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2021. Т. 15. N 4. С. 39–52. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-4-39-52
5. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. 182 с.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М. Высшая школа, 1991. 366 с.
7. Бобренко И.А., Дрофа О.В., Гоман Н.В., Бобренко Е.Г., Коржова Л.В., Кадермас И.Г., Троценко И.А. Сезонная динамика эмиссии диоксида углерода разновозрастными залежами в зависимости от природной зоны Западной Сибири // *Вестник Омского ГАУ*. 2024. N 4 (56). С. 26–33.
8. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш., Гагаева З.Ш. Сезонные состояния и динамика углерода на ключевых участках Карбонового полигона в Чеченской

- Республике // *Юг России: экология, развитие*. 2024. Т. 19. N 3. С. 169–179. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-17>
9. Беручашвили Н.Л. Методика ландшафтно-географических исследований и картографирования состояний природно-территориальных комплексов. Тбилиси: Изд-во Тбилисск. Ун-та, 1983. 196 с.
 10. Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
 11. Исаков Ю.А., Зимица Р.П., Панфилов Д.В. Животный мир // *Кавказ*. М: Наука, 1966. С. 256–304.
 12. Ведрова Э.Ф., Мухомотова Л.В., Метелева М.К. Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах // *Лесоведение*. 2018. N 1. С. 24–36.

REFERENCES

1. Winkler K., Yang H., Ganzenmüller R., Fuchs R., Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Pongratz J., Bastos A., Shvidenko A., Araza A., Herold M., Wigneron J.-P., Ciais P. Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe's terrestrial carbon sink. *Communications Earth & Environment*, 2023, vol. 4, no. 1, article number: e237. DOI: 10.1038/s43247-023-00893-4
2. Babalola T.S., Omoju O.J., Fasina A.S., Ajayi S.O. Soil Carbon Sequestration in Different Land Use Types. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2024, vol. 36, no. 12, pp. 16–25. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i125178>
3. Kerimov I.A., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon fiber landfill of the Chechen Republic: I. Landscape features and structure. *Grozny Natural Science Bulletin*, 2021, vol. 6, no. 3 (25), pp. 35–47. (In Russian) DOI: 10.25744/genb.2021.28.73.004
4. Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh., Alakhverdiev F.D. An integrated approach to assessing changes in land use and their impact on carbon dynamics in mountain landscapes of the Chechen Republic. *Izvestiya Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*, 2021, vol. 15, no. 4, pp. 39–52. (In Russian) DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-4-39-52
5. Beruchashvili N.L. *Chetyre izmereniya landshafta* [Four dimensions of the landscape]. Moscow, Mysl Publ., 1986, 182 p. (In Russian)
6. Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie* [Landscape science and physico-geographical zoning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991, 366 p. (In Russian)
7. Bobrenko I.A., Bustard O.V., Homan N.V., Bobrenko E.G., Korzhova L.V., Kadermas I.G., Trotsenko I.A. Seasonal dynamics of carbon dioxide emissions from deposits of different ages depending on the natural zone of Western Siberia. *Vestnik Omskogo GAU* [Bulletin of the Omsk State Agrarian University]. 2024, no. 4 (56), pp. 26–33. (In Russian)
8. Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh., Gagaeva Z.Sh. Seasonal carbon conditions and dynamics at key sites of a carbon landfill in the Chechen Republic. *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 169–179. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-17>
9. Beruchashvili N.L. *Metodika landshaftno-geograficheskikh issledovaniy i kartografirovaniya sostoyaniy prirodno-territorial'nykh kompleksov* [Methodology of landscape-geographical research and mapping of states of natural-territorial complexes]. Tbilisi, Tbilisi University Publ., 1983, 196 p. (In Russian)
10. Beruchashvili N.L., Zhuchkova V.K. *Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy* [Methods of complex physical and geographical research]. Moscow, Moscow State University Publ., 1997, 320 p. (In Russian)

11. Isakov Yu.A., Zimina R.P., Panfilov D.V. *Zhivotnyi mir. Kavkaz* [The animal world. The Caucasus]. Moscow, Nauka Publ., 1966, pp. 256–304. (In Russian)

12. Vedrova E.F., Mukhortova L.V., Meteleva M.K. Transformation of litter organic matter in forest crops. *Lesovedenie* [Forestry science]. 2018, no. 1, pp. 24–36. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алексей Н. Гуня, Умар Т. Гайрабеков, Любовь Ш. Махмудова собрали и обработали материалы, описали результаты. Все авторы участвовали в написании рукописи и в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexey N. Gunya, Umar T. Gairabekov and Lyubov Sh. Makhmudova collected and processed the materials and described the results. All authors participated in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTERESTS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Алексей Н. Гуня / Alexey N. Gunya <https://orcid.org/0000-0002-9255-1592>

Умар Т. Гайрабеков / Umar T. Gairabekov <https://orcid.org/0000-0001-6358-0477>

Любовь Ш. Махмудова / Lyubov Sh. Makhmudova <https://orcid.org/0000-0002-3104-9275>

Особенности использования «Свободного программного обеспечения» для расчёта фрактальной размерности бассейнов водных объектов

Сергей Л. Молчатский

Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия

Контактное лицо

Сергей Л. Молчатский, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра химии, географии и методики их преподавания, Самарский государственный социально-педагогический университет; 443000 Россия, г. Самара, ул. Антонова-Овсеенко, 26.

Тел. +79272087068

Email rvs3213@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-4156-2012>

Формат цитирования

Молчатский С.Л. Особенности использования «Свободного программного обеспечения» для расчёта фрактальной размерности бассейнов водных объектов // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 165-175.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-13

Получена 21 июля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 января 2024 г.

Принята 25 апреля 2024 г.

Резюме

В последнее время при изучении бассейнов рек, для извлечения из Цифровой Модели Рельефа (ЦМР) различных гидрологических факторов широко используется система QGIS. По этой причине данное исследование направлено на определение фрактальной размерности векторных слоев бассейнов рек, полученных используя систему QGIS.

Цель – для ряда гидрологических объектов исследовать зависимость между значениями фрактальной размерности, рассчитанными для соответствующих слоев QGIS и используемыми для расчёта программными пакетами, а также зависимость фрактальной размерности от исходных условий, заданных компьютерным программ (последнее только для «shp-файлов»). Выявить возможные корреляции между полученными зависимостями.

Для 9 водных объектов (реки: Айя, Белая, Сарс, Сура, Уфа, Юрюзань и устья рек: Волга, Лена, Селенга) методом «box-counting» была рассчитана фрактальная размерность. Расчёты проводились с использованием свободно распространяемого программного обеспечения: Minkowski Dimension Calculator для QGIS, Fractalyse, ImageJ, Frac Lac для ImageJ, Gwyddon, Fractal и FDE.

Полученные данные показывают: во-первых, результат расчетов однозначно зависит от начальных условий, задаваемых программе, во-вторых прослеживаются явные корреляции между фрактальными размерностями рассчитанными, как при различных начальных условиях измерений, так и при использовании различного программного обеспечения.

Выявленные нами корреляции показывают возможность использования, рассматриваемого программного обеспечения для определения фрактальной размерности по изображениям водных объектов, полученных посредством QGIS. А предложенные в заключении рекомендации позволят более эффективно использовать особые возможности каждой из программ для дальнейших исследований.

Ключевые слова

Фрактальная размерность, программное обеспечение, масштаб, гидрографическая сеть, водосбор, QGIS.

Using "Free Software" to calculate the fractal dimension of hydrographic basins

Sergey L. Molchatsky

Samara State University of Social Sciences and Education, Samara, Russia

Principal contact

Sergey L. Molchatsky, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Natural Science and Geography, Samara State University of Social Sciences and Education; 26 Antonova-Ovseenko St., Samara, Russia 443000.

Tel. +79272087068

Email rvsn3213@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-4156-2012>

How to cite this article

Molchatsky S.L. Using "Free Software" to calculate the fractal dimension of hydrographic basins. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):165-175. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-13

Received 21 July 2023

Revised 14 January 2024

Accepted 25 April 2024

Abstract

Recently, when studying river basins, the QGIS system has been widely used to obtain various hydrological factors from a Digital Elevation Model (DEM). This study is aimed at determining the fractal dimension of vector layers of river basins obtained using QGIS.

Aim. For a number of hydrological networks, investigate the relationship between the values of the fractal dimensions calculated for the corresponding QGIS layers and used for calculation by the software, as well as the dependence of the fractal dimension on the initial conditions set for the software (the latter only for ".shp" files): also determine possible correlations between the resulting dependencies.

For 9 hydrological objects (the Aya, Belaya, Sars, Sura, Ufa and Yuryuzan rivers and the mouths of the rivers Volga, Lena and Selenga), the fractal dimension was calculated using the "box-counting" method. Calculations were carried out using free software: Minkowski Dimension Calculator for QGIS, Fractalyse, ImageJ, Frac Lac for ImageJ, Gwyddon, Fractal and FDE.

The data reveal that, firstly, the calculation result depends on the initial conditions set for the computer programme, and secondly, there are correlations between the fractal dimensions calculated under both different initial measurement conditions and using different software.

Our results suggest the possibility of using all the software under consideration to determine fractal dimension from images of hydrological objects, obtained using QGIS. Moreover, the recommendations proposed in the conclusion will allow more effective use of the special opportunities of each of the programmes for further research.

Key Words

Fractal dimension, software, scale, hydrographic network, catchment, QGIS.

ВВЕДЕНИЕ

Использование концепции фрактала в физике, начиная с 70–80-х годов 20-го столетия [1], привело к пониманию целого ряда свойств неупорядоченных систем и послужило толчком к применению ее при изучении природных объектов. Концепция фрактала в настоящее время широко используется при анализе структуры и свойств объектов и систем, которые, как известно, относятся к числу неравновесных и обладают фрактальными свойствами [2; 3]. Одними из таких объектов являются реки и их водосборные территории, методика исследования геометрии такого рода структур еще не имеет устоявшегося и однозначно поддерживаемого всеми математического аппарата. Попытки преодолеть эту проблему предпринимались многочисленными отечественными и зарубежными исследователями [4–12]. Но, к сожалению, до достижения некоторого консенсуса по этой проблеме еще очень далеко.

Целью настоящего исследования является попытка внести большую ясность в принципы использования наиболее популярных программ для расчёта фрактальной размерности применительно к гидрографическим сетям. Оно в своей основе опирается на предположения и результаты, опубликованные Н.Н. Красногорской и Е.А. Белозеровой [7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования и исходные данные

В качестве объектов исследования были выбраны векторные слои бассейнов рек: Айя, Белая, Сарс, Сура, Уфа, Юрюзань и устьев рек: Волги, Лены, Селенги, которые были получены в системе QGIS и базе данных HydroSHEDS, эти базы данных являются открытыми источниками геопространственного программного обеспечения.

Выбор для исследования именно этих рек связан с тем, что для них уже была попытка определения фрактальной размерности их гидрографических сетей. Для векторных слоев это было сделано в работах [3; 7] и для растровых слоев в [9–11; 13].

В качестве «инструмента» для определения фрактальной размерности для данного исследования в начале были выбраны наиболее часто упоминаемые в литературе и по этим же данным, находящиеся в свободном доступе программы: FrakOut, HarFa, ImageJ, Frac Lac для ImageJ, Gwyddon, Minkowski Dimension Calculator для QGIS, Fractal, Fractalyse, FDE, Fractal Analysis System, Kindratenko's Fractal Contour Analysis, Pierre Frankhauser's Fractalse, Bar-Ilan's Fractal Dimension application, Paul Bourke's Fractal Dimension Calculator, TruSoft Benoit. Но оказалось, что, начиная с девятой программы из этого списка они в настоящее время являются не доступными и лишь упоминаются в различных сообщениях. Довольно популярные у российских исследователей HarFa и FrakOut не были использованы в работе по следующим причинам: авторы HarFa более двух месяцев не реагируют на пройденную регистрацию (это скорее всего только для российских граждан), а FrakOut очень неудобна в использовании.

Поэтому далее в статье из всего спектра программных продуктов для определения фрактальной размерности будут описаны и охарактеризованы только семь: Minkowski Dimension Calculator для QGIS, Fracta-

lyse, ImageJ, Frac Lac для ImageJ, Gwyddon, Fractal и FDE.

Методы исследования

В своем исследовании Красногорская и Белозерова [7] провели довольно основательный сравнительный анализ программных продуктов, применяемых для определения фрактальной размерности и детальное обоснование выбора более оптимальных программ, а также масштаба изображений объектов исследования для определения фрактальной размерности. Но, есть возможность рассмотреть еще два довольно существенных аспекта использования этих программ. Во-первых, это определение значений фрактальной размерности полученных не для разномасштабных векторных слоев, а при наложении разно размерных ячеек алгоритма «box-counting». Конкретнее, исследование влияния на фрактальную размерность вариации максимального и минимального размеров накладываемых ячеек, а также шага между их размерами. Разрешение этой проблемы позволит более однозначно описать методики работы с соответствующими программными продуктами. Во-вторых, это проведение практической проверки наличия корреляций между значениями фрактальной размерности полученными при помощи разных программ для выбранного спектра изучаемых объектов. Решение этой задачи, и не только на мой взгляд, имеет наиболее важное значение, т.к. в области неравновесных процессов, в результате которых возникают природные объекты, важны в первую очередь корреляции, а не абсолютные значения [1; 14–16].

Для достижения поставленных задач, в работе использованы:

1. В качестве объектов исследования – указанные выше векторные слои водных объектов;
2. Для расчётов значений фрактальной размерности – семь отобранных компьютерных программ;
3. Для сравнительного анализа и выявления корреляций – расчётные и графические возможности MS-Excel.

Подробнее по этим пунктам:

1. Для проведения фрактального анализа векторные слои интересующих нас гидрографических объектов, предоставленные ресурсом HydroSHEDS загружались в систему QGIS. Следующим шагом было – используя ресурсы QGIS, обособливались (вырезались) векторные слои только намеченных для исследования водосборов. И наконец, подготовка выделенных слоев заканчивалась сохранением их в виде как .shp, так .bmp файлов, для возможности обработки всеми отобранными компьютерными программами.

2. Фрактальный анализ был построен с учетом индивидуальных возможностей отобранными компьютерными программами. В первую очередь на возможности выбора размера минимальной и максимальной накладываемых ячеек, и выбора шага изменения этих размеров, и во вторую – скорость обработки имеющимся ПК (i7-12700OF 2.11GHz / 32 Гб).

Из отобранных программ три проводят анализ загруженного объекта автоматически, это: Frac_Lac для ImageJ, Gwyddon и FDE, причем две последних выдают только непосредственно рассчитанное значение без указания стандартного и среднеквадратичного отклонений.

Minkowski Dimension Calculator и Fractalyse позволяют контролировать все три указанные выше возможности и соотнести размеры и шаг размеров накладываемых ячеек между собой. Например, для решения первой поставленной задачи использовалась преимущественно программа «Minkowski Dimension Calculator». Причина такого выбора заключается в том, что она работает с изображением в векторном формате, что, с одной стороны, избавляло от погрешности растровых изображений [7], а с другой избавляло от дополнительных действий по подготовке к использованию файлов изображений. В рамках ее возможностей были проведены пять серий расчётов фрактальной размерности для всех выбранных объектов. Каждая серия расчётов включала в себя разные исходные данные (во всех сериях выставлялось

2 3 4 5 6 7 8 10 12 14

При работе с программой «Fractal» использовалась общепринятая методика, в данном

2 3 4 5 6 7 8

Верхний предел размера ячейки определялся логически по всем объектам исследования.
3. Все полученные в п. 2 результаты заносились в таблицы MS-Excel, где в дальнейшем проводились все необходимые расчеты (как встроенными функциями, так и набранными вручную), составлялись таблицы, строились графики зависимостей и корреляционные кривые.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Влияние на фрактальную размерность различных масштабов измерений
Для проведения анализа влияния масштаба векторного изображения на значение фрактальной размерности был выбран программный пакет «Minkowski Dimension Calculator для QGIS». Данный программный продукт

различное количество шагов размера ячейки): 1-я – стартовые и конечные размеры ячеек устанавливались «по умолчанию»; 2-я – стартовые и конечные размеры ячеек брались в 100 раз меньше, чем «по умолчанию»; 3-я – стартовые размеры ячеек брались одинаковые (минимально возможные для всех объектов, но реальные по времени выполнения расчетов), а конечные варьировались; 4-я – варьировались стартовые размеры, при постоянных конечных; 5-я серия отличалась от 4-й тем, что был увеличен вдвое размер конечных ячеек.

Методика работы со встроенным калькулятором фрактальной размерности программы ImageJ отличалась от базовой, тем, что предварительно в настройках выставлялось больше число накладываемых ячеек различных размеров, а конкретнее это был ряд:

16 18 20 24 28 32 36 40

случае использовался ряд размеров ячеек:

9 10 11 12 13 14

разработан специально для фрактального анализа векторных слоев QGIS.
Результаты предварительных исследований показали, что масштаб отображения векторного слоя совсем не влияет на значение рассчитанной фрактальной размерности.
Исследования влияния на фрактальную размерность вариации максимального и минимального размеров накладываемых ячеек, а также шага между их размерами включали в себя пять серий определений. Начальные условия этих измерений представлены в табл. 1 и 2 (методика описана выше).
Результаты фрактального анализа, исходя из вышеуказанных условий для каждого из выбранных объектов приведены в таблице 3.

Таблица 1. Начальные условия выполнения 1 и 2 серии измерений
Table 1. Initial conditions for performing the 1st and 2nd series of measurements

1-я серия (A) / 1st series (A)			2-я серия (B) / 2nd series (B)		
Start	End	Number	Start	End	Number
Auto	Auto	20	0,1	0,02	50
					40
					30
	Auto	30	0,2	0,005	50
					40
					30
	Auto	40	0,3	0,008	50
					40
					30
	Auto	50	0,4	0,01	50
					40
					30
	Auto	60	0,5	0,05	50
					40
					30

Таблица 2. Начальные условия выполнения 3, 4 и 5 серии измерений**Table 2.** Initial conditions for the 3rd, 4th and 5th series of measurements

Number	3-я серия (C) / 3rd series (C)		4-я серия (D) / 4th series (D)		5-я серия (E) / 5th Series (E)	
	Start	End	Start	End	Start	End
50						
45						
40	0,1	0,01	0,1	0,01	0,2	0,01
35						
30						
50						
45						
40	0,2	0,01	0,1	0,02	0,2	0,02
35						
30						
50						
45						
40	0,4	0,01	0,1	0,04	0,2	0,04
35						
30						
50						
45						
40	0,8	0,01	0,1	0,08	0,2	0,08
35						
30						

Для сравнения средних значений, полученных в результате эксперимента выборок данных, использовался t-критерий Стьюдента. Критерием наличия различий между группами фрактальных размерностей (между средними значениями, приведенными в табл. 3), служил уровень значимости меньше 0,05. Полученные значения t-критерия по исследуемым бассейнам показали, что ясного и последовательного заключения о зависимости различия или не различия средних показателей фрактальной размерности от начальных условий эксперимента сделать невозможно. Но при графическом рассмотрении данных (табл. 3) была выявлена корреляция между графиками зависимости фрактальной размерности от объекта измерения для каждого начальных условий (рис. 1).

На рисунке 1 явно прослеживается корреляция между рассматриваемыми зависимостями. В виду этого было принято решение провести сравнение среднего значения фрактальной размерности, рассчитанного для всех условий с литературными данными (см. табл. 3). Данный сравнительный анализ приведен на рисунке 2.

На рисунке 2 хорошо заметна корреляция между рассматриваемыми зависимостями. Для трех слегка «выпадающих» точек (р. Белая, у. Волги и у. Лены) следует отметить, что литературные данные о значении фрактальной размерности приведены для растровых изображений, некоторые из которых получены даже не из слоев QGIS.

Какой же вывод по вопросу о влиянии на фрактальную размерность различных масштабов измерений при ее определении?

Влияет ли изменение масштабирования накладываемых ячеек на результаты расчёта фрактальной размерности в рамках метода «box-counting» — определено да. Попытка количественно определить это влияние,

например, расчетом значения t-критерия не дало определенного результата. Но, как положительный результат, можно считать, то что между зависимостями значений фрактальной размерности от объекта измерения для каждого из начальных условий определения фрактальной размерности существует явная прямая корреляция. Причем полученные зависимости вполне заметно коррелируют и с литературными данными. А это очень существенно т.к., как мы хорошо знаем, для объектов, полученных в неравновесных условиях в первую очередь имеет значение корреляции, а не абсолютные величины.

Исходя из выше сказанного, для дальнейшего исследования была выбрана серия измерений в табл. 3 обозначенная литерой «С». Причины этого выбора обосновываю двумя их характеристиками:

1. Именно зависимость этой серии наиболее близка к зависимости средних значений, рассчитанных по всем сериям вычислений.

2. В этой серии наиболее низкий порог значения наименьшего размера накладываемой ячейки при вполне приемлемых временных затратах.

2. Выявление наличия корреляций между значениями фрактальной размерности водных бассейнов, полученными при помощи разных прикладных программ
Данные по рассчитанным значениям фрактальной размерности для девяти водосборов (выбранных как объекты исследования), полученные при помощи семи специальных компьютерных программ представлены в табл. 4.

Следует отметить, что при обработке экспериментальных данных, в среде MS-Excel было подтверждено, что изучаемые объекты являются монофракталами. Об этом свидетельствует линейная зависимость логарифма числа «занятых ячеек» ($\log N$) от логарифма размера этих ячеек ($\log a$), например, для водосбора реки Белая рис. 3.

Таблица 3. Зависимость фрактальной размерности гидрологического бассейна (реки или устья) от начальных условий расчёта
Table 3. Dependence of the fractal dimension of a hydrological basin (river or mouth) on the initial conditions of calculation

Начальные условия Initial conditions	Бассейн / Basin							Устья р. Селенги mouth of Selenga R.	Устья р. Волги mouth of Volga R.	Устья р. Лены mouth of Lena R.
	р. Белая Belaya R.	р. Сура Sura R.	р. Сарс Sars R.	р. Айя Ayia R.	р. Уфа Ufa R.	р. Юрюзань Yuryuzan R.	Фрактальная размерность / Fractal dimension			
A	1,6140	1,6118	1,4528	1,5602	1,4772	1,4405	1,4468	1,5674	1,4761	
B	1,6370	1,6137	1,2486	1,4180	1,4767	1,3485	1,3399	1,3793	1,3489	
C	1,5835	1,5493	1,4011	1,4969	1,4904	1,4295	1,3980	1,4578	1,4127	
D	1,5959	1,5818	1,4246	1,5365	1,5345	1,4865	1,4508	1,5237	1,3475	
E	1,7432	1,7081	1,4776	1,6423	1,6393	1,5518	1,4557	1,5962	1,5264	
Среднее Mean value	1,6347	1,6129	1,4009	1,5308	1,5236	1,4513	1,4182	1,5049	1,4223	
Литературные данные Literature data	1,2000	1,5640	1,2400	1,3900	1,4800	1,3400	1,3800	1,7200	1,5600	

Примечание: серым цветом выделены значения фрактальной размерности для растровых слоев
Note: Fractal dimension values for raster layers are highlighted in gray



Рисунок 1. Графики зависимости фрактальной размерности от объекта измерения для каждого начальных условий (описание условий A, B, C, D, E – смотри таблицы 1 и 2)

Figure 1. Graphs of fractal dimension dependence on the object of measurement for each initial conditions (description of conditions A, B, C, D, E – see Tables 1 and 2)

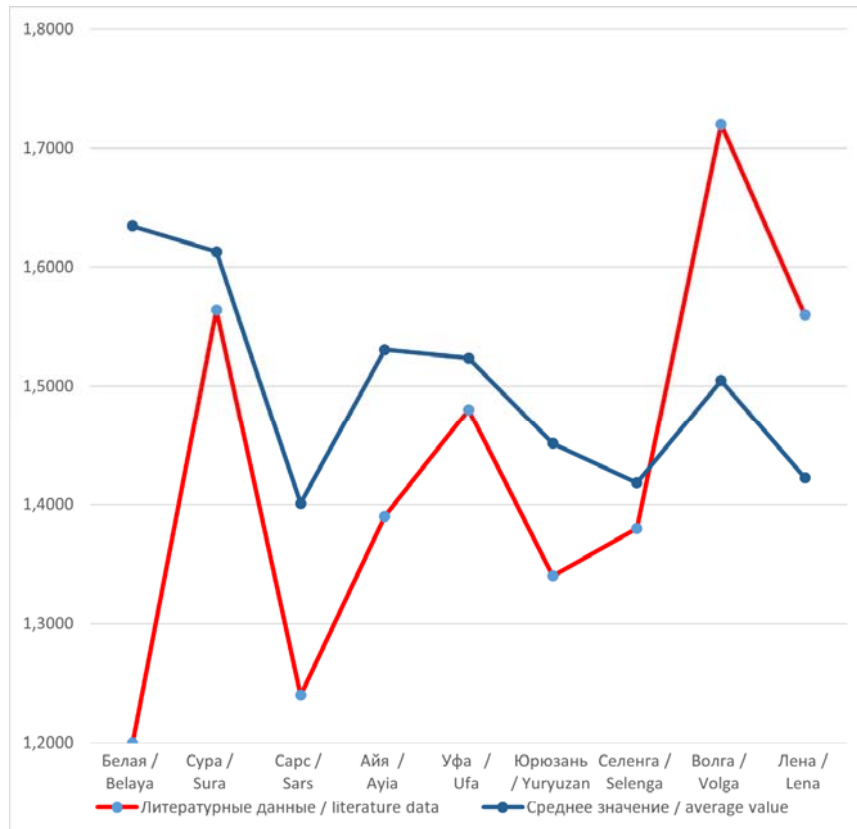


Рисунок 2. Сравнительный анализ зависимости среднего значения фрактальной размерности, рассчитанного для всех условий с литературными данными

Figure 2. Comparative analysis of the dependence of the average fractal dimension value calculated for all conditions with literature data

Таблица 4. Значения фрактальных размерностей водосборов рассчитанных при помощи разных программ
Table 4. Values of fractal dimensions of watersheds calculated using different software

Река / River	р. Белая Belaya R.	р. Сура Sura R..	р. Сарс Sars R.	р. Айя Ayia R.	р. Уфа Ufa R.	р. Юрюзань Yuryuzan R.	р. Селенга Selenga R.	р. Волга Volga R.	р. Лена Lena R.
Программа Software									
Min Dem	1,5835	1,5493	1,4011	1,4969	1,4904	1,4295	1,3980	1,4578	1,4127
Fractalyse	1,5761	1,542	1,336	1,478	1,480	1,407	1,313	1,439	1,394
ImageJ	1,6857	1,5617	1,1312	1,3760	1,3559	1,3413	1,0863	1,2182	1,2820
Frac_Lac	1,7199	1,6816	1,2600	1,5861	1,5606	1,4595	1,2640	1,5555	1,5460
FDE	1,7900	1,6900	1,3200	1,5100	1,5300	1,4600	1,2400	1,5000	1,5200
Gwyddon	1,6260	1,5410	1,2510	1,4390	1,4150	1,3350	1,1800	1,4510	1,3480
Fractal	1,4735	1,3081	1,1444	1,2094	1,1915	1,1960	1,0683	1,1304	1,1960

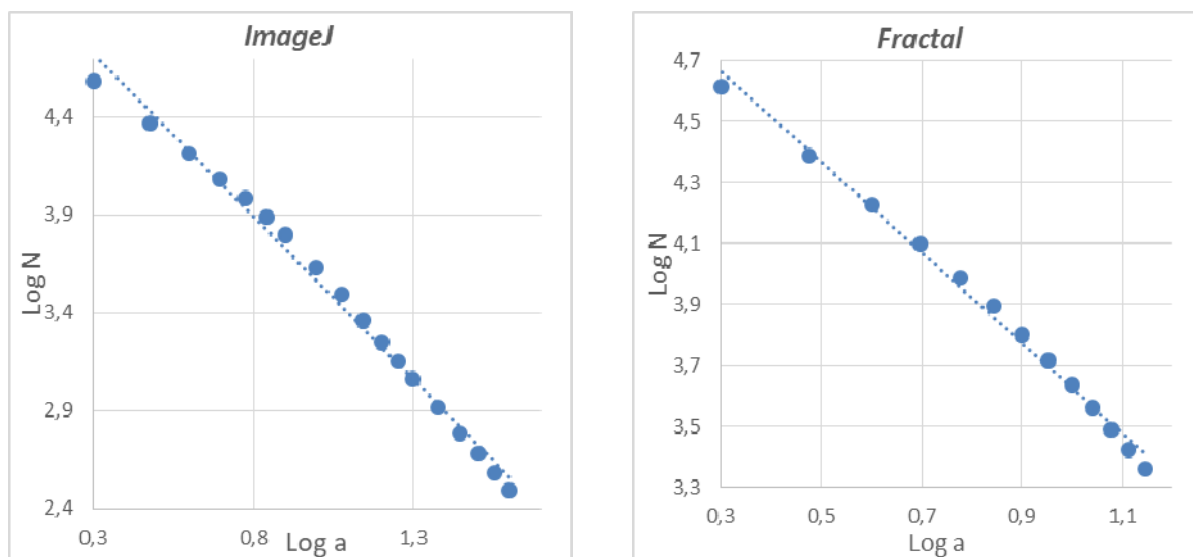


Рисунок 3. Пример графиков зависимости ($\log N$) от ($\log a$), для р. Белая

Figure 3. An example of dependency plots for values ($\log N$) versus ($\log a$) for the Belaya River

Если данные таблицы 4 отобразить в виде графиков зависимости фрактальной размерности от водного бассейна для каждой из используемой компьютерной программы, то получим картину (рис. 4), в некотором роде схожую с рисунком 1.

Как хорошо видно из рисунка, мы наблюдаем хорошо заметную корреляцию между рассматриваемыми зависимостями. Более подробно анализируя рис. 4 можно заметить некоторую большую «плавность»

графиков, относящихся к программам Minkowski Dimension Calculator и Fractalyse. Это является следствием того, что именно эти программы работают непосредственно с shp-файлами и полностью не зависят от масштаба обрабатываемых изображений. Остальные же программы работают с bmp-изображениями и результаты их расчётов уже подвержены влиянию масштаба, при котором было получено изображение.

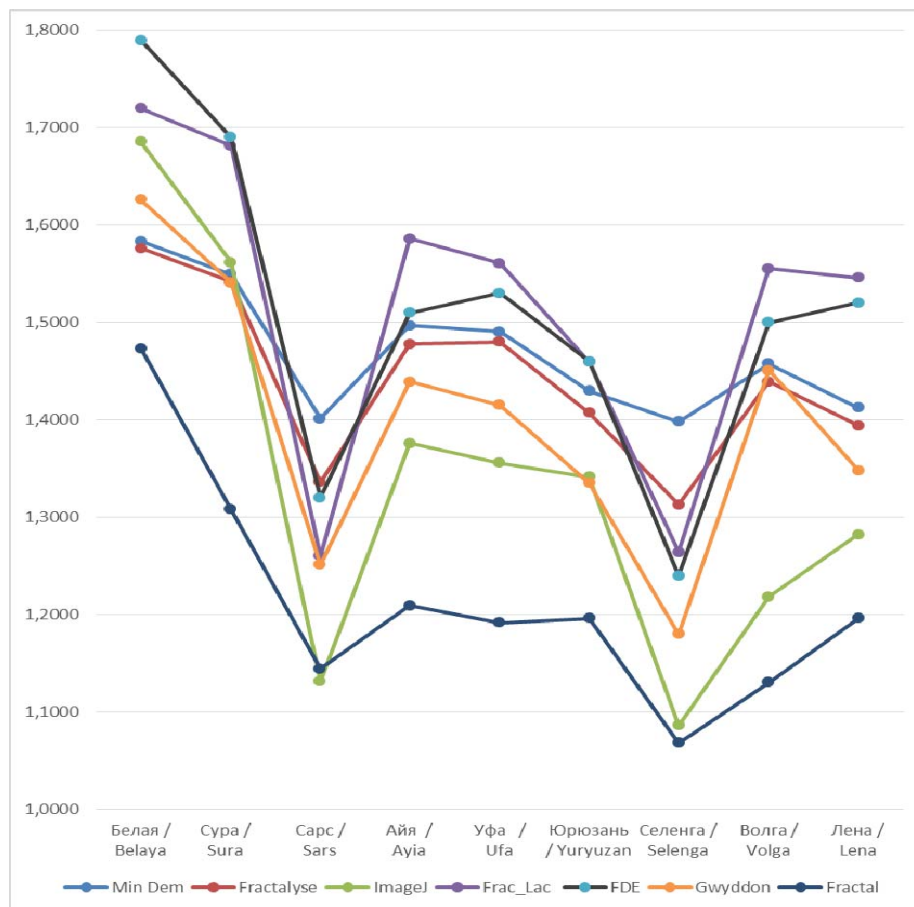


Рисунок 4. Графики зависимости фрактальной размерности от выбранного водного бассейна для семи компьютерных программ

Figure 4. Graphs of dependence of fractal dimension on the selected water basin for seven used software

Из пяти программ, работающих с bmp-файлами, на рисунке 4 можно выделить графики ImageJ и Fractal. Их некоторое отличие от других наблюдается как для расположения точек, соответствующих бассейнам реки Белая и устья реки Лены, так и заниженными значениями фрактальной размерности для всех объектов.

Это объясняется, тем что именно эти две программы выдают как результат не готовое значение фрактальной размерности, а только значения количества «занятых ячеек» в зависимости от их размера (N от a). А уже в дальнейшем, при получении некоторого массива данных (рис. 3), средствами MS-Excel проводится расчёт фрактальной размерности.

Какие выводы можно сделать по этой части исследования?

Если рассматривать «Свободное программное обеспечение (free software)», то выбор программы будет зависеть от цели исследования:

1. Если цель – выявление каких-либо зависимостей фрактальной размерности от независимого параметра исследуемого объекта, то преимущество имеют пакеты Minkowski Dimension Calculator и Fractalyse, т.к. они дают результаты, не зависящие от масштаба т.к. работают непосредственно с векторными слоями. Причем Minkowski Dimension Calculator более удобная в использовании программа, а Fractalyse более «быстрая».

2. Если цель – различного рода работы, связанные с исследованием распределения «занятых ячеек» в зависимости от их размера или работы, выявляющие некоторые статистические закономерности, то для этого имеются все преимущества у ImageJ и Fractal. При этом ImageJ еще дает широкие возможности работы с изображениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами предложенной работы стали, обоснованные выше, следующие общие выводы:

1. При работе непосредственно с векторными слоями (shp-файлами), зависимость фрактальной размерности от объекта исследования качественно сохраняется, не зависимо от исходных данных (стартовые и конечные размеры налагаемых ячеек, шаг размера ячейки). Поэтому точность расчётов, при помощи понижения стартовых и конечных размеров ячеек, можно повышать до разумных пределов (время выполнения) ограниченных вычислительными мощностями ПК.

2. При применении программ, использующих графические форматы, например, bmp, также качественно сохраняются корреляции между получаемыми графиками. Это дает широкие возможности для использования преимуществ каждой программы, в зависимости от целей и задач исследования.

3. Полученные результаты также качественно коррелируют с имеющимися в отечественной литературе данными.

Предполагаемое развитие данного исследования видится в следующих логических шагах: во-первых, выявление наличия корреляций между значениями фрактальной размерности полученных при помощи разных прикладных программ для растровых слоев водных бассейнов и сравнение этих результатов с соответствующими данными, полученными для векторных слоев. Во-вторых, определение более эффективных

и надежных методик исследования: выбор вида и формата слоя, выбор программы и ее предварительных настроек.

Положительное решение всех поставленных задач (шагов) в дальнейшем позволит расширить возможности качественного и количественного описания параметров водных объектов, в прогнозировании их изменения, что в настоящее время очень востребовано в научных целях или для решения конкретных прикладных задач [3; 7; 8; 10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. New York: Freeman, 1983. 468 с.
2. Насонов А.Н., Цветков И.В., Кульнев В.В., Базарский О.В., Жогин И.М. Фрактальный анализ биологической реабилитации водных объектов методом коррекции альгоценоза // В сборнике: Проблемы управления водными и земельными ресурсами. Материалы международного научного форума: в 3 частях. Москва, 2015. С. 165–180.
3. Соболев С.В. Фрактальные параметры водных объектов. Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. 232 с.
4. Abid R.I., Tortum A.T., Atalay A. Fractal Dimensions of Road Networks in Amman Metropolitan Districts // Alexandria Engineering Journal. 2021. V. 60. Iss. 4. P. 4203–4212. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.020>
5. Saa A., Gascò G., Grau J.B., Anton J.M., Tarquis A.M. Comparison of gliding box and box-counting methods in river network analysis // Nonlinear Processes in Geophysics. 2007. V. 14. P. 603–613. <https://doi.org/10.5194/npg-14-603-2007>
6. Tian S., Wang W., Shang H., Peng H. Comparison of Traditional Methods and Fractal Dimension Method in River Pattern Discrimination // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2013. V. 5 (23). P. 5450–5456. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4217>
7. Красногорская Н.Н., Белозерова Е.А. Методология определения фрактальной размерности водосборной территории // Гидрометеорология и экология. 2021. N 62. С. 52–74. <https://doi.org/10.33933/2074-2762-2021-62-52-74>
8. Сидорчук А.Ю. Фрактальная геометрия речных сетей // Геоморфология. 2014. Т. 1. С. 3–14. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-1-3-14>
9. Красильников В.М., Соболев С.В. Фрактальные параметры рыбинского водохранилища на реке Волге // Приволжский научный журнал. 2018. N 4 (48). С. 87–94.
10. Соболев С.В., Красильников В.М. Фрактальные параметры водных объектов бассейна реки суры // Водное хозяйство России. 2018. N 6. С. 4–15.
11. Тунакова Ю.А. и др. Разработка методики определения самоочищающей способности рек на основе фрактальной геометрии для установления допустимого антропогенного воздействия // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. N 19. С. 249–253.
12. Тищенко Н.Н., Цветков И.В. Фрактальный анализ речных систем Тверской области // Моделирование сложных систем. Выпуск 1. Тверь, 1998. С. 134–144.
13. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / от. ред. Ю.Б. Башкуев. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. 224 с.
14. Зынь В.И., Молчатский С.Л. Фрактальный анализ продуктов газоразрядной полимеризации // Химическая физика. 1998. Т. 17. N 5. С. 130–134.
15. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука, 1991. 134 с.
16. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с.

REFERENCES

1. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. New York, Freeman, 1983, 468 c.
2. Nasonov A.N., Tsvetkov I.V., Kul'nev V.V., Bazarskii O.V., Zhogin I.M. *Fraktal'nyi analiz biologicheskoi reabilitatsii vodnykh ob'ektov metodom korrektsii al'gotsenoza* [Fractal analysis of biological rehabilitation of water bodies by the method of correction of algocenosis]. In: *Problemy upravleniya vodnymi i zemel'nymi resursami* [Problems of water and land resources management]. Moscow, 2015, pp. 165–180. (In Russian)
3. Sobol S.V. *Fraktal'nye parametry vodnykh ob'ektov* [Fractal parameters of water bodies]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2019, 232 p. (In Russian)
4. Abid R.I., Tortum A.T., Atalay A. Fractal Dimensions of Road Networks in Amman Metropolitan Districts. *Alexandria Engineering Journal*, 2021, vol. 60, iss. 4, pp. 4203–4212. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.020>
5. Saa A., Gascò G., Grau J.B., Anton J.M., Tarquis A.M. Comparison of gliding box and box-counting methods in river network analysis. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2007, vol. 14, pp. 603–613. doi: 10.5194/npg-14-603-2007
6. Tian S., Wang W., Shang H., Peng H. Comparison of Traditional Methods and Fractal Dimension Method in River Pattern Discrimination. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, vol. 5 (23), pp. 5450–5456. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4217>
7. Krasnogorskaya N.N., Belozeroва E.A. Methodology for determining the catchment area fractal dimension. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 2021, no. 62, pp. 52–74. (In Russian). <https://doi.org/10.33933/2074-2762-2021-62-52-74>
8. Sidorchuk A.Yu. Fractal geometry of the river network. *Geomorfologiya*, 2014, vol. 1, pp. 3–14. (In Russian) <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-1-3-14>
9. Krasilnikov V.M., Sobol S.V. Fractal parameters of the Rybinsk reservoir on the Volga River. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal* [Privolzhsky scientific]. 2018, no. 4 (48), pp. 87–94. (In Russian)
10. Sobol S.V., Krasilnikov V.M. The Sura river basin water bodies' fractal parameters. *Vodnoe khozyaistvo Rossii* [Water sector of Russia: problems, technologies, management]. 2018, no. 6, pp. 4–15. (In Russian)
11. Tunakova Yu.A. et al. Development of a methodology for determining the self-cleaning capacity of rivers based on fractal geometry to establish acceptable anthropogenic impact. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. 2015, vol. 18, no. 19, pp. 249–253. (In Russian)
12. Tishchenko H.H., Cvetkov I.V. Fraktal'nyi analiz rechnykh sistem Tverskoi oblasti [Fractal analysis of river systems of the Tver region]. In: *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Tver', 1998, vol. 1, pp. 134–144. (In Russian)
13. Balkhanov V.K. *Osnovy fraktal'noi geometrii i fraktal'nogo ischisleniya* [Fundamentals of Fractal Geometry and Fractal Calculus]. 2013, 224 p. (In Russian)
14. Zyn' V.I., Molchatskii S.L. Fractal analysis of the polymerization products formed in gas discharge. *Khimicheskaya fizika* [Russian Journal of Physical Chemistry B: Focus on Physics]. 1998, vol. 17, no. 5, pp. 130–134. (In Russian)
15. Smirnov B.M. *Fizika fraktal'nykh klasterov* [Physics of fractal clusters]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 134 p. (In Russian)
16. Feder E. *Fraktaly* [Fraktals]. Moscow, Mir Publ., 1991, 260 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей Л. Молчатский выполнил все этапы исследования. Автор написал рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey L. Molchatsky completed all stages of the research. The author wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Сергей Л. Молчатский / Sergey L. Molchatsky <https://orcid.org/0009-0005-4156-2012>

Оригинальная статья / Original article
УДК 631
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-14



Экологические ограничения аграрной деятельности в контексте устойчивого развития территорий Республики Калмыкия

Татьяна И. Бакинова, Екатерина С. Кованова, Ньюддя Ц. Павлова

Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия

Контактное лицо

Екатерина С. Кованова, доцент кафедры экономической безопасности, учета и финансов, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова; 358000 Россия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.
Тел. +79618421155
Email ekovanova@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4269-3795>

Формат цитирования

Бакинова Т.И., Кованова Е.С., Павлова Н.Ц. Экологические ограничения аграрной деятельности в контексте устойчивого развития территорий Республики Калмыкия // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 176-184.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-14

Получена 22 октября 2024 г.
Прошла рецензирование 16 декабря 2024 г.
Принята 27 декабря 2024 г.

Резюме

Цель статьи рассмотреть роль экологических ограничений в рациональном использовании агроресурсов и обеспечении устойчивого развития сельских территорий Республики Калмыкия.

По данным аэрокосмического наблюдения проведена оценка степени деградации земель, пастбищ по степени сбитости, изменения площадей открытых песков. Проанализированы данные о численности основных видов сельскохозяйственных животных в хозяйствах всех категорий и их влияния на пастбищную нагрузку, качество земельных угодий. Проведенный анализ показывает, что существуют достаточно серьезные проблемы для развития аграрной деятельности в Республике Калмыкия: состояние земель, проблемы опустынивания, отсутствие запасов воды, отток трудоспособного населения.

Проведенный анализ выявил необходимость разработки и внедрения научно-обоснованных норм нагрузки аграрной деятельности, т.е. экологически-допустимых норм, что позволит сбалансировать социоприродохозяйственную систему региона, тем более что основная отрасль – это сельское хозяйство, базирующееся на пастбищных ресурсах.

Ключевые слова

Земельные ресурсы, экологические ограничения, опустынивание, антропогенная нагрузка, устойчивое развитие, сельские территории, Республика Калмыкия.

Environmental restrictions of agricultural activities in the context of sustainable development of the territories of the Republic of Kalmykia

Tatyana I. Bakinova, Ekaterina S. Kovanova and Nyuudlya Ts. Pavlova

B.B. Gorodovikov Kalmyk State University, Elista, Russia

Principal contact

Ekaterina S. Kovanova, Associate Professor,
Department of Economic Security, Accounting and
Finance, B.B. Gorodovikov Kalmyk State University;
Bld. 11 A.S. Pushkin St., Elista, Republic of Kalmykia,
Russia 358000.

Tel. +79618421155

Email ekovanova@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4269-3795>

How to cite this article

Bakinova T.I., Kovanova E.S., Pavlova N.Ts.
Environmental restrictions of agricultural activities
in the context of sustainable development of the
territories of the Republic of Kalmykia. *South of
Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):176-184.
(In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-14

Received 22 October 2024

Revised 16 December 2024

Accepted 27 December 2024

Abstract

The purpose of the article is to consider the role of environmental restrictions in the rational use of agricultural resources and to ensure sustainable development of rural areas of the Republic of Kalmykia.

On the basis of aerospace observations, the degree of land degradation, pastures by the degree of compaction of pastures and changes in the area of open sands were assessed. Data on the number of main types of farm animals in farms of all categories and their impact on the pasture load and the quality of land were analyzed. The analysis shows that there are quite serious problems in the development of agricultural activities in the Republic of Kalmykia: the state of the land, desertification problems, lack of water reserves and the outflow of the working population.

The analysis revealed the need to develop and implement scientifically based standards for the load of agricultural activities, i.e. environmentally acceptable standards, which will balance the socio-natural economic system of the region, especially as the principal industry is agriculture based on pasture resources.

Key Words

Land resources, environmental constraints, desertification, anthropogenic load, sustainable development, rural areas, Republic of Kalmykia.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях с учетом внешних вызовов, региональная социально-экономическая политика требует по мере нарастания территориально отраслевых проблем принятия новых программ развития, что особенно важно для регионов с моноотраслевой структурой экономики. К таким регионам относится Республика Калмыкия.

Разработка и принятие Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года является одним из основных документов развития аграрных регионов. Данный термин масштабно употребляется в отношении субъектов хозяйствования, видов экономической деятельности, регионов, экономик различных уровней. Устойчивое развитие экономических систем сельских территорий включает в себя продовольственную безопасность, эффективность бизнеса, высокое качество жизни населения, сохранение и развитие экосистем [1]. Доказано, что вопросы устойчивого развития сельских территорий имеет трансдисциплинарную природу. Проблемы устойчивого развития сельской местности находятся в начальной стадии научного осмысления и практической реализации [2]. Для этого требуются не только традиционные, но и креативные подходы. Сельские территории являются достаточно самостоятельными объектами управления, их устойчивое развитие должно стать приоритетом при реализации современной аграрной политики [3; 4].

Республика Калмыкия относится к регионам с достаточно экстремальными климатическими условиями, что заключается в недостаточном количестве осадков, высокой годовой амплитудой абсолютных температур воздуха. На территории региона наблюдается широкомасштабные процессы деградации природных экосистем Калмыкии [5].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования проблем экологических ограничений и их последствий применялся системный подход. При анализе использовались общенаучные методы (сравнения, обобщения, синтеза, индукции, дедукции и др.) и научно-исследовательские методы (статистические, экспертные оценки и др.).

Для оценки степени деградации земель Республики Калмыкия, пастбищ по степени сбитости, изменения площадей открытых песков проанализированы результаты аэрокосмического наблюдения по Черноземельскому району республики за 2022–2024 гг.

Для оценки климатического воздействия на состояние пастбищ проанализированы климатодиаграммы поселка Комсомольский Черноземельского района.

Для установления влияния пастбищной нагрузки на качество земельных угодий проанализированы данные о численности основных видов сельскохозяйственных животных в хозяйствах всех категорий в восточных районах Республики Калмыкия.

Также базой исследования выступили официальные данные Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Министерства по земельным и имущественным отношениям Республики Калмыкия и материалы периодических изданий.

Выполненное исследование показало, что эколого-географический, эколого-экономический анализы определили важную роль экологических ограничений в аграрной деятельности в рамках устойчивого развития территорий аридного региона.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вопросы развития сельских территорий на протяжении последних десятилетий являются предметом исследования ученых и практиков и находят свое отражение в программных документах Российской Федерации.

Вопросы развития сельских территорий традиционно связаны с аграрной деятельностью. В этом плане Республика Калмыкия является наиболее типичным регионом Российской Федерации, характерной особенностью которого является преобладающее производство сельскохозяйственной продукции животноводства в структуре сельскохозяйственного производства. Основная доля занятых в сельском хозяйстве приходится на животноводческую отрасль. Пастбищное животноводство – это основной вид деятельности сельского жителя, которое проецируется на быт, семейный уклад, традиции, благополучие сельских семей.

От состояния ресурсного потенциала и его использования зависят основные параметры социально-экономического и экологического состояния.

Некомплементарное землепользование, высокая антропогенная нагрузка на пренебрежение к правилам рационального использования кормовых угодий Юга России обусловили не только повсеместную деградацию территорий, но и депопуляционные процессы. Таким образом, территория начала терять свою устойчивость, поскольку накопленные отрицательные эффекты разбалансировали социоэкономическую структуру региона [6].

К 2024 году экологическая ситуация на территории Республики Калмыкия характеризуется следующими показателями (рис. 1) [6].

Большая часть Республики Калмыкия находится в сильной и очень сильной степени деградации. К ней отнесены восточные районы с деградированными пастбищами – это Черноземельский, Яшкульский, Юстинский районы. Под высокой степенью угрозы перехода из среднедеградированных сильно- и очень сильнодеградированные территории находятся Ики-Бурульский, Кетченеровский и Малодербетовский районы.

На рисунке 2 представлена оценка пастбищных угодий по степени сбитости. Выявлено следующее: сильносбитые и очень сильносбитые территории кормовых угодий занимают площадь около 35 %, среднесбитые пастбища – это 60 % и только 5 % оцениваются как несбитые и слабосбитые.

В «Стратегии социально-экономического развития Республики Калмыкия на период до 2030 г.» указывается необходимость проведения полноценной оценки состояния сельских территорий, определения экономического потенциала и их развития.

Последствия земельной и аграрной реформ 90-х годов прошлого столетия сыграли свою неоднозначную роль для сельской местности республики. Большая часть коллективных хозяйств была реорганизована, бесплатно приватизированы земельные доли, работникам сельскохозяйственных предприятий

выданы имущественные паи в виде недвижимости (склады, хранилища, цеха по переработке

сельскохозяйственной продукции, автотранспорт, трактора, комбайны) [7].

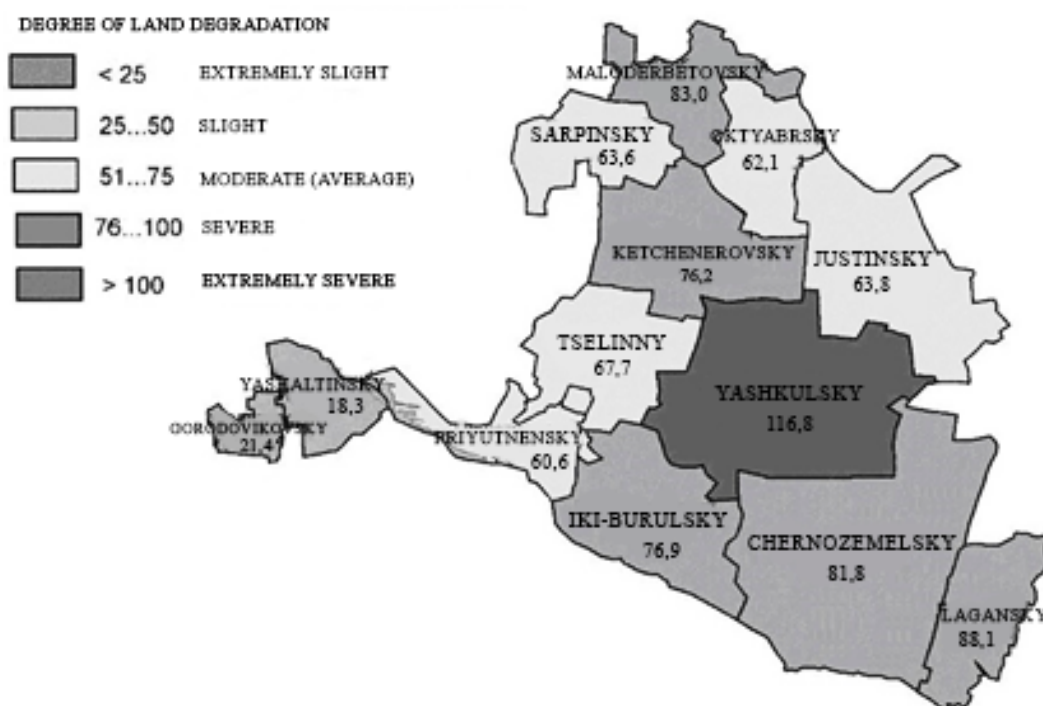


Рисунок 1. Степень деградации земель Республики Калмыкия
Figure 1. Degree of land degradation in the Republic of Kalmykia

В результате перераспределения сельскохозяйственных угодий были нарушены правила землепользования. Практически разрушены схемы севооборотов, которые конструировались с учетом показателей почвенного плодородия, рельефа местности, водообеспеченности, климатических особенностей. Высокий уровень парцелляции участков не позволяет применять новые технологии производства сельскохозяйственной продукции, средства защиты растений [8].

Различные способы использования земельных угодий (аренда, купля-продажа земельных долей и участков) позволили создать новый класс фермеров, что поспособствовало развитию личных подсобных хозяйств. Кроме этого появились механизмы участия сельских жителей в грантах Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по поддержке и развитию сельского хозяйства в регионах страны.

Финансовая устойчивость сельских территорий (сельских муниципальных образований) напрямую зависит от доходной части местного бюджета и, в первую очередь, от земельных платежей (земельного налога, аренда земли). Поэтому управление земельной собственностью на уровне муниципальных образований считается одним из важнейших условий устойчивого развития сельских территорий.

Необходимо отметить, что 7473,1 тысяч гектар земельного фонда Республики Калмыкия, что составляет 92 %, отнесены к землям сельскохозяйственного назначения. Сложившаяся структура сельскохозяйственных угодий традиционно отражает природно-экологические характеристики территорий и определяет специализацию аграрной деятельности.

В настоящее время изменения климата затронули в той или иной степени интересы всех

отраслей экономики и, в первую очередь, сельского хозяйства [9]. Анализ поголовья сельскохозяйственных животных позволяет делать определенные выводы. На протяжении последних пяти-шести лет количество сельскохозяйственных животных в хозяйствах всех категорий происходит неуклонное снижение (табл. 1) [10].

Одним из экстенсивных видов аграрной деятельности является пастбищное животноводство. Поголовье основных видов сельскохозяйственных животных, выпасаемых на пастбищах республики заметно снижалось (в 2019 г. – 4834 тыс. усл. гол. овец, в 2020 г. – 4091 тыс. усл. гол. овец, в 2021 г. – 4041 тыс. усл. гол. овец, в 2022 г. – 3339 тыс. усл. гол. овец, в 2023 г. – 3313 тыс. усл. гол. овец), но оставалось стабильно высоким. По экспертным оценкам неучтенное поголовье животных будет составлять от 20 до 50 % от общей численности сельскохозяйственных животных.

Таким образом, связывая экологическую емкость природных ландшафтов с нагрузкой сельскохозяйственных животных (табл. 2) можно определить количественные ограничения, а именно актуальную нагрузку и экологически допустимую нагрузку, а также ее превышение над нормой. Для примера приведены четыре муниципальных района республики в восточной зоне. Это сельские районы с большим поголовьем сельскохозяйственных животных и системными экологическими проблемами. Это зона опустынивания с дефицитом водных ресурсов, с высокой степенью миграционных процессов, с невысокой инфраструктурной обеспеченностью и моноотраслевой хозяйственной деятельностью [11; 12].

Таблица 1. Численность основных видов сельскохозяйственных животных восточной зоны Республики Калмыкия в хозяйствах всех категорий (на конец года, головы)
Table 1. Number of main types of farm animals in the eastern zone of the Republic of Kalmykia in farms of all categories (at the end of the year, heads)

Показатели Indicators	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Черноземельский муниципальный район Chernozemelsky municipal district								
Крупный рогатый скот Cattle	55345	49938	51541	39198	26809	25544	24036	19843
Коровы / Cows	34333	33272	35272	27186	20275	19988	18232	15669
Овцы и козы Sheep and goats	605320	538300	522424	425672	315903	313141	289481	273216
Лаганский муниципальный район Lagansky municipal district								
Крупный рогатый скот Cattle	17162	14393	14968	14144	7047	7036	6586	7069
Коровы / Cows	10684	10950	10243	11349	5539	5793	5523	5515
Овцы и козы Sheep and goats	132569	112488	115627	111319	60366	59792	46614	44894
Юстинский муниципальный район Yustinsky municipal district								
Крупный рогатый скот Cattle	18140	17566	18443	17244	15521	15404	14851	15003
Коровы / Cows	10840	12161	12775	11806	11043	10998	10252	9975
Овцы и козы Sheep and goats	267168	231523	237081	229366	152241	151542	153989	150875
Яшкульский муниципальный район Yashkulsky municipal district								
Крупный рогатый скот Cattle	71465	62106	53965	42471	34453	31265	33037	32551
Коровы / Cows	46906	47133	43040	33339	25370	24253	25120	23618
Овцы и козы Sheep and goats	632826	552208	518007	418192	360303	348109	358716	355798

Таблица 2. Экологические ограничения пастбищной нагрузки по административным районам восточной зоны Республики Калмыкия
Table 2. Environmental restrictions on the load on pastures in the administrative districts of the eastern zone of the Republic of Kalmykia

Районы Districts	Площадь с-х угодий, тыс. га Agricultural land area, thousand hectares	Экологически допустимая нагрузка, усл. гол. овец на 1 га Ecologically permissible load, confl. head of sheep per 1 ha	Актуальная нагрузка (на 2022 г.), усл. гол. овец на 1 га Current load (for 2022), confl. head of sheep per 1 ha	Превышение актуальной нагрузки над экологически допустимой, % Excess of the actual load over the ecologically permissible one, %	Экологически допустимая численность животных, тыс. усл. гол. овец Ecologically acceptable number of animals, thousand confl. head of sheep	Актуальная численность животных (на 2022 г.), тыс. усл. гол. овец Current number of animals (for 2022), thousand confl. head of sheep	Превышение актуальной нагрузки над экологически допустимой, % Excess of the actual load over the environmentally acceptable one, %
1. Лаганский 1. Lagansky	427,7	0,25	0,24	Норма Norm	108,4	103,4	Норма Norm
2. Юстинский 2. Justinsky	756,2	0,34	0,37	10	260,1	282,7	10
3. Черноземельский 3. Chernozemelsky	1350,0	0,25	0,35	40	332,8	471,8	40
4. Яшкульский 4. Yashkulsky	1120,0	0,27	0,50	80	305,4	559,8	80

Самая высокая нагрузка, превышающая 80 % от нормы, в Яшульском районе, количество выше нормы на 40 % – в Черноземельском районе, в Юстинском районе – на

10 %. Экологически допустимая норма выдерживается в Лаганском муниципальном районе.

По материалам дистанционного зондирования проведена оценка по степени сбитости пастбищ (рис. 2).

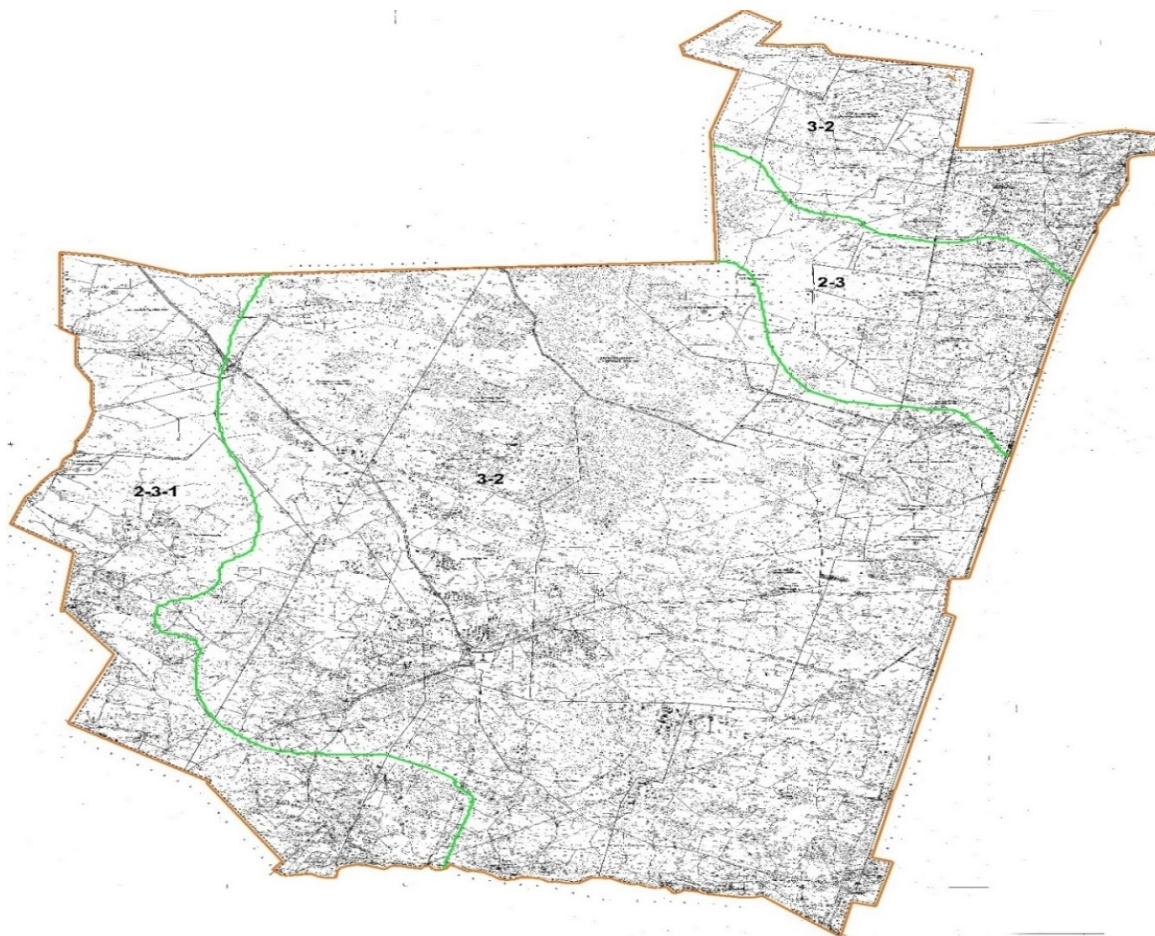


Рисунок 2. Оценка пастбищ по степени разной степени сбитости в Черноземельском районе

Преобладают пастбища на бурых полупустынных песчаных и супесчаных почвах.

2–3–1. Сочетания среднесбитых, сильносбитых и очень сильносбитых пастбищ с участием несбитых и слабосбитых пастбищ.

2–3. Сочетания среднесбитых, сильносбитых и очень сильносбитых пастбищ.

3–2. Сочетания сильносбитых и очень сильносбитых пастбищ со среднесбитыми пастбищами

Figure 2. Evaluation of pastures according to varying degrees of overgrazing in the Chernozemelsky district
Pastures on brown semi-desert sandy and sandy loam soils predominate.

2–3–1. Combinations of moderately compacted, strongly compacted and very strongly compacted pastures with the participation of unconsolidated and slightly compacted pastures.

2–3. Combinations of moderately compacted, strongly compacted and very strongly compacted pastures.

3–2. Combinations of strongly compacted and very strongly compacted pastures with moderately compacted pastures

Преобладание среднесбитых, сильносбитых и очень сильносбитых пастбищ на этой территории представляет собой дальнейшую угрозу устойчивости. Восстановить эту территорию фитомелиоративными методами практически невозможно.

Высокая нагрузка сельскохозяйственных животных на пастбища Черноземельского района обусловлена падением продуктивности кормовых угодий и следующее соотношение пастбищ разной степени сбитости [13]. Несбитых и слабосбитых пастбищ на территории района – 5 %, среднесбитых – 60 %, сильносбитых и очень сильносбитых – 35 %.

В последние годы сильное влияние на ресурсный потенциал пастбищ оказывает климатическая составляющая. По объемам вывода из

сельскохозяйственного оборота продуктивных пастбищ климат, наряду с антропогенезом, является первостепенным фактором опустынивания [14; 15]. Если антропогенную нагрузку можно отрегулировать через рациональное управление с экологическими ограничениями, т.е. административными, финансовыми, землеустроительными методами, то влияние климатических изменений возможно разработкой адаптационных мер по смягчению действия климата на здоровье населения, новые технологии, диверсификацию экономики.

За последние годы климат становится все более засушливым. На рисунке 3 наглядно представлено недостаточное количество атмосферных осадков при высокой температуре воздуха.

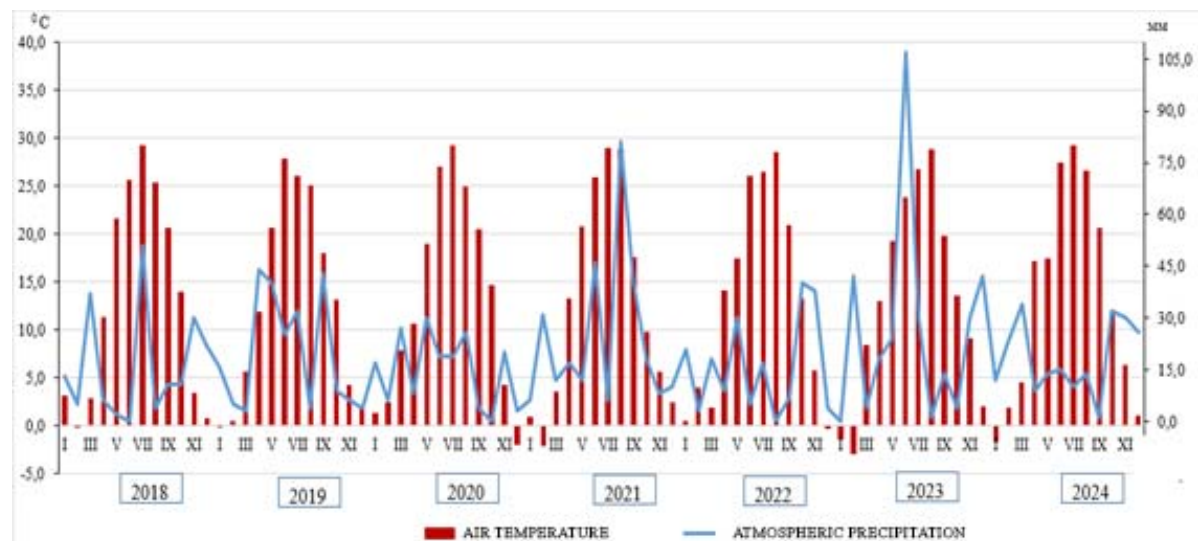


Рисунок 3. Климатодиаграмма за годы исследований по метеостанции Комсомольск
Figure 3. Climatic diagram for the years research undertaken according to the Komsomolsk weather station

Закрепленные метеорологами пыльные бури в 2024 году в этом районе послужили причиной вывода из сельскохозяйственного оборота продуктивных земель. На снимках четко фиксируется увеличение количества массивов открытых песков. На территории района появился 151 новый массив. Изменилась их конфигурация, новые площади пастбищ, засыпанные песком, составили 69572, 9 гектар, т.е. увеличились на 12509,7 гектар.

Таблица 3. Изменение площадей открытых песков в 2024 г. по Черноземельскому району Республики Калмыкия
Table 3. Change in the area of open sands in 2024 in the Chernozemelsky district of the Republic of Kalmykia

№	Наименование Name	2023		2024	
		Объем массивов песка Volume of sand massifs	Площадь, га Area, ha	Объем массивов песка Volume of sand massifs	Площадь, га Area, ha
1.	Артезианское сельское муниципальное образование Artesian rural municipal formation	417	12805,16	423 (+6)	17847,10 (+5041,94)
2.	Адыковское сельское муниципальное образование Adykovskoye rural municipal formation	59	6854,75	59 (+0)	6854,75 (+0)
3.	Кумское сельское муниципальное образование Kumskoe rural municipality	287	1848,42	293 (+6)	2219,57 (+371,15)
4.	Нарынхудукское сельское муниципальное образование Naryn Khuduk Skoe rural municipal formation	627	18876,58	754 (+127)	24846,84 (+5970,26)
5.	Прикумское сельское муниципальное образование Prikumskoe rural municipal formation	376	3344,04	379 (+3)	3664,70 (+320,66)
6.	Ачинеровское сельское муниципальное образование Achinerovskoye rural municipal formation	140	434,57	142 (+2)	523,51 (+97,94)
7.	Комсомольское сельское муниципальное образование Komsomolskoye rural municipal formation	155	12899,71	162 (+7)	13607,44 (+707,73)
Итого Total		2061	57063,23	2212 (+151)	69572,91 (+12509,68)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
В целях сохранения ценных агроландшафтов, биоразнообразие как источника устойчивости природной среды необходимы научно-обоснованные нормы нагрузки аграрной деятельности, т.е. экологически-допустимых норм. Разработка и

внедрение этих норм позволит сбалансировать социоприродохозяйственную систему региона, тем более что основная отрасль – это сельское хозяйство, базирующееся на пастбищных ресурсах. Экологическое состояние этого ресурса напрямую проецируется на всю сельскую местность. Для большей части сельского населения региона пастбища являются едва ли не единственным источником дохода семьи.

Подтверждаемая статистикой миграция сельского населения связана с отсутствием возможности арендовать или купить землю. Земельные участки переданы в долгосрочную аренду. Несмотря на отсутствие свободных земель в республике, фермеры-предприниматели пренебрегают научно-обоснованным способом использования земельных угодий. В результате меры государственной поддержки фермерских хозяйств не достигают поставленных целей. Такая ситуация требует разрешения на основе комплексного подхода изменения парадигмы использования земель не как источника продовольствия, а как части биосферы имеющую свою природную емкость.

И здесь на первый план выходит нормативно-правовой, затем технико-технологический, биологический методы ограничения аграрной деятельности. В основу экологических ограничений (норм, пределов) аграрной деятельности должны лечь основные принципы:

- научно-обоснованный учет всех экологических, экономических, климатических условий для правильного размещения сельскохозяйственных культур;
- ограничение антропогенных воздействий на все виды угодий (пример нормы пастбищной нагрузки);
- установление нормативов нагрузки сельскохозяйственной техники на угодья;
- наличие у каждого хозяйствующего субъекта внутрихозяйственного проекта, дела по оценке земель, картограммы плодородия, карты земельных угодий.

Анализ такой информации в целом повысит заинтересованность в рациональном использовании агроресурсов и обеспечит устойчивое развитие сельских территорий.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2024-113/5 «Особенности и условия адаптации аграрной периферии к изменениям окружающей среды»).

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ 075-03-2024-113/5 Features and Conditions of Adaptation of the Agrarian Periphery to Environmental Changes).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закшевский В.Г. и др. Устойчивое развитие сельских территорий: новый взгляд на оценку в контексте пространственной локализации // Экономика региона. 2023. Т. 19. № 3. С. 683–696.
2. Запорожцева Л.А., Шишкина Л.А., Толстолюбский Р.О. К вопросу о формировании мониторинга устойчивого

развития сельских территорий // Современная экономика: проблемы и решения. 2020. Т. 4. С. 141–153.

3. Брылев А.А., Турчаева И.Н. Методологические аспекты исследования устойчивого развития сельских территорий // АПК: Экономика, управление. 2020. № 10. С. 76–94.
4. Дорджиева О.Б. Устойчивое развитие сельских территорий как системная проблема // Oriental Studies. 2013. № 1. С. 117–120.
5. Борликов Г.М., Бакинова Т.И., Зеленский А.Г. Эколого-экономические проблемы аграрного землепользования в Республике Калмыкия // Юг России: экология, развитие. 2015. № 2. С. 146–156.
6. Бакинова Т.И., Джапова Р.Р., Трофимов И.А., Оконов М.М., Бембеев К.И., Киштанов Б.В., Павлова Н.Ц., Кованова Е.С., Кониева Г.Н., Музаев В.М. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Республики Калмыкия. Волгоград – Элиста: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 2024. 300 с.
7. Мантаева Э.И., Голденева В.С., Савченко-Бельский К.А. Особенности стратегии устойчивого развития региона (на материалах Республики Калмыкия) // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. Т. 244. № 6. С. 382–402.
8. Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н. Мониторинг подтвержденных опустыниванию земель Республики Калмыкия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 130.
9. Намруева Л. В. Экологическая ситуация в современной Калмыкии: междисциплинарный анализ // Новые исследования Тувы. 2022. № 2. С. 102–114.
10. Базы данных // Интернет-портал Росстата. URL: <https://rosstat.gov.ru/databases> (дата обращения: 20.11.2024)
11. Суркова Е.Н., Кулик А.А., Кузнецова Е.В., Базыкина С.Г., Савинецкая Л.Е., Чабовский А.В. Черные земли Калмыкии: пустыня возвращается // Природа. 2022. № 8. С. 13–20.
12. Цаган-Манджиев Н.Л., Тютюма Н.В. Некоторые итоги реализации программ по борьбе с опустыниванием территории Черных земель и Кизлярских пастбищ // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 92–95.
13. Юфеев В.Г., Ткаченко Н.А., Синельникова К.П. Спектральные характеристики опустыненных пастбищ Черных земель // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 1 (90). С. 65–72.
14. Шумова Н.А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 4 (89). С. 13–24.
15. Сангаджиев М.М. и др. Пыльные бури в Калмыкии // Московский экономический журнал. 2021. № 10. С. 169–180.

REFERENCES

1. Zakshevsky V.G. et al. Sustainable development of rural areas: a new look at the assessment in the context of spatial localization. *Ekonomika regiona* [Economy of the region]. 2023, vol. 19, no. 3, pp. 683–696. (In Russian)
2. Zaporozhtseva L.A., Shishkina L.A., Tolstolubsky R.O. On the issue of forming monitoring of sustainable development of rural areas. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Modern economy: problems and solutions]. 2020, vol. 4, pp. 141–153. (In Russian)
3. Brylev A.A., Turchaeva I.N. Methodological aspects of the study of sustainable development of rural areas. *APK: Ekonomika, upravleniye* [Agro-industrial complex: Economy, management]. 2020, no. 10, pp. 76–94. (In Russian)

4. Dordzhieva O.B. Sustainable development of rural areas as a systemic problem. *Oriental Studies*. 2013, no. 1, pp. 117–120. (In Russian)
5. Borlikov G.M., Bakinova T.I., Zelensky A.G. Ecological and economic problems of agricultural land use in the Republic of Kalmykia. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2015, no. 2, pp. 146–156. (In Russian)
6. Bakinova T.I. *Natsional'naya programma deystviy po bor'be s opustynivaniyem Respubliki Kalmykiya* [National program of action to combat desertification of the Republic of Kalmykia]. Volgograd – Elista, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, 2024, 300 p. (In Russian)
7. Mantaeva E.I., Goldenova V.S., Savchenko-Belsky K.A. Features of the strategy for sustainable development of the region (based on the materials of the Republic of Kalmykia). *Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii* [Scientific works of the Free Economic Society of Russia]. 2023, vol. 244, no. 6, pp. 382–402. (In Russian)
8. Titkova T.B., Zolotokrylin A.N. Monitoring of lands of the Republic of Kalmykia subject to desertification. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2022, vol. 19, no. 2, pp. 130. (In Russian)
9. Namrueva L.V. Environmental situation in modern Kalmykia: interdisciplinary analysis. *Novyye issledovaniya Tuva* [New studies of Tuva]. 2022, no. 2, pp. 102–114. (In Russian)
10. *Bazy dannykh* [Databases]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/databases> (accessed 20.11.2024)
11. Surkova E.N., Kulik A.A., Kuznetsova E.V., Bazykina S.G., Savinetskaya L.E., Chabovsky A.V. Black lands of Kalmykia: the desert is returning. *Priroda* [Nature]. 2022, no. 8, pp. 13–20. (In Russian)
12. Tsagan-Mandzhiev N.L., Tyutyuma N.V. Some results of the implementation of programs to combat desertification of the territory of the Black lands and Kizlyar pastures. *Aridnyye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2023, vol. 29, no. 1 (94), pp. 92–95. (In Russian)
13. Yuferov V.G., Tkachenko N.A., Sinelnikova K.P. Spectral characteristics of desertified pastures of the Black Lands. *Aridnyye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2022, vol. 28, no. 1 (90), pp. 65–72. (In Russian)
14. Shumova N.A. Quantitative climate indicators as applied to the assessment of hydrothermal conditions in the Republic of Kalmykia. *Aridnyye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2021, vol. 27, no. 4 (89), pp. 13–24. (In Russian)
15. Sangadzhiev M.M. et al. Dust storms in Kalmykia. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal]. 2021, no. 10, pp. 169–180. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна И. Бакинова вела научное руководство исследованием, составила план работы, корректировала материалы. Екатерина С. Кованова собрала и обработала статистические данные, проанализировала климодиаграммы. Ньюудля Ц. Павлова проанализировала пастбища по степени разной степени сбитости. 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

Tatyana I. Bakinova supervised the research, developed the work plan and corrected the materials. Ekaterina S. Kovanova collected and processed the statistical data and analysed the climatic diagrams. Nyuudlya Ts. Pavlova analysed the pastures according to the degree of different levels of compaction. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for any plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна И. Бакинова / Tatyana I. Bakinova <https://orcid.org/0009-0005-8021-0327>
 Екатерина С. Кованова / Ekaterina S. Kovanova <https://orcid.org/0000-0002-4269-3795>
 Ньюудля Ц. Павлова / Nyuudlya Ts. Pavlova <https://orcid.org/0000-0001-8685-7512>

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.03, 502.131.1

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-15



Оценка экологической эффективности при достижении целей устойчивого развития субъектов РФ

Василий М. Караулов¹, Елена В. Каранина¹, Назирхан Г. Гаджиев²¹Вятский государственный университет, Киров, Россия²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия**Контактное лицо**

Елена В. Каранина, доктор экономических наук, профессор, кафедра финансов и экономической безопасности, Вятский государственный университет; 610000 Россия, г. Киров, ул. Московская, 36.

Тел. +79226639024

Email karanina@vyatsu.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-5912>**Формат цитирования**

Караулов В.М., Каранина Е.В., Гаджиев Н.Г. Оценка экологической эффективности при достижении целей устойчивого развития субъектов РФ // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 185-194. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-15

Получена 14 февраля 2025 г.

Прошла рецензирование 14 апреля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: провести сравнительный анализ экологической эффективности развития субъектов РФ в долгосрочном периоде в контексте реализации принципов «зеленой» экономики.

Исследование проведено на основе открытых данных эколого-экономического развития девяти субъектов и трех федеральных округов России в 2010–2022 гг. с использованием экономико-математических и статистических методов, включая корреляционно-регрессионный анализ и методы оценки проявления долгосрочного положительного эффекта декарбонизации.

Установлено, что в исследуемых субъектах в целом в долгосрочном периоде наблюдается повышение экологической эффективности экономик относительно выбросов в атмосферный воздух, сброса загрязненных сточных вод и использования свежей воды, но могут быть значительные межрегиональные различия, и в отдельных случаях может наблюдаться снижение экологической эффективности. Реализация «зеленых» инвестиций в основной капитал в регионах сильно дифференцирована по масштабу и динамике, часто носит нестабильный характер, а их влияние на повышение экологической эффективности неустойчиво.

На фоне роста региональных экономик может значительно ухудшаться экологическая обстановка по отдельным факторам, например, относительно выбросов оксида углерода в атмосферный воздух. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, могут способствовать повышению экологической эффективности. Для достижения целей «зеленой» экономики нужны комплексные решения, обеспечивающие устойчивый приток «зеленых» инвестиций в регионы с учетом их региональной структуры.

Ключевые слова

Устойчивое развитие, «зеленая» экономика, «зеленые» инвестиции, экологическая эффективность, долгосрочный декарбонизация, устойчивый декарбонизация.

Assessment of environmental efficiency in achieving sustainable development goals of the constituent entities of the Russian Federation

Vasily M. Karaulov¹, Elena V. Karanina¹ and Nazirkhan G. Gadzhiev²

¹Vyatka State University, Kirov, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Elena V. Karanina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Biology, Vyatka State University; 36 Moscovskaya St., Kirov, Russia, 610000.

Tel. +79226639024

Email karanina@vyatsu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-5912>

How to cite this article

Karaulov V.M., Karanina E.V., Gadzhiev N.G. Assessment of environmental efficiency in achieving sustainable development goals of the constituent entities of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):185-194. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-15

Received 14 February 2025

Revised 14 April 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. To carry out a comparative analysis of the environmental efficiency of development of the constituent entities of the Russian Federation in the long term in the context of the implementation of the principles of the "green" economy.

The study was conducted on the basis of open data concerning the ecological and economic development of nine subjects and three federal districts of the Russian Federation in 2010–2022. Economic, mathematical and statistical methods were used, including correlation and regression analysis and methods for assessing the manifestation of the long-term positive effect of decoupling.

It has been established that in the districts studied, as a whole, in the long-term period, there is an increase in environmental efficiency of economies in terms of emissions into the atmosphere, polluted wastewater discharge and fresh water usage, but there may be significant interregional differences and in some cases a decrease in environmental efficiency may be observed. The implementation of "green" investments in fixed capital in the regions is highly differentiated in scale and dynamics, is often unstable and their impact on increasing environmental efficiency is unstable.

Against the background of regional economic growth, the environmental situation may significantly worsen in terms of individual factors, for example carbon monoxide emissions into the atmosphere. Investments in fixed capital aimed at environmental protection and rational use of natural resources may contribute to increased environmental efficiency. To achieve the goals of a "green" economy, comprehensive solutions are needed that ensure a sustainable inflow of "green" investments into regions in accordance with their regional structure.

Key Words

Sustainable development, green economy, green investments, environmental efficiency, long-term decoupling, sustainable decoupling.

ВВЕДЕНИЕ

Достижение безопасного регионального развития всех территорий – важнейшая национальная цель. Под безопасным региональным развитием стоит понимать два основных аспекта: обеспечение безопасного состояния региональной экосистемы и сбалансированного роста, который характеризуется экономическим ростом и ростом благосостояния населения при сохранении естественного биологического разнообразия и экологического равновесия – устойчивого и долгосрочного сосуществования природных экосистем, находящихся на той же территории [1]. Другими словами, экологическая безопасность должна рассматриваться как составляющая экономической безопасности [2].

В 2015 году Генеральная Ассамблея ООН приняла Цели устойчивого развития на 2030 год, направленные на решение глобальных проблем, включая изменение климата, утрату биоразнообразия, обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте [3].

Влиянию экономического развития на состояние окружающей среды в мировой практике уделяется много внимания, в частности, с конца 20 века развивается экологическая экономика, в рамках которой разрабатываются модели взаимодействия эколого-экономических систем, например, с помощью специальных функций загрязнения окружающей среды. Такие модели сложны в реализации, в том числе при исследовании экологичности экономического развития на уровне регионов России [4]. В последнем случае для масштабирования исследований предпочтительнее применять единые и быстро реализуемые подходы. Сложность задачи исследования обусловлена междисциплинарным характером: развитие предполагает экономический рост, что с одной стороны, способствует росту возможностей и благополучию населения, но с другой стороны, может вступать в противоречие с требованиями сохранения экологической обстановки и биоразнообразия.

Решение данной проблемы реализуется в рамках экологического курса, направленного на «зеленую» экономику, предполагающего развитие климатической нейтральности: сокращение энергоёмкости валового внутреннего продукта (ВВП), увеличение доли восстанавливаемых источников энергии, сокращение выбросов парниковых газов и других экологических параметров до целевых уровней к 2030 и 2050 гг. [5]. Для достижения целей «зеленой» экономики служит концепция «зеленой промышленной политики» – смещение экономических траекторий от традиционных отраслей к новым, «более зеленым» промышленным технологиям, в частности, путем расширения промышленных мощностей по производству возобновляемой энергии или переходу на экономику замкнутого цикла с целью снижения воздействия на окружающую среду, связанного с функционированием промышленных предприятий [6].

Преодоление экологической проблемы в условиях экономического роста может быть реализовано в концепции циркулярной экономики – обеспечения безотходности производства продукции за счет создания для нее жизненного цикла замкнутого вида путем повторной переработки и повторного использования в производственном процессе отходов,

что снижает отрицательное воздействие отходов на окружающую среду как в процессе производства, так и потребления [7].

С позиций концепций устойчивого развития и «зеленой экономики» необходимо обеспечивать качественный рост, включающий повышение экологической эффективности, или эко-эффективности – отношения экономической стоимости произведённого и воздействием на окружающую среду при производстве определённого продукта или услуги [8]. С учётом рекомендаций Европейской экономической комиссии ООН в отечественной практике рассматриваются такие экологические показатели как выбросы парниковых газов в разбивке по видам деятельности, на душу населения, на единицу ВВП и другие [9].

Исследования показывают, что результаты реализации «зеленой» экономики могут иметь достаточно противоречивые тенденции в контексте направленности проявления эффекта декарпинга – более низких темпов потребления ресурсов или загрязнения окружающей среды относительно темпов роста экономики [10] и подвержены сильному влиянию внешних шоков, например, санкционному давлению недружественных стран и другим ограничениям [11]. С учетом этого предлагается оценку результативности реализации «зеленой» повестки рассматривать в среднесрочном или долгосрочном периоде, например, с помощью наличия и величины долгосрочного положительного эффекта декарпинга [12].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены результаты экономико-математического и статистического анализа реализации принципов «зеленой экономики» как в целом по РФ, так и на примере трех федеральных округов (СКФО, ПФО и УФО) и девяти субъектов этих округов за период 2010–2022 гг. – Республики Дагестан, Чеченской Республики, Ставропольского края, Кировской, Нижегородской, Оренбургской, Курганской, Свердловской и Челябинской областей. В качестве исходных данных использовались материалы, представленные на сайте Росстата, в частности, показатели ВРП, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, использование свежей воды и сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. Анализ проводился с позиций оценки экологической эффективности экономик субъектов. В основе оценки использовался показатель декарпинга экологического фактора, количественная оценка которого в год t вычисляется по формуле [13]:

$$D_t = 1 - \frac{X_t}{Y_t} / \frac{X_{t-1}}{Y_{t-1}}, \quad (1)$$

В качестве Y_t рассматривается выпуск конечной продукции, например, валовой региональный продукт (ВРП) в исследуемом субъекте в период (год) t , а в качестве X_t – объем воздействия экологического фактора (загрязнения окружающей среды или потребления природного ресурса). Считается, что наблюдается положительный эффект декарпинга, если $D_t > 0$, а увеличение D_t отражает рост экологической эффективности экономики.

При оценке эффекта декаплинга в долгосрочном периоде необходимо учитывать несопоставимость текущих стоимостных показателей ВРП и уровня цен в субъектах РФ. Поэтому стоимостные показатели субъектов пересчитывались также как в [12] – в стоимостные эквиваленты числа фиксированных наборов потребительских товаров и услуг – фиксированных потребительских корзин (ФПК). Если Y_t – выпуск конечной продукции (ВРП) в исследуемом субъекте в период (год) t , измеряемый в млн руб. и P_t – стоимость ФПК, то $Q_t = Y_t/P_t$ – стоимостной эквивалент ВРП, выражаемый через число млн ФПК субъекта. Тогда единицей выпуска экономики субъекта можно считать стоимостной эквивалент одной ФПК – $P_t = Y_t/Q_t$.

В качестве экологических факторов рассматриваются показатели объемов загрязнения окружающей среды X_t (выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс. т и сброс загрязненных сточных, млн куб. м) или объем потребления природного ресурса (свежей воды, млн куб. м) в год t . Наличие экологической эффективности экологического фактора (уровня загрязнения или потребления ресурса) может оцениваться как снижение удельного загрязнения или удельного потребления ресурса – отношения уровня загрязнения или потребления ресурса на единицу выпуска конечной продукции в исследуемом субъекте: $x_t = X_t/Q_t$.

Если показатель ВРП измеряется в ФПК, то в формуле (1) $Y_t = Q_t$ и оценка декаплинга может измеряться через относительное изменение удельного загрязнения или использования природного ресурса, взятое с противоположным знаком [11]:

$$D_t = 1 - \frac{x_t}{Q_t} / \frac{x_{t-1}}{Q_{t-1}} = 1 - \frac{x_t}{x_{t-1}} = \frac{x_{t-1} - x_t}{x_{t-1}} = - \frac{x_t - x_{t-1}}{x_{t-1}}. \quad (2)$$

Таким образом, проявление эффекта декаплинга $D_t > 0$, согласно формуле (2), говорит о снижении удельного загрязнения или использования природного ресурса.

Для оценки проявления долгосрочного эффекта декаплинга применяется экспоненциальная модель тренда удельного загрязнения (или потребления) природного ресурса [12]:

$$x_t = a \cdot e^{bt}, \quad (3)$$

которая строится по статистическим данным удельных загрязнений (или использования) природного ресурса за 2010–2022 гг. с помощью стандартных статистических пакетов (например, в MS Excel в форме экспоненциального тренда). Тогда среднегодовой эффект декаплинга в этом периоде вычисляется как $D_t = -b$, а при наличии положительного эффекта за весь исследуемый период T (12 лет) декаплинг составляет:

$$D_T = (1 - b)^{12} - 1. \quad (4)$$

Использование формулы (4) предполагает, что в рассматриваемом периоде T в целом наблюдается экономический рост (а не спад), иначе выводы об

экологической эффективности становятся некорректными.

Оценка долгосрочного эффекта декаплинга может быть получена и с помощью формул (1) или (2) с временными показателями $t = 2022$ и $(t - 12 = 2010)$, но применение формулы (4) рассматривается как более предпочтительное. Объясняется это тем, что при использовании формул (1) и (2) результат зависит только от показателей начального и конечного периодов и не зависит от промежуточных. Из-за этого, в частности, может проявляться эффект базы. Напротив, оценка долгосрочного декаплинга по формуле (4) учитывает все периоды, так как получается на основе эконометрической модели, и может быть дополнена характеристикой устойчивости на основе коэффициента детерминации R^2 модели (3). Предлагается считать долгосрочный эффект декаплинга $D_t = -b$:

- устойчивым, если $R^2 \geq 0,80$;
- слабо устойчивым, если $0,65 \leq R^2 < 0,80$;
- неустойчивым, если $R^2 < 0,65$.

Выбор данной шкалы для классификации устойчивости декаплинга обусловлен следующими статистическими свойствами параметра b модели (3):

- при $R^2 \geq 0,8$ и $T \geq 5$ параметр b и оценка среднегодового декаплинга $D_t = -b$ статистически значимые при 5 % уровне значимости, а в случае $T \geq 7$ – при 1 % уровне значимости.
- при $R^2 \leq 0,64$ и $T \leq 5$ параметр b и оценка среднегодового декаплинга статистически незначимые даже при 10 % уровне значимости.
- при $R^2 \geq 0,65$ и $T \geq 5$ получается 10 %-й уровень значимости, а в случае $T \geq 7$ – 5 % уровень значимости.

Дополнительно был проведен статистический анализ влияния на экологическую эффективность инвестиций в основной капитал региональных экономик, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. В частности, на основе корреляционного анализа исследовалось влияние масштаба и роста и «зеленых» инвестиций на долгосрочный положительный эффект декаплинга.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка устойчивости экономического развития

В исследуемом периоде согласно экспоненциальной модели тренда по показателю ВВП РФ в ФПК за 12 лет прирост экономики составил 43,0 % и фиксируется как устойчивый. В рассматриваемых федеральных округах рост экономик оценивается как слабо устойчивый. Наибольший рост в УФО – на 52,5 %, в СКФО – на 29,6 % и в ПФО – на 29,4 %. В трех регионах рост оказался неустойчивым – на 4,6 % в Курганской области, на 21,6 % в Республике Дагестан и на 25,5 % в Оренбургской области. В остальных рассматриваемых регионах рост устойчивый: Чеченская Республика – на 70,6 %, Челябинская область – на 47,8 %, Ставропольский край – на 41,9 %, Свердловской область – на 36,1 %, Кировская область – на 33,9 % и Нижегородская область – на 33,0 %.

Уровень снижения удельных загрязнений атмосферного воздуха

На фоне растущих экономик одним из проявлений принципов «зеленой экономики» должно быть снижение удельных загрязнений окружающей среды и удельного потребления природных ресурсов. Исследо-

вания показали, что в целом в исследуемых субъектах наблюдается снижение удельных загрязнений атмосферного воздуха (табл. 1), но относительно удельных выбросов оксида углерода ситуация в регионах неоднородная (рис. 1).

Таблица 1. Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников, кг

Table 1. Specific emissions of pollutants into the atmosphere from stationary and mobile sources, kg

Субъект Subject	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
РФ Russian Federation	7,5	6,6	6,4	6,4	6,3	6,4	6,1	5,9	5,5	3,8	4,0	3,4	3,2
Северо-Кавказский ФО North Caucasus Federal District	10,4	7,0	6,3	6,4	6,4	6,9	6,7	6,8	7,3	4,3	4,3	4,1	3,6
Респ. Дагестан Republic of Dagestan	5,6	5,4	4,8	4,7	4,6	5,0	5,2	5,4	5,6	1,5	1,3	1,3	1,1
Чеченская Респ. Chechen Republic	11,8	10,3	8,5	9,9	9,2	10,4	9,1	8,6	8,9	7,3	7,5	7,2	6,7
Ставропольский край Stavropol Krai	16,7	8,3	7,7	7,6	7,0	7,0	6,7	7,0	7,6	6,7	7,0	6,3	5,5
Приволжский ФО Volga Federal District	6,8	6,1	5,9	6,0	6,2	6,4	6,4	6,1	5,9	3,7	3,8	3,3	3,1
Кировская обл. Kirov Region	9,6	9,4	9,1	9,8	10,1	9,5	9,0	8,6	8,6	7,3	7,0	6,1	5,9
Нижегородская обл. Nizhny Novgorod Region	5,1	5,3	4,8	5,2	4,8	4,9	4,9	4,8	4,2	2,5	2,3	2,2	2,0
Оренбургская обл. Orenburg Region	13,3	12,2	12,6	9,8	9,7	11,3	11,8	10,9	10,0	6,8	6,8	5,8	5,5
Уральский ФО Ural Federal District	11,2	9,6	9,4	8,5	7,7	7,5	7,4	6,9	6,0	4,7	5,4	4,3	4,0
Курганская обл. Kurgan Region	11,0	7,9	7,4	8,0	6,8	7,9	6,9	7,6	9,2	4,6	4,4	4,3	3,5
Свердловская обл. Sverdlovsk region	13,5	10,9	10,5	10,8	10,3	10,1	8,9	8,8	8,6	6,2	5,9	5,3	5,3
Челябинская обл. Chelyabinsk Region	12,8	11,0	10,6	10,5	10,6	9,5	8,7	7,6	7,4	5,3	5,1	4,6	4,2

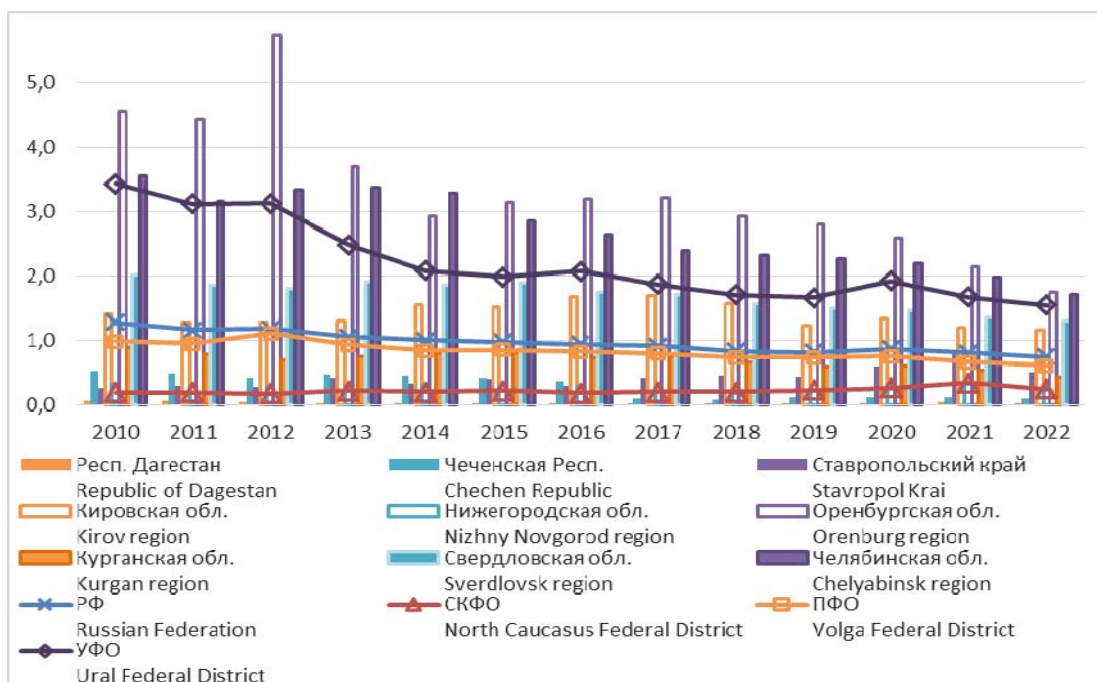


Рисунок 1. Удельные выбросы оксида углерода в атмосферный воздух, отходящие от стационарных источников, кг
Figure 1. Specific emissions of carbon monoxide into the atmosphere from stationary sources, kg

Наибольшее снижение удельных загрязнений атмосферного воздуха за 12 лет в исследуемых регионах наблюдается в Республике Дагестан – в 3,7 раза и, соответственно, наибольший долгосрочный положительный эффект декарпинга – 370,3 %. Но данный эффект рассматривается как неустойчивый ($R^2 = 0,639$), как и в Ставропольском крае ($R^2 = 0,495$). Наименьший долгосрочный положительный эффект декарпинга в Чеченской Республике – 55,8 % и он слабо устойчивый ($R^2 = 0,786$). Устойчивый долгосрочный положительный эффект декарпинга относительно удельных загрязнений атмосферного воздуха проявляется в двух регионах – в Челябинской области – 192,1 % и в Свердловской области – 139,4 %. В остальных субъектах фиксируется слабоустойчивый положительный эффект декарпинга. В целом по исследуемым федеральным округам наибольший и устойчивый долгосрочный положительный эффект декарпинга в УФО – 155,8 %, что выше, чем в целом по РФ (116,4 %). В СКФО и ПФО показатель декарпинга чуть меньше общероссийского (109,9 % и 103,5 % соответственно).

Уровень удельных выбросов оксида углерода

Относительно удельных выбросов оксида углерода в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тенденции разнонаправленные. В целом по РФ наблюдается устойчивый долгосрочный

положительный эффект декарпинга – 62,8 %. Но по СКФО нет положительного эффекта декарпинга – удельные выбросы оксида углерода выросли на 32,6 %, но объем удельных загрязнений меньше половины удельных загрязнений в ПФО, а в ПФО удельные загрязнения меньше половины удельных загрязнений в УФО. Кроме того, если динамика удельных загрязнений в СКФО неустойчивая, то в УФО и ПФО наблюдается устойчивый долгосрочный положительный эффект декарпинга (108,8 % и 60,1 % соответственно). Среди регионов наибольший долгосрочный положительный эффект декарпинга в Чеченской Республике – 579,9 % при слабой устойчивости, в Оренбургской области – 134,4 % и высокий уровень устойчивости, в Республике Дагестан – 115,8 %, но положительный эффект неустойчивый. В Ставропольском крае положительный эффект декарпинга отсутствует – удельные выбросы оксида углерода выросли на 59,5 %, но при этом остались меньше третьей части удельных загрязнений в Оренбургской области.

Уровень снижения удельных загрязнений поверхностных водных объектов

Исследования удельных сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты в исследуемых субъектах показали наличие долгосрочного положительного эффекта декарпинга (рис. 2).

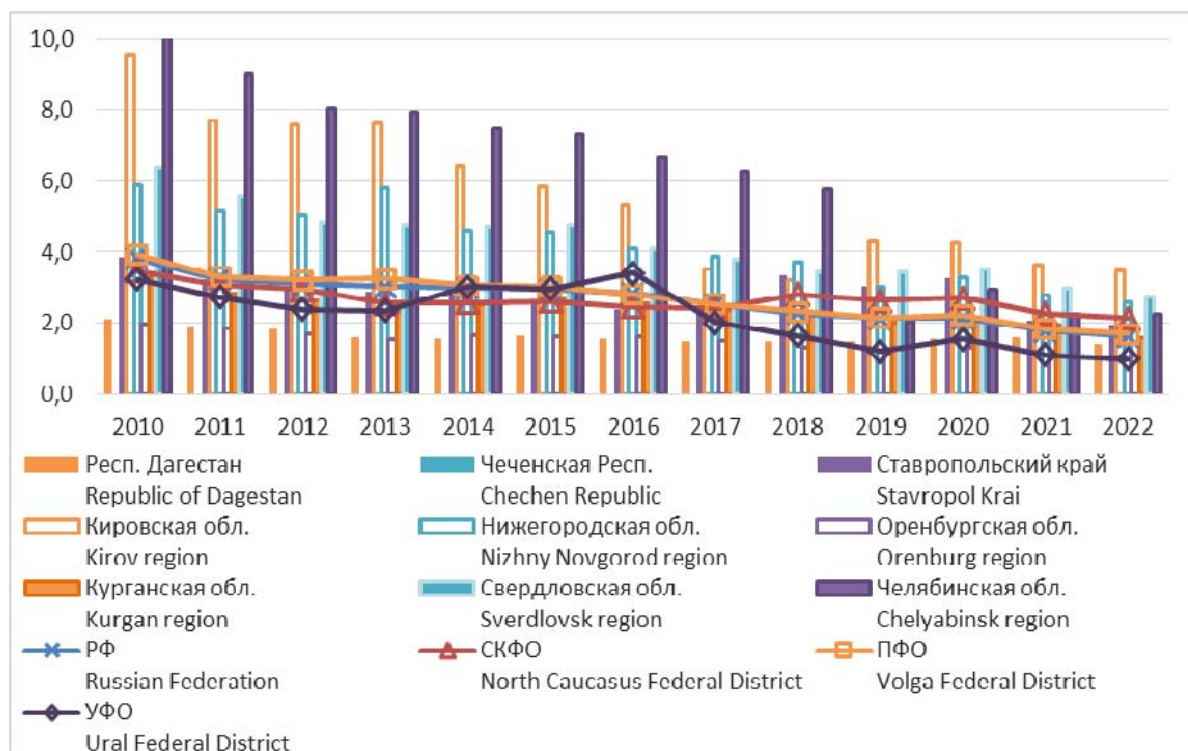


Рисунок 2. Удельный сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, куб. м
Figure 2. Specific discharge of polluted wastewater into surface water bodies, cubic metres

Динамика удельного сброса загрязненных сточных вод подобна динамике удельных загрязнений атмосферного воздуха, но с другим характером распределения среди регионов. В целом по РФ долгосрочный положительный эффект декарпинга устойчивый и составил 106,4 %. Также устойчивый эффект декарпинга

в ПФО – 107,0 %. Наибольший эффект среди исследуемых округов в УФО – 192,6 %, но этот эффект слабо устойчивый. В СКФО эффект декарпинга наименьший – 35,1 % и неустойчивый. В исследуемых регионах наибольший и устойчивый долгосрочный положительный эффект в Челябинской области –

361,9 %, Кировской области – 170,3 %, Нижегородской области – 119,9 % и в Свердловской области – 105,9 %. Наименьший и неустойчивый эффект декаплинга в Республике Дагестан – 32,7 % и в Ставропольском крае – 43,6 %.

Уровень удельного потребления свежей воды

Исследование динамики удельного потребления природных ресурсов на примере использования свежей воды также показывает рост экологической эффективности – удельное потребление природного ресурса снижается, но масштабы динамики менее значительные. В ПФО удельное потребление свежей воды немного уступает показателям по РФ в целом. В

УФО удельное потребление свежей воды еще меньше. Существенно больше удельное потребление свежей воды в СКФО – оно превышает общие показатели по РФ в отдельные годы в пять и более раз (рис. 3). В последнем случае это объясняется отраслевой специализацией большинства экономик регионов округа, например, в Республике Дагестан на долю сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства приходится в структуре ВРП около 20 %, а на долю обрабатывающих производств всего 3,3 %. Поэтому в республике очень низкий объем потребления оборотной и повторно используемой воды – менее одного процента от потребления свежей воды.

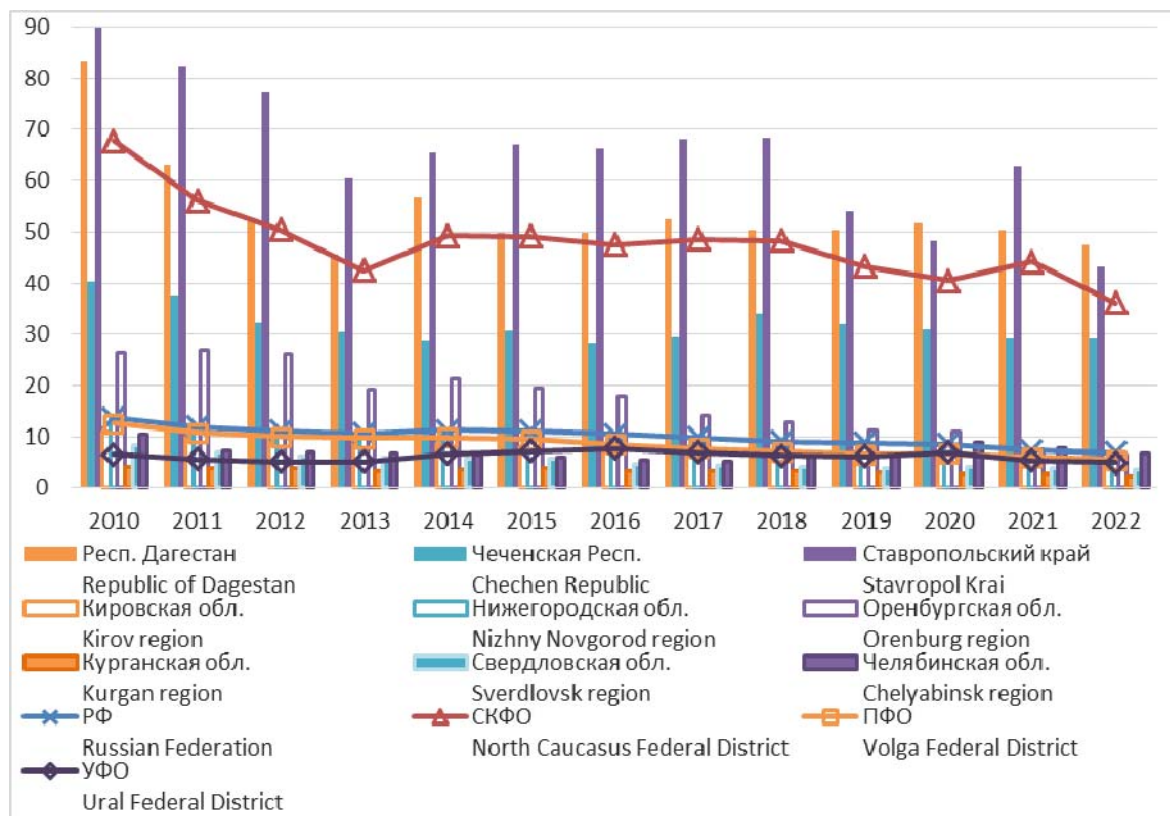


Рисунок 3. Удельное потребление свежей воды, куб. м
Figure 3. Specific consumption of fresh water, cubic metres

В целом по РФ долгосрочный положительный эффект декаплинга использования свежей воды устойчивый и составил 76,8 %. В ПФО он также устойчивый – 110,6 %, в СКФО эффект декаплинга малоустойчивый – 46,3 %, а в УФО – неустойчивый – 2,2 %. В исследуемых регионах наибольший устойчивый долгосрочный положительный эффект декаплинга относительно потребления свежей воды зафиксирован в Оренбургской области – 276,4 %, Нижегородской области – 127,1 % и в Свердловской области – 115,5 %. Наименьший и неустойчивый долгосрочный положительный эффект декаплинга – в Челябинской области (8,0 %), Чеченской Республике (21,1 %) и в Республике Дагестан (33,0 %).

Влияние «зеленых» инвестиций на экологическую эффективность экономики

Одним из источников реализации принципов «зеленой экономики» являются инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Исследования показали, что объем таких инвестиций относительно производимого в субъекте конечного продукта не превышает 0,5 %. Средний показатель таких инвестиций по РФ составил 0,216 % от ВВП, а оценка динамики инвестиций на душу населения в ФПК за 12 лет на основе экспоненциальной модели тренда показала неустойчивый рост на 10,8 %. В СКФО объем инвестиций на душу населения в два и более раз уступает показателям по ПФО, которые сопоставимы с показателями по РФ, а в УФО могут превышать показатели РФ до двух раз. Динамика таких инвестиций в исследуемых регионах неоднородная, в трех из них происходит снижение «зеленых» капиталовложений на треть и более, а если рост в субъектах и наблюдается, то он неустойчивый (рис. 4). Поэтому в явном виде нельзя утверждать, что наращивание «зеленых» инвестиций обеспечивает экологическую эффективность, в частности, в форме долгосрочного положительного эффекта декаплинга относительно рассматриваемых экологических факторов (табл. 2).

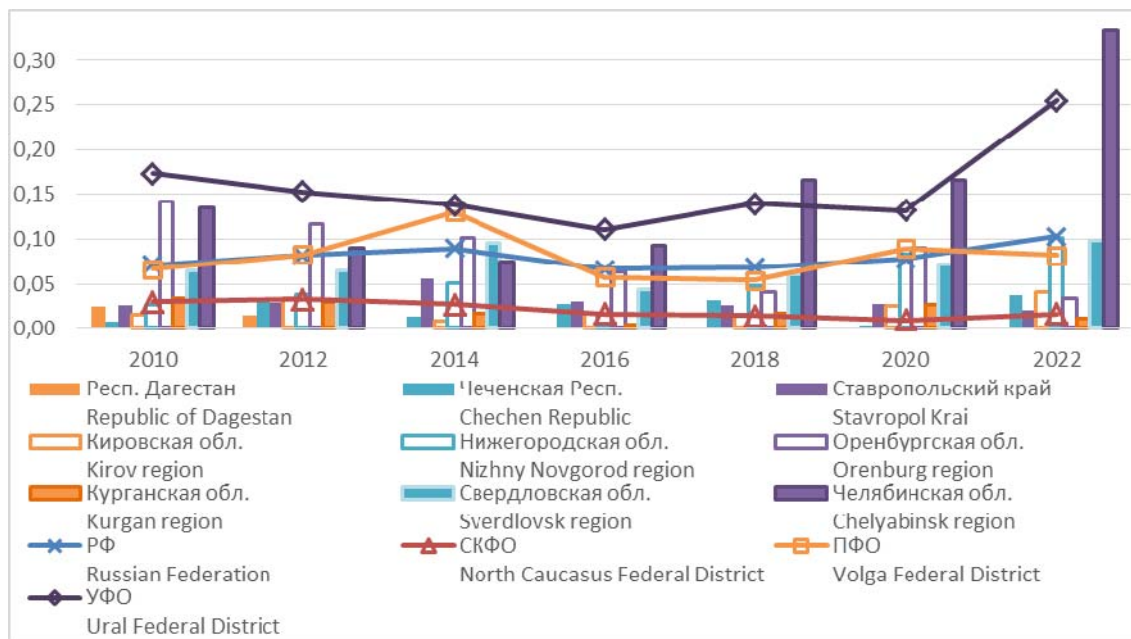


Рисунок 4. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на душу населения, фиксированных наборов потребительских товаров и услуг (ФПК)

Figure 4. Investments in fixed capital aimed at environmental protection and rational use of natural resources per capita, fixed sets of consumer goods and services

Таблица 2. Влияние «зеленых» инвестиций на долгосрочный декарблинг

Table 2. The Impact of green investments on long-term decoupling

Субъект Subject	Зеленые инвестиции Green investments			Долгосрочный декарблинг, % Long-term decoupling, %			
	Доля в ВРП, % Share in GRP, %	Прирост, % Growth, %	R^2	Выбросы оксида углерода Carbon monoxide emissions	Выбросы всего в атмосферный воздух Total emissions into the atmosphere	Сброс загрязненных сточных вод Discharge of contaminated wastewater	Использование свежей воды Using fresh water
РФ Russian Federation	0,216	10,8	0,064	62,8	116,4	106,4	76,8
Северо-Кавказский ФО North Caucasus Federal District	0,148	-69,8	0,773	-32,6	109,9	35,1	46,3
Респ. Дагестан Republic of Dagestan	0,039	-100,0	0,758	115,8	370,3	32,7	33,0
Чеченская Респ. Chechen Republic	0,229	-1,1	0,000	579,9	55,8	—	21,1
Ставропольский край Stavropol Region	0,185	-32,6	0,209	-59,5	74,2	43,6	66,0
Приволжский ФО Volga Federal District	0,270	-8,6	0,012	60,1	105,3	107,0	110,6
Кировская обл. Kirov Region	0,111	62,6	0,131	9,3	62,2	170,3	78,8
Нижегородская обл. Nizhny Novgorod Region	0,168	191,5	0,463	12,3	164,0	119,9	127,1
Оренбургская обл. Orenburg Region	0,228	-69,3	0,677	134,4	122,5	73,8	276,4
Уральский ФО Ural Federal District	0,250	18,1	0,059	108,8	155,8	192,6	2,2
Курганская обл. Kurgan Region	0,106	-48,0	0,131	69,7	131,2	67,7	55,6
Свердловская обл. Sverdlovsk Region	0,202	17,5	0,052	48,7	139,4	105,9	115,5
Челябинская обл. Chelyabinsk Region	0,469	175,3	0,567	94,6	192,1	361,9	8,0

С целью оценки потенциала использования «зеленых» инвестиций для достижения принципов «зеленой» экономики был проведен корреляционный анализ влияния масштаба «зеленых» инвестиций и их долгосрочной динамики на экологическую эффективность в разрезе рассматриваемых экологических факторов. Данный анализ показал, что рост масштаба таких инвестиций и положительная динамика сильно коррелируют с долгосрочным положительным эффектом декарбонизации только относительно экологического фактора «сброс загрязненных сточных вод» – коэффициент корреляции составил 0,80 и 0,75 соответственно. В частности, на основе этого и табл. 2 можно сделать вывод: обеспечение долгосрочного положительного эффекта декарбонизации более 100 % относительно экологического фактора «сброс загрязненных сточных вод» (т.е. снижение удельных сбросов вдвое и более) связано с ростом «зеленых» инвестиций в долгосрочном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценкой реализации принципов «зеленой» экономики на уровне субъектов РФ может выступать показатель экологической эффективности. Одной из форм проявления экологической эффективности выступает снижение удельных загрязнений окружающей среды или снижение удельного потребления природного ресурса, т.е. на единицу выпуска конечного продукта в регионе. При использовании в качестве единицы выпуска стоимостного эквивалента в форме фиксированного набора потребительских товаров и услуг в регионе получается показатель экологической эффективности, который позволяет корректно сопоставлять экологичность экономик различных регионов, а также их изменения в динамике. Относительное снижение такого показателя также является показателем декарбонизации экологического фактора, а эконометрическая модель показателя экологической эффективности в форме экспоненциального тренда дает инструмент для оценивания долгосрочного положительного эффекта декарбонизации и его устойчивости.

В исследуемых регионах России в целом проявляется долгосрочный положительный эффект декарбонизации, при этом он может носить устойчивый, слабо устойчивый и неустойчивый характер. В других случаях может наблюдаться снижение экологической эффективности. Поэтому на фоне роста региональных экономик может значительно ухудшаться экологическая обстановка по отдельным факторам, например, выбросы оксида углерода в атмосферный воздух. Повышению экологической эффективности могут способствовать инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Данные меры часто подвержены влиянию внешних шоков и не носят долгосрочный и устойчивый характер. Поэтому для достижения целей «зеленой» экономики нужны комплексные решения, обеспечивающие устойчивый приток «зеленых» инвестиций в регионы с учетом их региональной структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каранина Е.В., Караулов В.М., Картавы К.Е. Концептуальный подход к диагностике эколого-экономической безопасности региона // Теоретическая и

- прикладная экология. 2022. N 4. С. 214–223. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-214-223>
2. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Гаджиев А.Н. Роль и значение экологической безопасности в системе обеспечения экономической безопасности государства // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 3. С. 200–214. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
3. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. URL: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/> (дата обращения: 15.01.2025)
4. Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Поташева О.В. Особенности развития российских регионов и экологическая кривая Кузнецова // Региональная экономика. Юг России. 2020. Т. 8. N 1. С. 155–167. <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2020.1.14>
5. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Рожкова Н.В., Сайпуллаев А.М. Современный зеленый курс России: проблемы и перспективы реализации // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3. С. 197–207. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-197-207>
6. Идиев Г.И., Ахмедова Л.Ш., Бекшокова П.А., Атаев З.В. Новая региональная промышленная политика и проблемы экологии // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 3. С. 161–169. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-161-169>
7. Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В., Коноваленко С.А. Проблемы развития циркулярной экономики как фактора устойчивого развития России // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 3. С. 155–164. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-155-164>
8. Горбунова О.И., Каницкая Л.В. Развитие методов оценки эко-эффективности как основное требование реализации принципов «зеленой экономики» // Вопросы инновационной экономики. 2019. Т. 9. N 2. С. 419–434. <https://doi.org/10.18334/vinec.9.2.40609>
9. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. 686 с.
10. Аникина И. Д., Аникин А.А. Оценка эффекта декарбонизации на примере регионов ЮФО // Региональная экономика. Юг России. 2019. Т. 7. N 4. С. 138–147.
11. Караулова Л.В., Караулов В.М. Статистический анализ влияния экономического развития на окружающую среду и состояния социальной сферы в регионах ПФО // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. N 12. Т. 3. С. 59–69. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.12.03.007>
12. Караулов В.М., Караулова Л.В., Пугач В.Н., Каранина Е.В. Экологическая эффективность экономики как основа устойчивого развития региона // Теоретическая и прикладная экология. 2024. N 4. С. 211–224. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-211-224>
13. Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 // Transport Policy. 2005. V. 12. P. 137–151.

REFERENCES

1. Karanina E.V., Karaulov V.M., Kartavykh K.E. Conceptual approach to diagnosing the ecological and economic security of the region. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 4, pp. 214–223 (In Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-214-223>
2. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Gadzhiev A.N. The role and significance of environmental safety in the system of ensuring the state's economic security. *South of*

- Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 200–214. (In Russian)
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
3. Rezolyutsiya, prinyataya General'noi Assambleei 25 sentyabrya 2015 goda. *Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnya v oblasti ustoichivogo razvitiya na period do 2030 goda* [Resolution adopted by the UNO General Assembly on 25 September 2015. The transformation of our world: the agenda for sustainable development for the period up to 2030]. Available at:
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda> (In Russian) (accessed 15.01.2025)
4. Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Potasheva O.V. Development Specificity of Russian Regions and the Environmental Kuznets Curve. *Regional Economy. South of Russia*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 155–167. (In Russian).
<https://doi.org/10.15688/re.volsu.2020.1.14>
5. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Rozhkova N.V., Saipullaev A.M. The modern green course of Russia: problems and prospects of implementation. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 197–207. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-197-207>
6. Idziev G.I., Akhmedova L.Sh., Bekshokova P.A., Ataev Z.V. New regional industrial policy and environmental problems. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 161–169. (In Russian).
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-161-169>
7. Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V., Konovalenko S.A. Problems of development of the circular economy as a factor in Russia's sustainable development. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 155–164. (In Russian)
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-155-164>
8. Gorbunova O.I., Kanitskaya L.V. Development of methods for assessing eco-efficiency as the main requirement for the implementation of the principles of the “green economy”. *Issues of innovative economics*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 419–434 (In Russian). <https://doi.org/10.18334/vinec.9.2.40609>
9. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2022 godu. *Gosudarstvennyi doklad* [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2022. State report]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University Publ., 2023, 686 p. (In Russian)
10. Anikina I.D., Anikin A.A. Evaluation of the decoupling effect on the example of the regions of the Southern Federal District. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional Economy. South of Russia]. 2019, vol. 7, no. 4, pp. 138–147. (In Russian)
11. Karaulova L.V., Karaulov V.M. Statistical analysis of the impact of economic development on the environment and the state of the social sphere in the regions of the Volga Federal District. *Economy and management: problems, solutions*, 2023, no. 12, vol. 3, pp. 59–69. (In Russian).
<https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.12.03.007>
12. Karaulov V.M., Karaulova L.V., Pugach V.N., Karanina E.V. Eco-efficiency as the basis for sustainability development of the region. *Theoretical and Applied Ecology*, 2024, no. 4, pp. 211–224. (In Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-211-224>
13. Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*. 2005, vol. 12, pp. 137–151.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Василий М. Караулов подготовил аналитический обзор, обосновал и оценил индикаторы экологической эффективности на основе открытых данных по субъектам РФ за период 2010–2022 гг., экономико-математических и статистических методов. Елена В. Каранина определила структурные параметры исследования, представила обзор теоретических концепций, определила критерии выбора данных для формирования параметров эколого-экономического развития и их диагностики в разрезе регионов РФ. Назирхан Г. Гаджиев подготовил и обобщил информацию для исследования, проанализировал некоторые проблемы экологической эффективности развития субъектов РФ, подготовил выводы. 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

Vasily M. Karaulov undertook analytical review and assessment of environmental efficiency indicators based on open data on the constituent entities of the Russian Federation for the period 2010–2022 using economic, mathematical and statistical methods. Elena V. Karanina defined structural parameters of the study, review of theoretical concepts, definition of criteria for selecting data for the formation of parameters of ecological and economic development and their diagnostics in the context of regions of the Russian Federation. Nazirkhan G. Gadzhiev prepared and summarised information for the study, undertook analysis of some problems of environmental efficiency of development of the subjects of the Russian Federation and preparation of conclusions. 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

Василий М. Караулов / Vasily M. Karaulov <https://orcid.org/0000-0002-9599-3740>

Елена В. Каранина / Elena V. Karanina <https://orcid.org/0000-0002-5439-5912>

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 616.65-0.22.2-007.61-08:615.281:574.24-053.9

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-16

Статья публикуется в авторской редакции / The article is published in author's edition



Эколого-эпидемиологические аспекты антибактериальной терапии пациентов старшей возрастной группы с хроническим бактериальным простатитом, ассоциированным с гиперплазией простаты

Хаджимурад Н. Джалилов¹, Зиёратшо А. Кадыров², Салидат М. Омарова¹, Тамара В. Царуева¹, Альбина Н. Джалилова¹, Динара Н. Джалилова¹, Умият А. Магомедова¹

¹Дагестанский государственный медицинский университет Минздрава России, Махачкала, Россия

²Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия

Контактное лицо

Хаджимурад Н. Джалилов, врач уролог-андролог, ФГБОУ ВО ДГМУ; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Ленина, 1.

Тел. +79285672423

Email chikago1976@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0008-6451-2570>

Формат цитирования

Джалилов Х.Н., Кадыров З.А., Омарова С.М., Царуева Т.В., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н., Магомедова У.А. Эколого-эпидемиологические аспекты антибактериальной терапии пациентов старшей возрастной группы с хроническим бактериальным простатитом, ассоциированным с гиперплазией простаты // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 195-202. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-16

Получена 25 января 2025 г.

Прошла рецензирование 17 апреля 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: изучение медико-экологической безопасности антибактериальной терапии инфекций нижних выводящих путей (НМВП), являющейся одним из важных компонентов сдерживания антибиотикорезистентности микробиоты на глобальном и локальном уровнях. При издании клинических рекомендаций по лечению инфекционно-воспалительных заболеваний урогенитального тракта эксперты должны принимать во внимание следующие факторы обоснования режимов антибактериальной терапии: а) фармакокинетику, б) природную активность антибиотика в отношении актуальных уропатогенов и их уровень приобретенной резистентности в регионе, в) экологическую безопасность, учитывая осложнения антибактериальной терапии.

Нами проведена антибактериальная терапия 102 пациентов старшей возрастной группы (средний возраст $70,5 \pm 2,5$ года) с хроническим бактериальным простатитом. Пациенты были разделены на две группы: основная и группа сравнения. Больные основной группы получали фторхинолон левофлоксацин, а пациентов группы сравнения лечили антибиотиками стандартной терапии.

В результате проведенной терапии установлено, что экологически неблагоприятные эффекты с селекцией устойчивых штаммов микроорганизмов отмечены у пациентов группы сравнения, длительно получавших эмпирическую терапию. Антибактериальная эффективность фторхинолонов значительно лучше и антибиотикорезистентность уропатогенов составляет около 16,5–18 %. Полученные результаты можно объяснить тем, что пациенты раньше не получали фторхинолоны, а антибиотикорезистентность обусловлена длительным применением антибактериальных препаратов, что повышает резистентность микроорганизмов и создают трудности в этиотропной терапии больных.

Ключевые слова

Инфекции мочевыводящих путей, пациенты, возрастная группа, хронический бактериальный простатит, антибиотикорезистентность, уропатогены, медико-экологическая безопасность антибиотиков.

Ecological and epidemiological aspects of antibacterial therapy of older patients with chronic bacterial prostatitis associated with prostatic hyperplasia

Khadzhimurad N. Dzhililov¹, Ziyoratsho A. Kadyrov², Salidat M. Omarova¹, Tamara V. Tsarueva¹, Albina N. Dzhililova², Dinara N. Dzhililova¹ and Umiyat A. Magomedova¹

¹Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

²P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Principal contact

Khadzhimurad N. Dzhililov, urologist-andrologist, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia; 1, Lenina St., Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79285672423

Email chikago1976@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0008-6451-2570>

How to cite this article

Dzhililov Kh.N., Kadyrov Z.A., Omarova S.M., Tsarueva T.V., Dzhililova A.N., Dzhililova D.N., Magomedova U.A. Ecological and epidemiological aspects of antibacterial therapy of older patients with chronic bacterial prostatitis associated with prostatic hyperplasia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):195-202. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-16

Received 25 January 2025

Revised 17 April 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. To study medical and environmental safety of antibacterial therapy of lower excretory tract infections (urinary tract infections), which is one of the important components of curbing antibiotic resistance of the microbiota at the global and local levels. When issuing clinical recommendations for the treatment of infectious and inflammatory diseases of the urogenital tract, experts should take into account the following factors justifying antibacterial therapy regimens: a) pharmacokinetics, b) the natural activity of the antibiotic against topical uropathogens and their level of acquired resistance in the region, c) environmental safety, taking into account the complications of antibacterial therapy.

We performed antibacterial therapy in 102 patients of the older age group (average age 70.5 ± 2.5 years) with chronic bacterial prostatitis. The patients were divided into two groups: the main group and the comparison group. Patients in the main group received fluoroquinolone levofloxacin, while patients in the comparison group were treated with standard antibiotics.

As a result of the therapy, it was found that environmentally unfavorable effects with the selection of resistant strains of microorganisms were noted in patients of the comparison group who had received empirical therapy for a long time. The antibacterial efficacy of fluoroquinolones was found to be significantly better and the antibiotic resistance of uropathogens was found to be about 16.5–18 %.

The results obtained can be explained by the facts that patients had not received fluoroquinolones before and that antibiotic resistance is due to prolonged use of antibacterial drugs: this increases the resistance of microorganisms and creates difficulties in etiotropic therapy of patients.

Key Words

Urinary tract infections, patients, age group, chronic bacterial prostatitis, antibiotic resistance, uropathogens, medical and environmental safety of antibiotics.

ВВЕДЕНИЕ

Цель: изучение медико-экологической безопасности и эколого-эпидемиологических особенностей антибактериальной терапии инфекционно-воспалительных заболеваний мочеполовой системы урогенитального тракта пациентов старшей возрастной группы. Учитывая актуальность проблемы антибиотикорезистентности условно-патогенной микрофлоры (УПМ) – возбудителей заболеваний мочеполовой системы, нами в исследовании поставлены следующие задачи:

1. Изучение антибактериальной терапии пациентов старшей возрастной группы с рецидивирующим хроническим бактериальным простатитом, ассоциированным с гиперплазией простаты.
2. Определение спектра и антибиотикорезистентности микрофлоры биоматериала наблюдаемых нами пациентов с инфекционно-воспалительным заболеванием предстательной железы.
3. Сравнительный анализ показателей антибиотикорезистентности в зависимости от использованных схем лечения.

Одним из самых распространенных проявлений бактериальных инфекций в урологии являются заболевания мочевыделительной системы и в мире ежегодно ими болеют около 150 млн. человек [1]. Данные литературы по эпидемиологии хронического бактериального простатита (ХБП) весьма противоречивы. Эпидемиологическое исследование UREPIC, проведенное в 4-х странах (Франция, Англия, Голландия, Южная Корея) выявило один из клинических симптомов хронического простатита (ХП) у 35 % обследованных мужчин. Эпидемиологические исследования, проведенные до 2010 г. установили, что ведущим возбудителем ИМБП является *Escherichia coli* (по образному выражению «Королева бактерий») [2]. В большом многоцентровом исследовании RESOURCE, проведенном в 2017 г. в России с охватом практически всех регионов страны была изучена этиологическая структура ИМБП у 84 318 больных с выделением 41 510 штаммов уропатогенов [2]. До настоящего времени частота заболеваемости ХП, ассоциированного с гиперплазией простаты не установлена.

Простатит – частая инфекция мочеполовой системы (ИМПС) и до 30 % мужчин в возрасте 80 лет переносят воспаление предстательной железы (ПЖ). В общей популяции населения простатит составляет 9 %, а везикулит, эпидимит и сексуальная дисфункция, как осложнения ХП, наблюдаются у 7–36 % пациентов.

В развитых странах ХП, ассоциированный с гиперплазией простаты, диагностируется у 15 % пациентов. Результаты эпидемиологического исследования в Великобритании демонстрируют возрастание прогрессирования доброкачественной гиперплазии предстательной железы (ДГПЖ) и связанные с ней симптомы нижних мочевыводящих путей (СНМП) регистрируют у 2,5 % мужчин в возрасте 45 лет и 35 % – в возрасте 80 лет [3]. В амбулаторной урологии ХП находится в тройке лидеров по частоте посещаемости. Медико-социальная и экономическая значимость проблемы ХП, сочетанного с ДГПЖ, обусловлены тем, что по влиянию на качество жизни он сопоставим с сахарным диабетом, болезнью Крона, стенокардией, инфарктом миокарда [4]. В лечении ИМПС

существенную роль играют антибактериальные препараты. Прорывом в медицине, стало создание антибиотиков, что позволило спасти множество человеческих жизней. С возникновением проблемы антибиотикорезистентности, экологическим аспектом, представляющим затруднения в антибактериальной терапии инфекционно-воспалительных заболеваний мочеполовой системы, стала экологическая безопасность антибактериальной терапии.

За последние 10–15 лет отмечается возрастание частоты ХП, ассоциированного с гиперплазией простаты, что объясняется с одной стороны совершенствованием методов диагностики заболевания, а с другой стороны воздействием на организм человека малоподвижного образа жизни, изменение экологической ситуации в регионе, иммунодефицитное состояние, психологические аспекты, оксидативный стресс, метаболический синдром и т. д.

Медико-экологическая безопасность антибактериальной терапии

Впервые в отечественных документах (резолуция Экспертного совета 2014 г. [5] и Евразийских рекомендациях 2016 г. [6] отмечено, что в амбулаторной практике применение антибиотиков должно быть рациональным.

В этих документах указано на возможные экологически неблагоприятные последствия антибиотикотерапии, которые надо учитывать при создании рекомендаций по выбору антибиотиков для лечения различных инфекций наряду с природной антимикробной активностью и показателями антибиотикорезистентности.

Возможные экологически неблагоприятные последствия антибактериальной терапии приведены на рисунке 1.

Следует отметить что полирезистентность возбудителей становится все более масштабной проблемой, особенно после пандемии COVID-19 [5]. ВОЗ озабочена ростом антибиотикорезистентности ввиду того, что неспецифические инфекционные заболевания становится лечить труднее [7].

В разных странах мира, включая и Россию, в последнее десятилетие глобальное распространение получили устойчивые к карбопенемам представители семейства Enterobacteriaceae. Эксперты Центров США по контролю и профилактике заболеваний (СДС) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) единогласны в оценке распространения карбопенеморезистентных грамотрицательных бактерий при нозокомиальных инфекциях как серьезной угрозы, поскольку выбор антибиотиков для лечения нозокомиальных инфекций крайне ограничен.

Ранняя микробиологическая диагностика с использованием классического культурального метода исследования, методов амплификации нуклеиновых кислот (МАНК), ПЦР и экспресс-тестов приобретает при нозокомиальных инфекциях ключевое значение. Наиболее частыми возбудителями нозокомиальных инфекций в России на протяжении последних лет являются представители семейства Enterobacteriaceae – *Escherichia coli* и *Klebsiella* spp. [8].

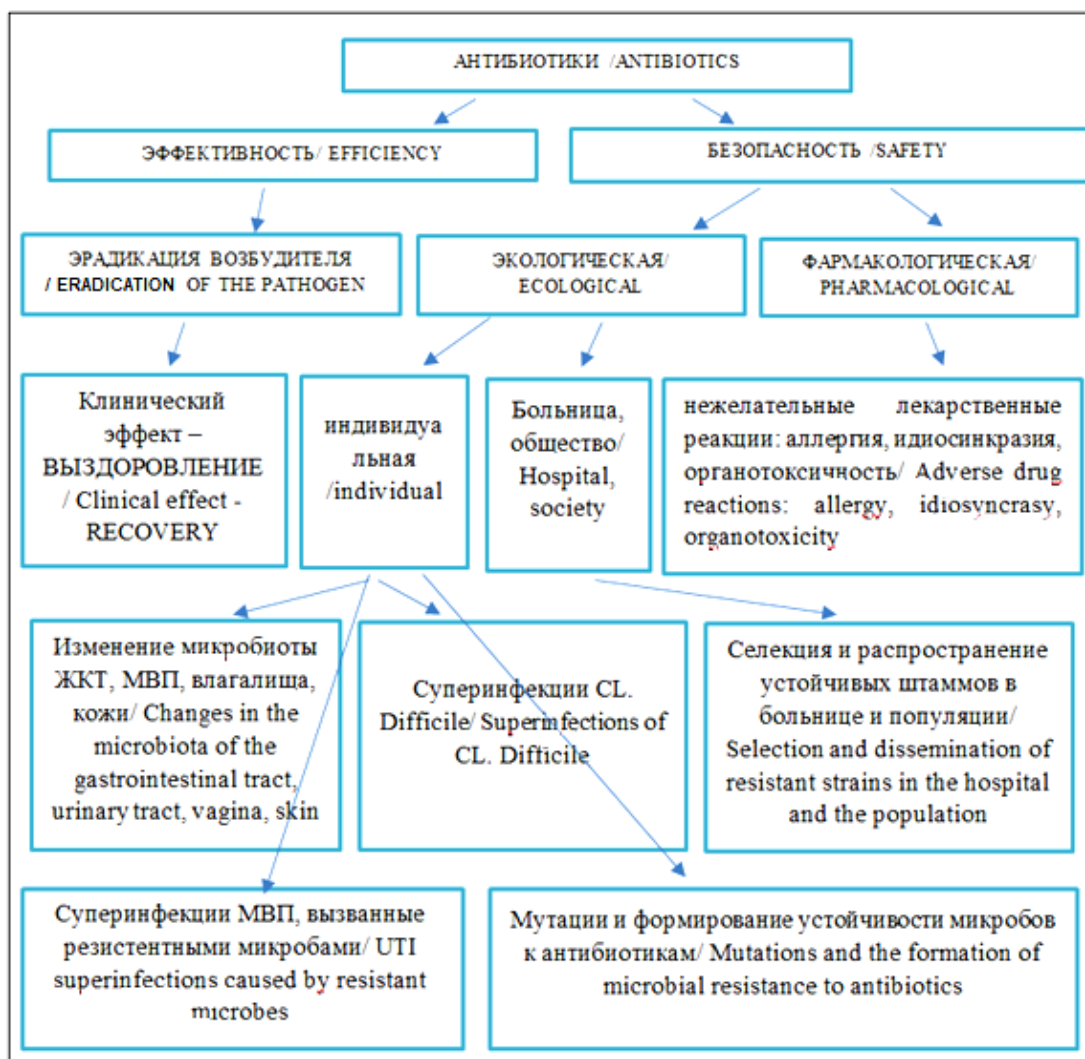


Рисунок 1. Эффективность и безопасность антибиотикотерапии на примере инфекций мочевыводящих путей [5]
Figure 1. Efficacy and safety of antibiotic therapy using the example of urinary tract infections [5]

При внебольничных инфекциях основной клинически значимой проблемой является сохраняющийся высокий уровень устойчивости к цефалоспорином у наиболее частого возбудителя *E. coli* (>30 %), а также у *K. pneumoniae* (>50 %).

Крайне высокая частота резистентности к современным цефалоспорином у *K. pneumoniae* (>80 %) и *E. coli* (>60 %), исключает возможность их эмпирического применения для лечения серьезных нозокомиальных инфекций, вызванных данной группой бактерий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено с участием 102 пациентов старшей возрастной группы (средний возраст 70,5±2,5 года) с рецидивирующим хроническим бактериальным простатитом, ассоциированным с гиперплазией предстательной железы (ПЖ).

Критерии включения в исследование: пожилой и старческий возраст, наличие не менее двух обострений хронического бактериального простатита (ХБП) до 6 мес. Или трех за год, бактериурия по результатам бактериологического исследования 3-ей порции утренней мочи, отсутствие антибактериальной терапии на момент включения в исследование.

Критерии не включения в исследование: тяжелая соматическая патология, аллергические реакции или индивидуальная непереносимость используемых препаратов.

Все пациенты были рандомизированы на две группы по 51 человек. Первую группу составили больные, получавшую стандартную антибактериальную терапию с учетом выявленного уропатогена и его чувствительности к антибактериальным препаратам. Во вторую группу вошли пациенты, которым были назначены фторхинолоны (левофлоксацин и ципрофлоксацин) согласно рекомендациям ЕАИ.

Лабораторные исследования включили общий анализ мочи, бактериологическое исследование проб мочи с посевом на дифференциально-диагностические среды и отечественную селективную среду «Хромагар». Чувствительность выделенной культуры к антибактериальным препаратам проводили диско-диффузионным методом.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы MS Excel 11.0 из стандартного пакета MS Office, 2013, а также программного обеспечения IBM SPSS Statistics, 21.0. При проверке статистических гипотез применяли методы параметрической (t-test Стьюдента) статистики. Для оценки статистической значимости выявленных

различий между средними значениями выборы рассчитывали параметр З; вероятность справедливости нулевой гипотезы была принята равной 5 % ($P < 0,05$).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В обследованном авторами пансионате для престарелых наиболее частым патогеном, выделенным из мочи, был *Pseudomonas* spp. Процент выделения синегнойной палочки составил 58,7 %. В 12 случаях ХП выселили *Pseudomonas* spp. в ассоциации с другими условно-патогенными микроорганизмами. В последние годы ситуация с чувствительностью синегнойной палочки к антибактериальным препаратам является довольно сложной. Основным антисинегнойным антибиотиком в данный период является цефтазидим, резистентность к нему составила 36,7 %, а к амикацину – 38,2 %, к ципрофлоксацину и левофлоксацину – 10,6 % и 12,8 % соответственно. Вероятно, такая низкая резистентность к фторхинолонам у пациентов дома престарелых связана с тем, что эти антибиотики пока не вошли в широкую практику для лечения и профилактики УГИ в пансионате для престарелых.

К препаратам наибольшей активности в отношении протестированных штаммов *Pseudomonas aeruginosa* относятся фторхинолоны левофлоксацин, ципрофлоксацин и фосфомицин (чувствительность соответственно 92,3 %; 90,1 % и 86,5 %).

Данные проведенного исследования у пациентов дома престарелых свидетельствуют о высоком уровне резистентности протестированных штаммов к различным группам антибактериальных препаратов, что является серьезной проблемой в стационаре для лиц пожилого возраста и старше.

Таким образом, по результатам определения чувствительности уропатогенов к антибиотикам установлено, что отмечаются необъяснимые всплески резистентности – неуклонный рост устойчивости почти ко всем антибактериальным препаратам. Так, резистентность выделенной микробиоты к цефалоспорином II-го поколения увеличилась в 3,5 раза, а к амоксицилину – в 8 раз, к гентамицину – в 6 раз, фосфомицину – 1,5–2 раза, а к фторхинолонам III-го поколения – в 1,5 раза.

Нами выявлен высокий процент гентамициноустойчивых штаммов грамотрицательных бактерий (58,7 %) в 3-ей порции утренней мочи пациентов дома престарелых.

На рисунках 2 и 3 представлены чувствительность и высеваемость *E. coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, выделенных из микробиоты мочи пациентов дома престарелых (г. Махачкала, Республика Дагестан) к гентамицину (антибиотик, часто используемый у пациентов дома престарелых для лечения заболеваний мочеполовой системы).

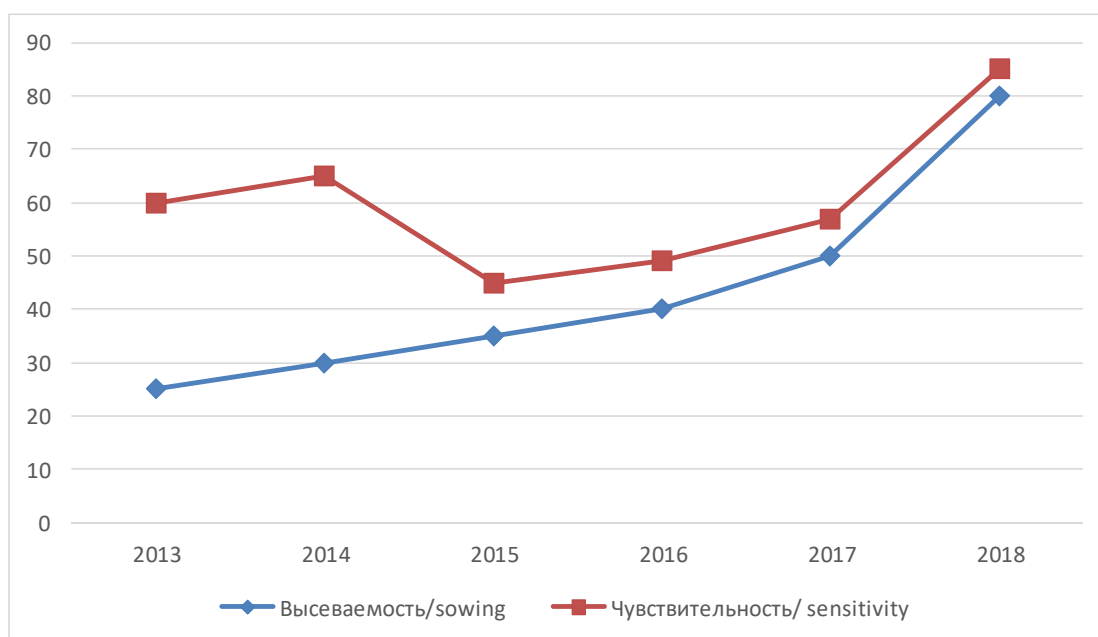


Рисунок 2. Динамика высеваемости и чувствительности к гентамицину *Pseudomonas aeruginosa*
Figure 2. Dynamics of seeding and sensitivity to gentamicin *Pseudomonas aeruginosa*

Динамика распространения резистентности микробиоты, выделенной из мочи, различная – отмечаются всплески резистентности по годам. Если в 2012 г. резистентность *E. coli* к антибактериальным препаратам была 65,3 %, то в 2022 г. – 70,1 %, такая же картина отмечается у всех выделенных штаммов возбудителей.

Экологически неблагоприятные последствия применения антибиотиков включают:

- изменение микробиоты ЖКТ, нижних МВП, влагалища, кожи;
- мутации микроорганизмов с формированием устойчивости к антибиотикам, селекция антибиотикорезистентных штаммов бактерий;
- развитие суперинфекции, вызванной *Clotridium difficile* (антибиотикоассоциированная диарея и псевдомембранозный колит);
- развитие суперинфекции, вызванной полирезистентными штаммами микроорганизмов.

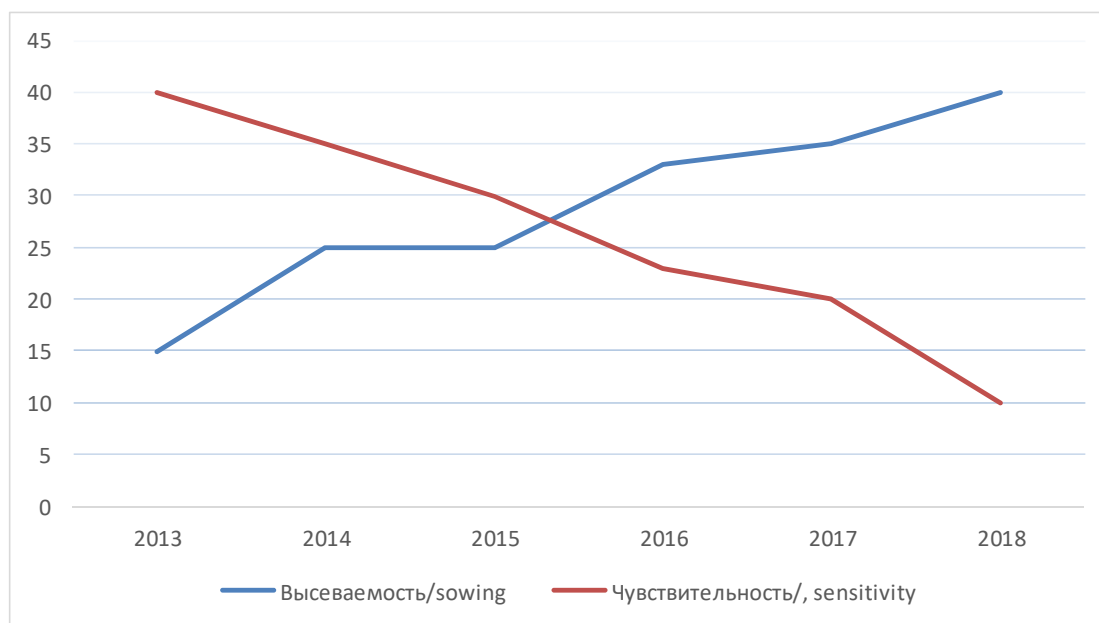


Рисунок 3. Динамика высеваемости и чувствительности *E. coli* к гентамицину у пациентов дома престарелых (г. Махачкала, Республика Дагестан)

Figure 3. Dynamics of *E. coli* seeding and sensitivity to gentamicin in patients of a nursing home (Makhachkala, Republic of Dagestan)

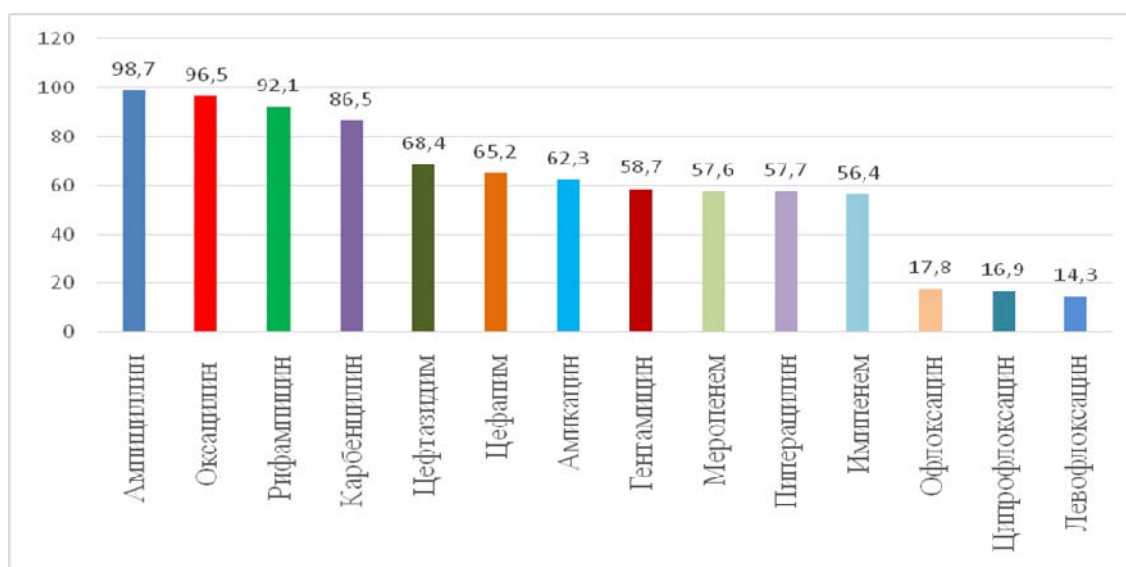


Рисунок 4. Резистентность к антибиотикам (в %) штаммов *Pseudomonas aeruginosa*, выделенных из мочи пациентов пожилого и старческого возраста с ХБП (n=62) пациенты пансионата для престарелых г. Махачкала РД

Примечание: Название лекарственных препаратов на оси абсцисс (слева направо): Ampicillin, oxacillin, rifampicin, carbenicillin, ceftazidime, cefepime, amikacin, gentamicin, meropenem, amikacin, piperacillin, imipenem, ofloxacin, ciprofloxacin, levofloxacin

Figure 4. Antibiotic resistance (in %) of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from the urine of elderly and senile patients with CKD (n=62) in a home for the elderly in Makhachkala RD

Note: The name of the drugs on the abscissa axis (from left to right): Ampicillin, oxacillin, rifampicin, carbenicillin, ceftazidime, cefepime, amikacin, gentamicin, meropenem, amikacin, piperacillin, imipenem, ofloxacin, ciprofloxacin, levofloxacin

Антибиотики – таргетные препараты, способные распознавать свою уникальную мишень в прокариотической клетке. Любой антибиотик обладает определенным секретом антимикробной активности, т.е. имеет средство к мишени, расположенной в разных микроорганизмах. При неосложненных инфекциях МВП основным целевым микробом является *Escherichia coli*, в которой имеется мишень для многих антибиотиков.

Для достижения экологической безопасности антимикробной терапии и минимизации риска, сопутствующего (параллельного) ущерба в урологии можно предложить следующие мероприятия:

- необоснованное и пролонгированное применение антибиотиков для лечения и профилактики инфекций ограничить;
- не лечить бессимптомную бактериурию (ББУ) (за исключением беременных женщин);

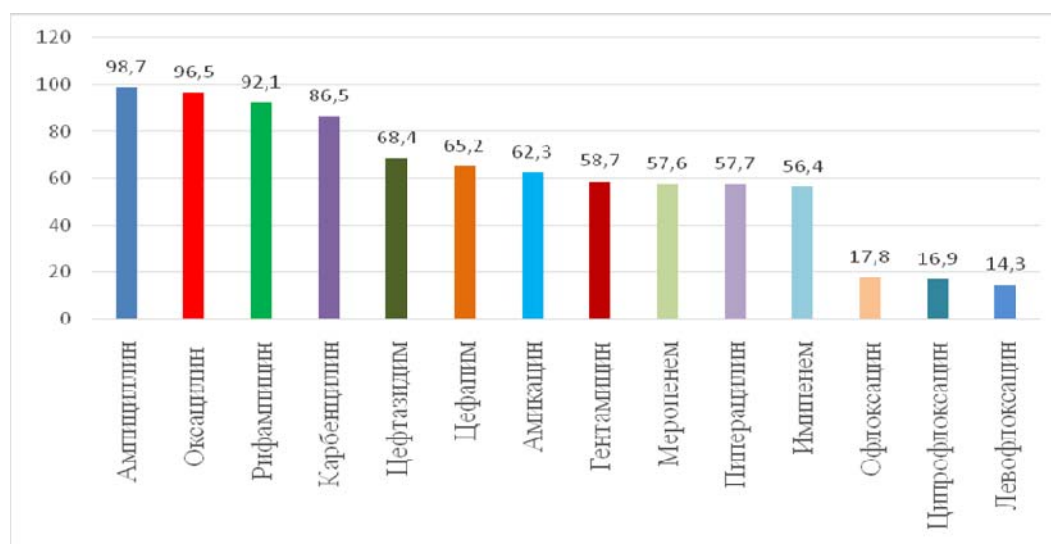


Рисунок 5. Резистентность к антибиотикам (в %) штаммов *E. coli*, (n = 102), выделенных из секрета предстательной железы пациентов пожилого и старческого возраста с ХБП

Примечание: Название лекарственных препаратов на оси абсцисс (слева направо): Ampicillin, oxacillin, rifampicin, carbenicillin, ceftazidime, ceftazidime, ceftazidime, amikacin, gentamicin, meropenem, amikacin, piperacillin, imipenem, ofloxacin, ciprofloxacin, levofloxacin

Figure 5. Antibiotic resistance (in %) of *E. coli* strains (n = 102) isolated from prostate secretions of elderly and senile patients with CKD

Note: The name of the drugs on the abscissa axis (from left to right): Ampicillin, oxacillin, rifampicin, carbenicillin, ceftazidime, ceftazidime, ceftazidime, amikacin, gentamicin, meropenem, amikacin, piperacillin, imipenem, ofloxacin, ciprofloxacin, levofloxacin

- не лечить катетер-ассоциированную бактериурию и лейкоцитурию в отсутствие симптомов инфекции МВП;

- исключить профилактические курсы антибиотиков при хронических и рецидивирующих инфекциях МВП. При необходимости для профилактики использовать неантибактериальные средства (лиофилизированный лизат штаммов *E. coli*, Д-манноза, клюква, фитопрепараты, вагинальная эстрогенозаместительная терапия в постменопаузе).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экологическая безопасность антибактериальной терапии является важным компонентом сдерживания антибиотикорезистентности на глобальном и локальном уровнях [1; 2]. Эксперты ВОЗ обращают внимание врачей на принцип минимальной достаточности при назначении антибиотика для снижения риска сопутствующего ущерба. В последнем документе ВОЗ приводятся три группы антибиотиков по приоритету выбора: ACCESS (приоритетный выбор – минимальный сопутствующий ущерб), WATCH (вторая линия, возможен сопутствующий ущерб), RESEVE (резерв в отсутствие другой альтернативы лечения) [10]. С целью стандартизации сбора данных в отношении антибактериальных препаратов в 2015г. ВОЗ запустила Глобальную систему эпиднадзора за устойчивостью к антимикробным препаратам. В настоящее время для совершенствования Глобальной системы эпиднадзора за резистентностью к антимикробным препаратам используют молекулярные методы диагностики антимикробной резистентности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ozturk R. Epidemiology of urological infections: a global burden // World Journal of Urology. 2020. V. 38. N 11. P. 2669–2679. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03071-4>

2. Аполихин О.И., Сивков А.В., Комарова В.А., Никушина А.А. Болезни предстательной железы в Российской Федерации: статистические данные 2008–2017 гг. // Экспериментальная и клиническая урология. 2019. N 2. С. 4–13. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2019-11-2-4-12>
3. Lokeshwar S.D., Jordan A., Harper B.T., Webb E., Neal D.E., Terris M.K. et al. Epidemiology and treatment modalities the management of benign prostatic hyperplasia // Transnational Andrology and urology. 2019. V. 8. N 5. P. 529–539. <https://doi.org/10.21037/tau.2019.10.01>
4. Khan F.U., Ihsan A.U., Khan H.U., Jana R. et al. Comprehensive of prostatitis: a systematic review // Bio Pharm. 2017. V. 94. P. 1064–1076. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.08.016>
5. Яковлев С.В., Сидоренко С.В. Рафальский В.В. Антибиотикорезистентность как угроза национальной безопасности: фокус на мероприятия в амбулаторно-поликлиническом звене здравоохранения. Резолюция // Справочник поликлинического врача. 2014. N 7. С. 60–63. URL: https://omnidocor.ru/library/izdaniya-dlya-vrachey/spravochnik-poliklinicheskogo-vracha/spv2014/spv2014_7/antibiotikorezistentnost-kak-ugroza-natsionalnoy-bezopasnosti-fokus-na-meropriyatiya-v-ambulatorno-p/ (дата обращения: 03.12.2024)
6. Стратегия предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 25 сентября 2017 года №2045-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/436775118> (дата обращения: 08.12.2024)
7. Rafalskiy V., Pushkar D., Yakovlev S., Epstein O., Putilovskiy M., Tarasov S., et al. Distribution and Antibiotic Resistance Profile of Key Gram-Negative Bacteria That Cause Community-Onset Urinary Tract Infections in the Russian Federation: RESOURCE Multicentre Surveillance 2017 Study // Journal of Global Antimicrobial Resistance. 2020. V. 21. P. 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2019.09.008>
8. Батурин В.А., Муравьева А.А., Ткачев А.В., Афанасьев Н.Е., Куницина Е.А. Нарастание резистентности к антибактериальным средствам в постковидный период в поликлинике и многопрофильном стационаре // Проблемы

стандартизации в здравоохранении. 2021. N 5-6. С. 50–54. <http://doi.org/10.26347/1607-2502202105-06050-054>

9. The World Health Organization (WHO).

<https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detal/antibiotic-resistance> (дата обращения: 03.01.2025)

10. Сухорукова М.В., Эйдельштейн М.В., Иванчик Н.В. и соавт. Антибиотикорезистентность нозокомиальных штаммов Enterobacterales в стационарах России: результаты многоцентрового эпидемиологического исследования марафон 2015–2016 // КМАХ. 2019. Т. 21. N 2. С. 147–159. <https://doi.org/10.36488/cmhc.2019.2.147-159>

REFERENCES

1. Ozturk R. Epidemiology of urological infections: a global burden. *World Journal of Urology*, 2020, vol. 38, no. 11, pp. 2669–2679. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03071-4>
2. Apolihin O.I., Komarova V.A., Nikushina A.A., Sivkov A.V. Prostate diseases in the Russian Federation: statistical data for 2008–2017. *Experimental and clinical urology*, 2015, no. 2, pp. 4–13. (In Russian) <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2019-11-2-4-12>
3. Lokeshwar S.D., Jordan A., Harper B.T., Webb E., Neal D.E., Terris M.K. et al. Epidemiology and treatment modalities the management of benign prostatic hyperplasia. *Transnational Andrology and urology*, 2019, vol. 8, no. 5, pp. 529–539. <https://doi.org/10.21037/tau.2019.10.01>
4. Khan F.U., Ihsan A.U., Khan H.U., Jana R. et al. Comprehensive of prostatitis: a systematic review. *Bio Pharm*, 2017, vol. 94, pp. 1064–1076. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.08.016>
5. Yakovlev S.V., Sidorenko S.V. Rafal'skii V.V. *Antibiotikorezistentnost' kak ugroza natsional'noi bezopasnosti: fokus na meropriyatiya v ambulatorno-poliklinicheskom zvene zdravookhraneniya. Rezolyutsiya. Spravochnik poliklinicheskogo vracha* [Antibiotic resistance as a threat to national security: focus on measures in outpatient health care. Resolution. Polyclinic doctor's Handbook]. 2014, no. 7, pp. 60–63. (In Russian) Available

at: https://omnidocor.ru/library/izdaniya-dlya-vrachey/spravochnik-poliklinicheskogo-vracha/spv2014/spv2014_7/antibiotikorezistentnost-kak-ugroza-natsionalnoy-bezopasnosti-fokus-na-meropriyatiya-v-ambulatorno-p/ (accessed 03.12.2024)

6. *Strategiya preduprezhdeniya rasprostraneniya antimikrobnai rezistentnosti v Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25 sentyabrya 2017 goda №2045-r* [The strategy for preventing the spread of antimicrobial resistance in the Russian Federation for the period up to 2030. Decree of the Government of the Russian Federation dated September 25, 2017 No. 2045-R]. (In Russian) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/436775118> (accessed 08.12.2024)
7. Rafalskiy V., Pushkar D., Yakovlev S., Epstein O., Putilovskiy M., Tarasov S., et al. Distribution and Antibiotic Resistance Profile of Key Gram-Negative Bacteria That Cause Community-Onset Urinary Tract Infections in the Russian Federation: RESOURCE Multicentre Surveillance 2017 Study. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 2020, vol. 21, pp. 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2019.09.008>
8. Baturin V.A., Muravyeva A.A., Tkachev A.V., Afanasyev N.E., Kunitsyna E.A. The increase in resistance to antibacterial agents in the post-covid-19 period in polyclinics and multidisciplinary hospitals. *Problems of standardization in healthcare*, 2021, no. 5-6, pp. 50–54. (In Russian) <http://doi.org/10.26347/1607-2502202105-06050-054>
9. The World Health Organization (WHO). Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detal/antibiotic-resistance> (accessed 03.01.2025)
10. Sukhorukova M.V., Eidelstein M.V., Ivanchik N.V. Et Al. Antimicrobial resistance of nosocomial enterobacterales isolates in russia results of multicenter epidemiological study marathon 2015–2016. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 147–159. (In Russian) <https://doi.org/10.36488/cmhc.2019.2.147-159>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Хаджимурад Н. Джалилов сформулировал идеи, собрал данные, написал текст статьи, проанализировал и проинтерпретировал результаты исследования, отредактировал текст. Зиёратшо А. Кадыров, Альбина Н. Джалилова, Динара Н. Джалилова и Тамара В. Царуева подготовили обзор литературных источников, разработали методику исследования, собрали данные, написали текст статьи, проанализировали и проинтерпретировали результаты исследования. Салидат М. Омарова, Умият А. Магомедова подготовили обзор литературных источников, обобщили данные, подготовили табличный материал. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Khadzhimurad N. Dzhaliyov formulated the idea, data collected the data, wrote the text of an article, analysed and interpreted research results and edited the scientific text edit. Ziyoratsho A. Kadyrov, Albina N. Dzhaliyova, Dinara N. Dzhaliyova and Tamara V. Tsarueva undertook review of literary sources, development of research methodology, data collection, writing of the text of the article, analysis and interpretation of research results. Salidat M. Omarova and Umiyat A. Magomedova undertook review of literary sources, summarized data and prepared tabular material. 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

Хаджимурад Н. Джалилов / Khadzhimurad N. Dzhaliyov <https://orcid.org/0009-0008-6451-2570>
 Зиёратшо А. Кадыров / Ziyoratsho A. Kadyrov <https://orcid.org/0000-0002-1108-8138>
 Салидат М. Омарова / Salidat M. Omarova <https://orcid.org/0000-0002-4034-0742>
 Тамара В. Царуева / Tamara V. Tsarueva <https://orcid.org/0000-0003-0700-2378>
 Альбина Н. Джалилова / Albina N. Dzhaliyova <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>
 Динара Н. Джалилова / Dinara N. Dzhaliyova <https://orcid.org/0000-0002-4754-6794>
 Умият А. Магомедова / Umiyat A. Magomedova <https://orcid.org/0000-0002-4939-2637>

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.06:677

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-17



Экологизация мышления студентов как фактор развития текстильной отрасли

Алина Р. Ибатуллина¹, Ирина В. Красина¹, Марина В. Антонова¹, Вероника В. Бронская¹,
Марина С. Кабыш²

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Алина Р. Ибатуллина, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии химических и натуральных волокон и изделий, Казанский национальный исследовательский технологический университет; 420015 Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68.

Тел. +79655898573

Email gaynutdinovaa@bk.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-2785-7629>

Формат цитирования

Ибатуллина А.Р., Красина И.В., Антонова М.В., Бронская В.В., Кабыш М.С. Экологизация мышления студентов как фактор развития текстильной отрасли // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 203-210.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-17

Получена 25 февраля 2025 г.

Прошла рецензирование 14 марта 2025 г.

Принята 28 апреля 2025 г.

Резюме

Цель: разработка и апробация учебных модулей, направленных на формирование экологического мышления у студентов текстильных специальностей, а также популяризация принципов «зеленых» технологий среди школьников и учащихся СПО.

В исследовании использованы методы анализа современных тенденций и зарубежного опыта в области устойчивого развития текстильной отрасли. Внедрение электронных курсов и проведение олимпиад для оценки уровня экологической грамотности школьников, студентов и обучающихся учреждений СПО. Педагогический эксперимент и анализ данных для оценки эффективности новых учебных программ. Опрос предприятий текстильной отрасли на тему устойчивого развития текстильной отрасли.

Статья посвящена экологизации образовательных программ для студентов текстильных специальностей. Рассматриваются современные подходы к формированию экологического мышления, анализируются эффективные педагогические методики и их потенциальное влияние на трансформацию текстильной промышленности. Особое внимание уделяется междисциплинарным образовательным практикам, сочетающим технические, экологические и социальные аспекты подготовки будущих специалистов. Разработаны и внедрены в учебный процесс бакалавров направления «Технологии и проектирование текстильных изделий» 4 образовательных модуля, отвечающих концепции устойчивого развития. Проведена межрегиональная олимпиада для школьников, студентов и обучающихся учреждений СПО. Разработан и внедрен электронный курс «Экологически безопасные химические технологии». Опубликовано статьи в сборниках конференций с участием студентов и школьников, что способствовало вовлечению молодежи в научную деятельность.

Реализация проекта подтвердила эффективность интеграции экологических модулей в учебные программы. У студентов и учащихся сформировалось осознанное отношение к устойчивому развитию текстильной отрасли.

Ключевые слова

Экологизация мышления, зеленый текстиль, устойчивое развитие, циркулярная экономика, учебные модули, экологическое образование, текстильная промышленность.

Greening of students' thinking as a factor in development of the textile industry

Alina R. Ibatullina¹, Irina V. Krasina¹, Marina V. Antonova¹, Veronika V. Bronskaya¹
and Marina S. Kabysh²

¹Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Alina R. Ibatullina, PhD, Associate Professor,
Department of Technology of Chemical and Natural
Fibres and Products, Kazan National Research
Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan,
Russia 420015.

Tel. +79655898573

Email gaynutdinovaa@bk.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-2785-7629>

How to cite this article

Ibatullina A.R., Krasina I.V., Antonova M.V.,
Bronskaya V.V., Kabysh M.S. Greening of students'
thinking as a factor in development of the textile
industry. *South of Russia: ecology, development*.
2025; 20(2):203-210. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-17

Received 25 February 2025

Revised 14 March 2025

Accepted 28 April 2025

Abstract

Aim. Development and testing of training modules aimed at developing environmental thinking in students of textile specialties, as well as popularising the principles of "green" technologies among schoolchildren and students of secondary vocational education.

The study used methods for analysing modern trends and foreign experience in the field of sustainable development of the textile industry. The introduction of electronic courses and holding Olympiads was employed to assess the level of environmental literacy of schoolchildren, students and students of secondary vocational education institutions. Pedagogical experimentation and data analysis was undertaken to assess the effectiveness of new curricula. A survey of textile industry enterprises on the topic of sustainable development of the textile industry was also undertaken.

The article is devoted to the greening of educational programs for students majoring in textiles. Modern approaches to developing environmental thinking are considered and effective teaching methods and their potential impact on the transformation of the textile industry are analysed. Particular attention is paid to interdisciplinary educational practices that combine technical, environmental and social aspects of the training of future specialists. Four educational modules that meet the concept of sustainable development have been developed and implemented at the bachelor's level in the field of "Technology and Design of Textile Products". An interregional Olympiad for schoolchildren, students and students of secondary vocational education institutions was held. An electronic course "Environmentally Safe Chemical Technologies" was developed and implemented. Articles were published in conference proceedings with the participation of students and schoolchildren, which contributed to the involvement of young people in scientific activities.

The implementation of the project confirmed the effectiveness of integrating environmental modules into curricula. Students and pupils have developed a conscious attitude to the sustainable development of the textile industry.

Key Words

Greening of thinking, green textiles, sustainable development, circular economy, training modules, environmental education, textile industry.

ВВЕДЕНИЕ

Текстильная промышленность является одной из наиболее ресурсоемких и экологически проблемных отраслей. По данным Европейского агентства по окружающей среде (ЕЕА), на ее долю приходится около 10 % глобальных выбросов CO₂ и 20 % загрязнения пресной воды. Современные тенденции устойчивого развития текстильной отрасли направлены на интеграцию экологических практик. В Евросоюзе план действий по развитию циркулярной экономики, устанавливающий комплекс мер, охватывающих весь жизненный цикл продукта: от производства и потребления до обращения с отходами и рынка вторичного сырья реализуется уже с 2015 года [1].

В России на достижение национальной цели «Экологическое благополучие», определенной Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина № 309 от 07.05.2024 г. направлен федеральный проект «Экономика замкнутого цикла». Одним из приоритетных направлений циркулярной экономики является обращение с отходами. Поэтому в рамках федерального проекта российские предприятия увеличивают долю переработки текстильных отходов. Развивается производство тканей и нетканых полотен из переработанных материалов, включая пластиковые бутылки и старые ткани. Например, в Ивановской области, в рамках регионального эко-кластера «Зеленая нить», открыто первое в России производство полного цикла из переработанного сырья. Производственный цикл включает в себя сбор сырья для переработки, прядение и выпуск готовой продукции [2].

Для реализации проектов в рамках устойчивого развития необходимы специалисты, обладающие следующими качествами: экологической осведомленностью, социальной ответственностью, системным мышлением, аналитическими способностями и др. В условиях перехода к устойчивым практикам текстильной промышленности ключевую роль играет подготовка нового поколения специалистов, обладающих экологическим мышлением и компетенциями в области «зеленых» технологий. Поэтому особая роль в реализации целей устойчивого развития отводится высшему образованию, которое рассматривается как основная движущая сила этого развития [3]. Университеты включают принципы устойчивого развития в учебные планы, устанавливают показатели и разрабатывают стандарты в этой области, формируют корпоративную культуру и осуществляют структурные изменения для достижения устойчивости [4]. Что касается текстильной отрасли, то экологические и другие современные вызовы также требуют пересмотра подходов к подготовке специалистов в этой области [5–8]. Проекты по редизайну учебных дисциплин, направленные на устойчивое развитие и экологическое воспитание входят в топ 5 самых популярных направлений среди ВУЗов РФ. Перед образовательными учреждениями стоит задача подготовки инженеров, способных внедрять «зеленые» технологии и минимизировать экологический след производства.

Целью данного исследования является разработка и апробация учебных модулей, направленных на формирование экологического мышления студентов текстильных специальностей.

Для достижения цели в рамках исследования реализовано несколько задач:

1. Анализ современных тенденций в области устойчивого развития текстильной промышленности, в том числе в сфере образования.

2. Выявление проблем и трудностей внедрения устойчивых практик в работу предприятий текстильной промышленности.

3. Разработка новых учебных материалов с учетом выявленных проблем на основе принципов зеленой химии и инженерии, концепции устойчивого развития и циркулярной экономики и введение их в дисциплины учебного плана бакалавров.

4. Внедрение интерактивных форм обучения, дополнительных методов контроля и мотивирующих мероприятий (электронные курсы, олимпиада, экскурсии, просветительские лекции, круглые столы) для повышения мотивации студентов и привлечения школьников к тематике устойчивого развития текстильной отрасли.

5. Оценка эффективности новых модулей через педагогический эксперимент и анализ данных об успеваемости студентов и их заинтересованности охраной окружающей среды и развитием безопасных химических технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для формирования обучающего материала и создания новых учебных модулей был проведен анализ современных экологических трендов в текстильной промышленности. В качестве основного источника для изучения опыта построения модели циркулярной экономики и безопасной для природы текстильной отрасли применялся нормативный документ «EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles». В исследовании использованы данные международных организаций (Textile Exchange, Ellen MacArthur Foundation). Особое внимание уделено следующим аспектам:

- переход на биоразлагаемые и перерабатываемые материалы.
- внедрение технологий замкнутого цикла (рециклинг, upcycling).
- снижение водопотребления и химической нагрузки в производстве.

Для правильного построения и редизайна учебных курсов проведен опрос представителей предприятий текстильной отрасли России о погруженности реального сектора экономики в экологическую тематику и о проблемах внедрения устойчивых практик в производство текстиля.

Разработаны и применены обучающие практики.

Для оценки эффективности новых учебных модулей реализован педагогический эксперимент.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях глобального усиления требований к устойчивому развитию текстильные предприятия сталкиваются с необходимостью снижения углеродного следа, внедрения циркулярной экономики и соблюдения новых экологических стандартов и норм. Однако переход на «зеленые» технологии требует значительных инвестиций и трансформации бизнес-процессов, что вызывает сопротивление у многих участников рынка. Для выявления проблем на пути внедрения устойчивых практик в работу предприятий

текстильной отрасли, проведен опрос представителей производственных организаций легкой промышленности.

Опрос призван решить следующие задачи.

1. Выявление барьеров, препятствующих внедрению устойчивых практик.
2. Оценка уровня осведомленности предприятий о современных экологических стандартах в России и мире.
3. Определение наиболее востребованных мер государственной поддержки, выявление потребности в нормативно-правовой и инфраструктурной поддержке.

4. Выявление недостатков в подготовке специалистов текстильной отрасли с точки зрения устойчивого развития.

В опросе приняли участие сотрудники руководящего звена предприятий РФ, специализирующиеся на выпуске суровых тканей, готовых хлопковых тканей и изделий, нетканых материалов, синтетических волокон, производстве пряжи для машинного и ручного вязания из различных типов волокон, трикотажных изделий, изготовлении швейных изделий и ковровой продукции. Результаты опроса представлены на рисунках 1–3.

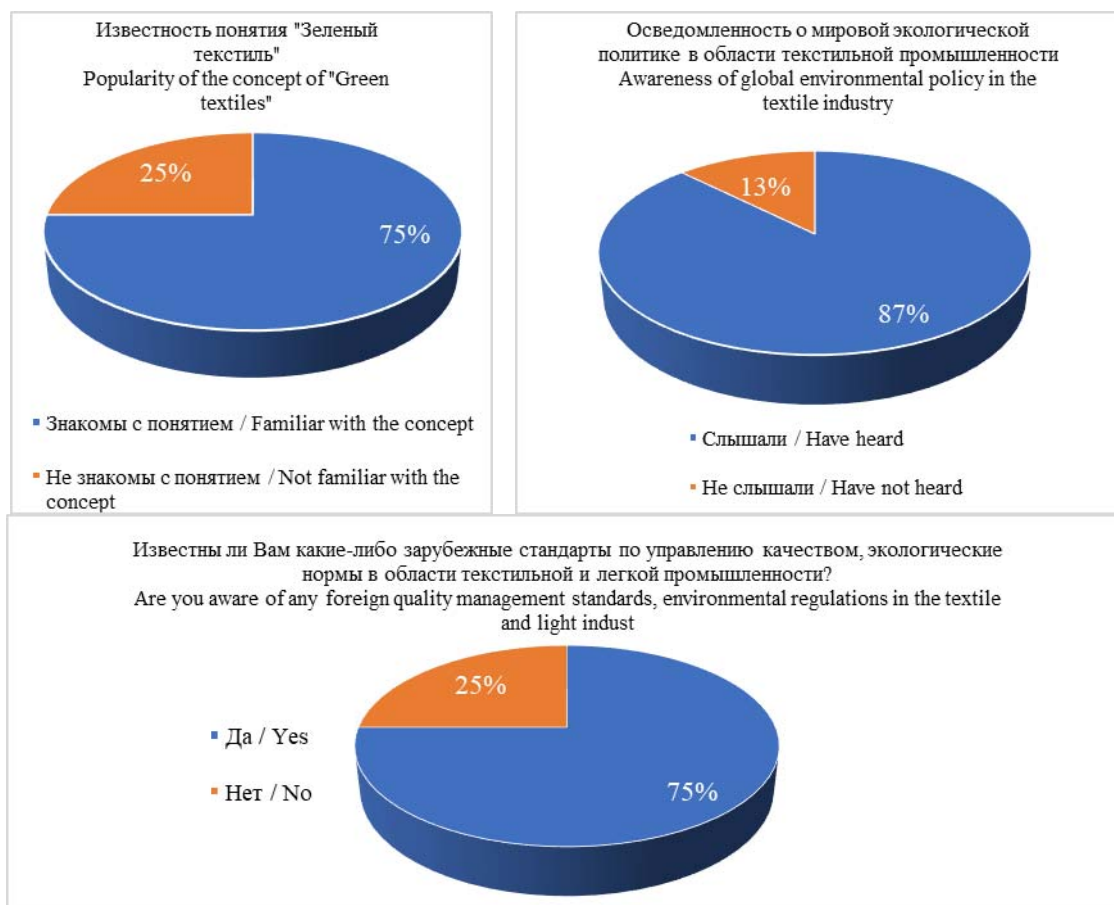


Рисунок 1. Результаты опроса об известности понятия «зеленый текстиль» и осведомленности в области зарубежного экологического законодательства и нормативного регулирования текстильной отрасли

Figure 1. Results of the survey on the awareness of the concept of “green textiles” and knowledge of foreign environmental legislation and regulatory framework for the textile industry

Согласно проведенному опросу среди сотрудников предприятий текстильной отрасли большинство респондентов знакомы с понятием «зеленый текстиль». Также преобладающее количество респондентов слышали о мировой экологической политике и стратегии в области текстильной промышленности и знакомы с некоторыми зарубежными стандартами по управлению качеством, экологическими нормами в области текстильной и легкой промышленности.

Анализируя данные опроса, можно уверенно сказать, что российские производители в большей степени знакомы с понятиями и нормами в области экологического законодательства и нормативного регулирования текстильной отрасли.

Однако более 60 % опрошенных считают, что в России не разрабатывается в достаточной мере направление экологически чистых текстильных волокон

и материалов. На вопрос о проработанности экологической политики в области текстильной и легкой промышленности в России 12,5 % респондентов ответили, что вопрос проработан хорошо, 37,5 % опрошенных дали ответ, что вопрос проработан в средней степени и 50 % опрошенных считают, что вопрос проработан недостаточно, о полной непроработанности вопроса не заявил ни один респондент.

Согласно полученным данным только 12 % опрошенных знают зарубежные текстильные предприятия с замкнутым жизненным циклом продукции, о предприятиях текстильной отрасли, соответствующих принципам циркулярной экономики в РФ знают 25 %, остальным 75 % опрошенных не известны текстильные предприятия России с замкнутым жизненным циклом продукции.

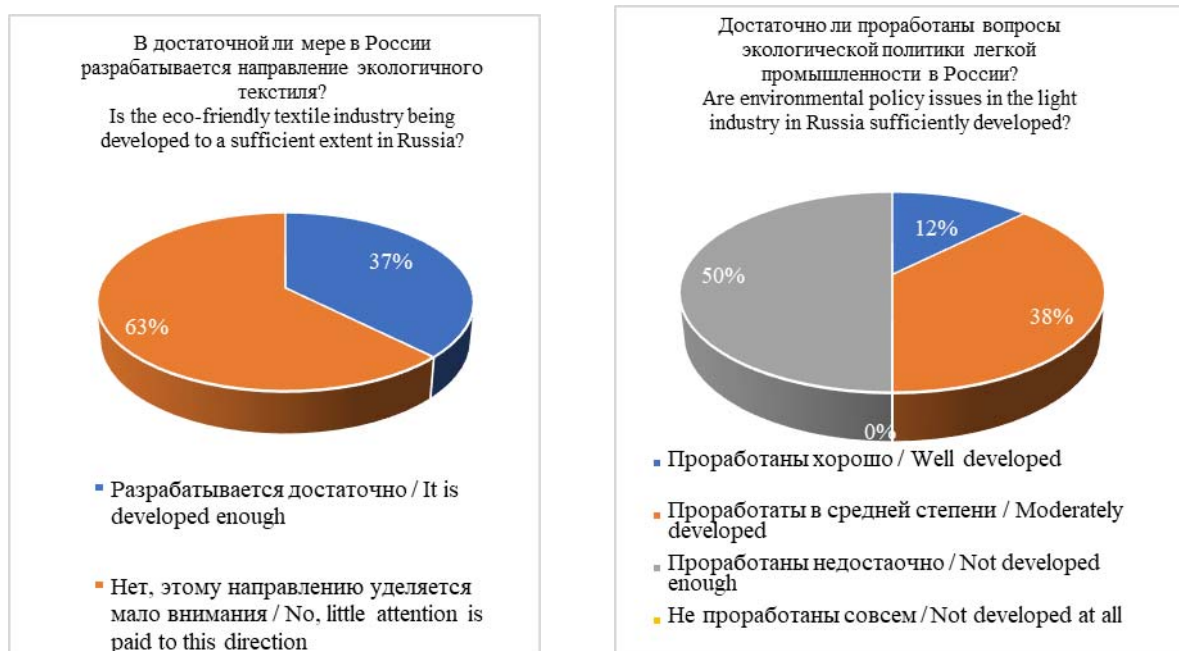


Рисунок 2. Результаты опроса о развитии направления экологичного текстиля и проработанности экологической политики РФ

Figure 2. Results of the survey on the development of the eco-friendly textiles direction and the elaboration of the environmental policy of the Russian Federation

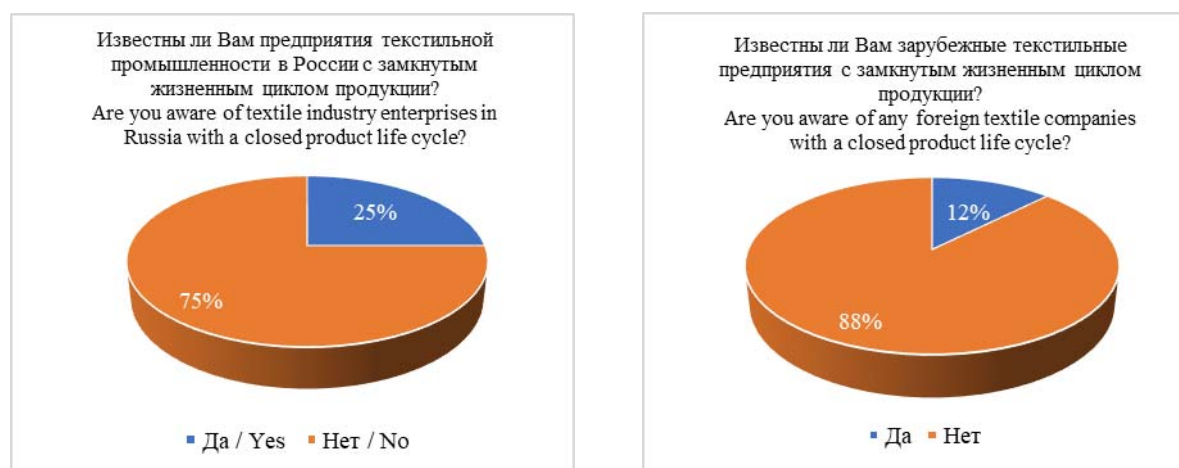


Рисунок 3. Результаты опроса об известности текстильных предприятий с замкнутым циклом продукции в России и за рубежом

Figure 3. Results of the survey on the awareness of textile enterprises with a closed production cycle in Russia and abroad

Важными результатами опроса является также часть, в которой представители реального сектора экономики могли высказать свои предложения в открытой форме. Эти вопросы касались методов поддержки текстильных предприятий со стороны государства и проблемах, встающих перед предприятиями при внедрении в работу устойчивых практик. Среди направлений деятельности органов государственной власти, способствующих внедрению и реализации «зеленых» технологий в сфере производства текстиля, респонденты отметили:

- субсидирование строительства системы очистки сточных вод отделочных производств;
- расширение и более тщательная проработка нормативной базы;
- создание максимально комфортных условий для внедрения экологических проектов на предприятия через создание эффективной системы сбора и подготовки к переработке вторичных ресурсов, возможность их свободного приобретения на рынке;

- снижение налогообложения в зависимости от степени вовлеченности в экологию и использования вторичных ресурсов;
- софинансирование экологических проектов на предприятиях;
- повышение экологического самосознания среди населения, его экологической грамотности и культуры (просветительская работа среди населения через соответствующие программы финансирования ответственных министерств и ведомств, а также СМИ по ответственному отношению к экологии, влияние ее на здоровье населения и устойчивое развитие, по раздельному сбору отходов и пр.);
- контроль условий труда с помощью введения сертификации производств;
- усиление внимания вторичной переработке и утилизации отходов текстильного производства;
- реализация государственной политики и экологических программ.

Также предложены следующие способы реализации зеленых технологий в легкой и текстильной промышленности:

1. Организация сбора и утилизации текстильной продукции, потерявшей потребительские свойства. Наладка системы приема в розничной торговле текстиля, пришедшего в негодность с помощью законодательных, экономических рычагов воздействия.
2. Полирециклинг.
3. Создание эффективных систем сбора отходов и их последующей переработки.
4. Развитие производства природных красителей (микроводоросли и др.).
5. Выращивание натуральных волокон: лен, крапива, органический хлопок.
6. Наладка производства регенерированного полиэфирного волокна.
7. Развитие овцеводства.
8. Повсеместное внедрение общих практик энергосбережения и уменьшения сбросов и выбросов.
9. Создание и развитие связей между фабриками и заводами по переработке отходов.
10. Создание высокотехнологичных ткацких производств.
11. Максимальное применение механических текстильных технологий (прядение, ткачество).
12. Внедрение в образовательный процесс специальных учебных модулей при подготовке специалистов текстильной отрасли и легкой промышленности в целом.

Современное образование в целях устойчивого развития, как подчеркивает Суслов А.В. «...должно иметь системный характер и распространяться на все образовательные дисциплины и курсы и, в первую очередь, должно развиваться там, где есть больше оснований для включения идей устойчивого развития в образовательный процесс» [9]. К таким дисциплинам относятся курсы в рамках подготовки специалистов в области проектирования текстильных изделий и технологий. Некоторые современные тенденции системы образования в области устойчивого развития включают в себя следующие направления:

- переориентация преподавания – больше времени уделяется на проработку проблем, в том числе экологических, и поиск возможных решений [10];
- учёт интересов и возможностей всех заинтересованных сторон, реализуется тесная взаимосвязь образования с требованиями предприятий, проводятся совместные программы обучения, организуются площадки для реализации проектов устойчивого развития [11];
- для повышения наглядности и эффективности обучения применяются электронные средства и ИКТ-технологии [12];
- формирование многомерного мышления: экологического, экономического и социального, с установкой на преодоление идеологии «общества потребления».

На основе проведенного анализа современных тенденций системы образования и выявленных барьеров развития устойчивости предприятий текстильной и легкой промышленности разработаны четыре образовательных модуля для внедрения их в учебный процесс бакалавров направления подготовки «Технологии и проектирование текстильных изделий» ФГБОУ ВО «Казанский

национальный исследовательский технологический университет»:

1. Модуль «Стратегия развития текстильной отрасли» предусмотрен для изучения студентами глобальных трендов и технологий в текстильной отрасли, нормативных требований и стандартов.
2. Модуль «Экологическое развитие и циркулярная экономика» включает изучение понятия жизненного цикла продукции, основных понятий циркулярной экономики и устойчивого развития.
3. Модуль «Культурные особенности устойчивого развития» предполагает рассмотрение влияния потребительского поведения и национальных традиций на экологичность текстиля.
4. Модуль «Экологически чистые химические технологии» раскрывает аспекты применения безопасных красителей, методов переработки отходов, технологические особенности ферментативных процессов и основных процессов химической промышленности.

В центре внимания модуля «Экологическое развитие и циркулярная экономика» находится вопрос изучения концепции устойчивого развития, ознакомление с целями концепции устойчивого развития, понятие и виды жизненного цикла продукции, опыт устойчивого развития текстильной промышленности и его нормативное регулирование в странах Евросоюза. Для усвоения материала применяются интерактивные методы обучения, работа в группах, в том числе метод «Джигсо», который заключается в том, что обучающийся не только изучает, но и объясняет свою тему одногруппникам. Наблюдая за процессом, преподаватель может оценить степень усвоения материала, внести при необходимости коррективы в формулировки студентов. Достоинствами метода благодаря созданию смешанных групп также являются: развитие межличностных коммуникаций, охват большого объема информации в условиях ограниченного времени, вовлечение всех членов аудитории в активную работу и обсуждение. Пересказ своими словами повышает ответственность, обучающийся становится в позицию преподавателя, старается донести информацию доступно и понятно, метод увеличивает степень усвоения материала в целом.

Задачей модуля «Стратегия текстильной отрасли» является рассмотрение основных наиболее успешных практик получения экологичного текстиля, инновационных технологий переработки текстильных материалов, исследований в области геотекстиля, агротекстиля, инноваций в производстве материалов специального назначения. В ходе практических занятий и лабораторных работ применяются стандартизированные и специальные методики исследования. Интерактивные лекции включают ведение проблемных дискуссий между блоками теоретического материала с постановкой вопросов «От теории к практике» («Где я могу это применить?», «Какие проблемы я могу решить с этими знаниями?»).

Модуль «Экологически безопасные химические технологии» включает рассмотрение вопросов «зеленой» химии и «зеленой» инженерии, функций и ответственности промышленных предприятий, роль университетов в развитии текстильной и химической технологии и др. На практических занятиях применяются такие методы обсуждения как круглые столы и театр «Форум» (назначение одному или нескольким участникам дискуссии роли «Скептика»). Задача аудитории – убедить скептика в определенном тезисе (например, в необходимости и возможности перестроения

промышленности в формат экологически безопасного), задача скептика – опровергнуть аргументы аудитории. Применение данного метода позволяет рассмотреть проблему с разных сторон, учесть множество различных аспектов и мнений, затронуть и обсудить противоречия проблемы.

Модуль «Культурные особенности устойчивого развития» посвящен изучению культурных ценностей и их роли в формировании экологичного мышления и самосознания, единству и многообразию национальностей, ценностям устойчивого развития и здорового образа жизни, положению текстиля в культурной и креативной сферах общества.

При реализации новых модулей применены следующие методы оценки обучения. Сравнение уровня знаний студентов до и после прохождения курсов для оценки эффективности модулей производилось методом педагогического эксперимента. Для оценки изменения экологической осознанности студентов проводился подсчет количества и анализ дипломных работ студентов экологической направленности. Для решения задач устойчивого развития текстильной отрасли предлагались к решению практические кейсы, творческие и теоретические задания специально разработанной под новые модули, олимпиады.

По итогам прохождения модулей студенты показали высокую вовлеченность в новую область знаний и стопроцентную успеваемость. При выборе направления выпускной квалификационной работы – студенты отдавали предпочтения таким темам как:

- разработка биоразлагаемых композитов из отходов текстильной промышленности;
- оптимизация водопотребления в процессах крашения;
- разработка технологии крашения с применением природных красителей;
- получение нетканых материалов на основе растительных волокон (конопли, льна, крапивы) и др.

Результаты:

1. Создание образовательных ресурсов:

- электронный курс «Экологически чистые химические технологии» (Курс: Environmentally friendly chemical technologies | Сайт дистанционного образования – MOODLE КНИТУ (КХТИ)),

- публикация монографий авторов А.Р. Ибатуллина. В.В. Бронская «Материалы и технологии зеленой химии и инженерии», «Принципы зеленой инженерии и зеленой химии»,

- комплекты презентационных материалов по модулям.

2. Внедрение новых учебных модулей в учебный процесс. Новые дисциплины были интегрированы в программу бакалавров направления 29.03.02 «Технологии и проектирование текстильных изделий». По итогам пилотного внедрения: 78 % студентов отметили повышение интереса к экологическим аспектам производства текстильных изделий; на 35 % увеличилось количество выпускных работ, связанных с устойчивыми технологиями.

3. Разработка, организация и проведение кафедрой ТХНВИ межрегиональной олимпиады для школьников и студентов всех форм и уровней обучения «Зеленый текстиль».

В межрегиональной олимпиаде, ставшей впоследствии ежегодной, в период с 2021 по 2024 год приняли участие более 150 школьников, студентов и

учащихся СПО. Задания включали разработку интеллектуальных карт по экологической тематике, разработку идей по созданию экологичного производства текстильной отрасли, анализ современных международных стандартов по экологической сертификации.

Результаты исследования подтвердили, что интеграция экологических модулей в образовательные программы способствует формированию у студентов системного мышления, ориентированного на устойчивое развитие. Кроме того, освоение новых модулей помогает повышению конкурентоспособности выпускников на международном рынке труда и развитию сотрудничества между вузами и промышленными предприятиями.

Результаты имеют долгосрочный характер, студенты, прошедшие обучение по разработанным модулям принимают участие в конференциях с докладами по экологической тематике, занимают призовые места в конкурсах и олимпиадах по тематике устойчивого развития текстильной отрасли (Межвузовская студенческая олимпиада «Управление качеством и бережливые технологии» среди обучающихся по направлениям бакалавриата и магистратуры в рамках «Недели качества» 2023, проведенная Ивановским государственным политехническим университетом).

Однако выявлены и проблемы внедрения устойчивых практик в производственные и бизнес-процессы текстильной промышленности, недостаток преподавателей с опытом работы в «зеленых» технологиях, недостаточная осведомленность и мотивированность представителей реального сектора экономики в области экологизации технологий и продуктов текстильной и легкой промышленности, необходимость постоянного обновления учебных материалов в связи с быстрым развитием отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании обосновывается влияние новой модели обучения на формирование устойчивого мировоззрения будущих специалистов текстильной отрасли, ориентированных на гармоничное сосуществование природы, общества и человека.

Экологизация мышления будущих специалистов текстильной отрасли требует комплексного подхода, сочетающего теоретическую подготовку и практическое применение знаний. Внедрение специализированных учебных модулей доказало свою эффективность в формировании экологической культуры студентов.

Мы видим развитие своего проекта в создании международных образовательных программ, развитии онлайн-курсов для специалистов текстильной отрасли и расширении сотрудничества с предприятиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фильченкова О.А. Переход Российской Федерации к циркулярной экономике с учетом международного опыта // Материалы VII международной научной конференции «Актуальные вопросы экономики и управления» (г. Санкт-Петербург, апрель 2019 г.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2019. С. 11–16.
2. Открылось первое в России текстильное производство полного цикла из переработанного сырья // Экосфера. URL: <https://ecosphere.press/2024/07/22/otkrylos-pervoe-v-rossii-tekstilnoe-proizvodstvo-polnogo-czikla-iz-pererabotannogo-syrya/> (дата обращения: 29.01.2025)
3. Зиневич О.В., Мелёхина Е.А. Высшее образование для глобального и локального устойчивого развития // Высшее

- образование в России. 2023. Т. 32. N 3. С. 84–102. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-3-84-102
4. Beuron T.A., Madrugá L., Garlet V. et al. Contributions of an Environmental Management System for Sustainable Development at a Brazilian University // *Environmental Quality Management*. 2020. N 29. P. 103–113. DOI: 10.1002/tqem.21697
5. European Commission. (2022). EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. Brussels.
6. ГОСТ Р 57022-2016. Текстиль. Требования к экологической безопасности. 2017.
7. Ibatullina A.R. et al The impact of engineering students' communication behavior on the teams' performance (case study: Chemical process engineering classes) // *J. Phys.: Conf.* 2021Ser. 1889 022117. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/2/022117
8. Khusainova G.R., Ibatullina A.R., Bronskaya V.V., Mingaliev R.R., Kitaeva L.A., Shageeva F.T. Innovative Teaching Methodology in Engineering Education: Accepting the Challenges of 4.0. Industry. In: Auer, M.E., Hortsch, H., Michler, O., Köhler, T. (eds) *Mobility for Smart Cities and Regional Development - Challenges for Higher Education*. ICL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham., 2022. V. 390. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_32
9. Суслов А.В. Образование как необходимый элемент устойчивого развития // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2022. N 3 (40). С. 96–103. DOI: 10.21777/2500-2112-2022-3-96-103
10. Национальная стратегия образования для устойчивого развития в Российской Федерации. 21 с. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/Implementation/NAP/RussianFederationNS.r.pdf> (дата обращения: 20.01.2025)
11. Устойчивое развитие: приоритеты в области образования (опыт регионов России) / под ред. В.М. Захарова, А.В. Семенова, И.А. Соколова. М.: Московский университет им. С.Ю. Витте, Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБР РАН, 2022. 248 с.
12. Токарев А.А. Роль устойчивого развития в системе образования в России // *Материалы II Международной научной конференции «Исследования молодых ученых»* (г. Казань, июль 2019 г.). Казань: Молодой ученый, 2019. С. 53–55.

REFERENCES

1. Fil'chenkova O.A. *Perekhod Rossiiskoi Federatsii k tsirkulyarnoi ekonomike s uchetom mezhdunarodnogo opyta* [Transition of the Russian Federation to a Circular Economy Taking into Account International Experience]. *Materialy VII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya»* (g. Sankt-Peterburg, aprel' 2019 g.) [Proceedings of the VII International Scientific Conference "Current Issues of Economics and Management", St. Petersburg, April 2019]. Saint Petersburg, Svoe izdatel'stvo Publ., 2019, pp. 11–16. (In Russian)
2. The first full-cycle textile production from recycled materials has opened in Russia. *Ekosfera*. Available at:

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алина Р. Ибатуллина, Ирина В. Красина, Марина В. Антонова, Вероника В. Бронская и Марина С. Кабыш 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.

- <https://ecosphere.press/2024/07/22/otkrylos-pervoe-v-rossii-tekstilnoe-proizvodstvo-polnogo-tsikla-iz-pererabotannogo-syrya/> (accessed: 29.01.2025) (In Russian)
3. Zinevich O.V., Melekhina E.A. Higher Education for Global and Local Sustainable Development. *Higher Education in Russia*, 2023, vol. 32, no. 3, pp. 84–102. (In Russian) DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-3-84-102
4. Beuron T.A., Madrugá L., Garlet V. et al. Contributions of an Environmental Management System for Sustainable Development at a Brazilian University. *Environmental Quality Management*, 2020, no. 29, pp. 103–113. DOI: 10.1002/tqem.21697
5. European Commission. EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. Brussels. 2022.
6. ГОСТ Р 57022-2016. Текстиль. Требования к экологической безопасности [ГОСТ Р 57022-2016. Textiles. Environmental safety requirements]. 2017. (In Russian)
7. Ibatullina A.R. et al The impact of engineering students' communication behavior on the teams' performance (case study: Chemical process engineering classes). *J. Phys., Conf.* 2021Ser. 1889 022117. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/2/022117
8. Khusainova G.R., Ibatullina A.R., Bronskaya V.V., Mingaliev R.R., Kitaeva L.A., Shageeva F.T. Innovative Teaching Methodology in Engineering Education: Accepting the Challenges of 4.0. Industry. In: Auer, M.E., Hortsch, H., Michler, O., Köhler, T. (eds) *Mobility for Smart Cities and Regional Development - Challenges for Higher Education*. ICL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham., 2022, vol. 390. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_32
9. Suslov A.V. Education as a necessary element of sustainable development. *Education Resources and Technologies*, 2022, no. 3 (40), pp. 96–103. (In Russian) DOI: 10.21777/2500-2112-2022-3-96-103
10. *Natsional'naya strategiya obrazovaniya dlya ustoichivogo razvitiya v Rossiiskoi Federatsii* [National Strategy of Education for Sustainable Development in the Russian Federation]. 21 p. Available at: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/Implementation/NAP/RussianFederationNS.r.pdf> (accessed 20.01.2025) (In Russian)
11. Zakharova V.M., Semenova A.V., Sokolova I.A. *Ustoichivoe razvitiye: priority v oblasti obrazovaniya (opyt regionov Rossii)* [Sustainable Development: Priorities in the Field of Education (Experience of Russian Regions)]. Moscow, 2022, 248 p. (In Russian)
12. Tokarev A.A. Rol' ustoichivogo razvitiya v sisteme obrazovaniya v Rossii [The Role of Sustainable Development in the Education System in Russia]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Issledovaniya molodykh uchenykh»* (g. Kazan', iyul' 2019 g.) [Proceedings of the II International Scientific Conference "Research of Young Scientists" (Kazan, July 2019)]. Kazan, 2019, pp. 53–55. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alina R. Ibatullina, Irina V. Krasina, Marina V. Antonova, Veronika V. Bronskaya and Marina S. Kabysh 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

Алина Р. Ибатуллина / Alina R. Ibatullina <https://orcid.org/0009-0003-2785-7629>
 Ирина В. Красина / Irina V. Krasina <https://orcid.org/0000-0001-9448-121X>
 Марина В. Антонова / Marina V. Antonova <https://orcid.org/0000-0002-7313-7804>
 Вероника В. Бронская / Veronika V. Bronskaya <https://orcid.org/0000-0003-2611-2679>
 Марина С. Кабыш / Marina S. Kabysh <https://orcid.org/0009-0005-9165-7327>

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 Орджоникидзевна, 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 18.07.2025 г.
Объем 211 стр. Тираж 100. Заказ № 23
Формат 70х90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
по адресу: г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е