

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 19 № 3 2024

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ:

ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.19 no. 3 2024

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 Абулкасумович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Технический редактор

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

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

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

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

Deputy Editors-in-Chief

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)

Волубуев 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)

Клюшин П.В., Государственный университет по землеустройству (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)

Переведенцева Л.Г., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, 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 (Syktyvkar, Russia)

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

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

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

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

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)

Pavel V. Klyushin, State University of Land Use Planning (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)

Lydia G. Perevedentseva, Perm State University (Perm, 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)

БОТАНИКА*Османов Р.М.*

Оценка изменчивости морфометрических признаков растений и возрастной спектр ценопопуляций
Matthiola daghestanica (Brassicaceae) Предгорного и Среднегорного Дагестана.....8-17

ВИРУСОЛОГИЯ*Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Толкач В.Ф., Щелканов М.Ю.*

Разнообразие штаммов фитовирусов на юге российского Дальнего Востока.....18-34
Жигалин А.В.

Вирусы рукокрылых (Chiroptera) России и сопредельных стран.....35-43

Каркавин Ю.И., Адаменко Л.С., Юрченко К.С., Глуценко А.В.

Противоопухолевый эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010
на модели солидной карциномы Льюиса.....44-54

Шестопалова Л.В., Ли В., Филиппова А.Ю., Федотова М.С., Кононова Ю.В., Гуляева М.А.

Патоморфологические изменения в тканях легкого сирийских хомяков при экспериментальном
заражении SARS-COV-2.....55-62

ЗООЛОГИЯ*Арчимаева Т.П., Куксина Д.К., Куксин А.Н., Саая А.Т.*

Видовой состав, распределение птиц в районе аэропорта «Кызыл» (Республика Тыва)
и их влияние на орнитологическую обстановку.....63-74

ЭНТОМОЛОГИЯ*Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Игнатьева Т.Н.*

Видовое разнообразие вредителей подотряда клопов (Heteroptera) в агроценозах
Лазаревского района г. Сочи.....75-82

ЭКОЛОГИЯ*Хомяк А.И., Асатурова А.М.*

Составы биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур – современное состояние
и перспективы (обзор).....83-96

Муханов В.С., Рауэн Т.В., Востоков С.В., Востокова А.С., Лобачев Е.Н.

Оценка численности бактерио-, пикофито- и нанофитопланктона Среднего Каспия
методами проточной цитометрии.....97-109

*Джалилова А.Н., Омарова С.М., Джалилова Д.Н., Царуева Т.В., Абдуев Н.К., Газиев Г.М.,**Юсупова М.Т., Саидова П.С., Магомедова У.А.*

Экологические аспекты изучения тиреоидной функции щитовидной железы у женщин
репродуктивного возраста, проживающих в регионе с дефицитом йода (на примере
Ахтынского района Республики Дагестан).....110-115

Исрапилова А.И., Алиев А.М., Адиева А.А., Джафарова А.М., Гусейнова З.А., Муртузалиева П.А.

Антибактериальное действие экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) в отношении штаммов
чистых культур *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus*.....116-123

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ*Ponomareva E.N., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A., Rabazanov N.I.*

Effectiveness of biologically active substances added to sturgeon feeds.....124-131

Никольский А.Н., Бочкарев В.Д., Бочкарев Д.В., Дроздова К.О.

Сегетальные растения агроландшафтов Юга Нечерноземной зоны как источник биоресурсов.....132-140

*Оздемиров А.А., Хожожов А.А., Акаева Р.А., Алиева Е.М., Алиева П.О.,**Гусейнова З.М., Даветеева М.А.*

Ассоциации разных генотипов с мясной продуктивностью овец.....141-146

ГЕОЭКОЛОГИЯ*Архипова О.Е., Патракеева О.Ю.*

Индекс развития транспортной инфраструктуры как фактор устойчивого развития
прибрежной зоны Азовского моря.....147-153

Чибилёв А.А. (мл.), Лебедева Т.В., Туктамышева Л.М., Свиридов И.С.

Оценка перспектив устойчивого приграничного взаимодействия российских постцелинных регионов
Урала и Сибири с Республикой Казахстан.....154-168

Гуля А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш., Гагаева З.Ш.

Сезонные состояния и динамика углерода на ключевых участках
Карбонового полигона в Чеченской Республике.....169-179

Морковина С.С., Шешницан 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.....180-192

Раджабова Р.Т., Ахмедова Л.Ш.

Оценка природно-антропогенного воздействия на эко- и геосистемы зоны водохранилища Ирганайской ГЭС по данным дистанционного зондирования.....193-203

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ

Гаджиев Н.Г., Лазарева Н.В., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Юсуфов Н.А.

Публичная нефинансовая отчетность: отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов.....204-218

МИКОЛОГИЯ

Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu.

Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia).....219-229

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....230

BOTANY

Osmanov R.M.

Evaluation of variability of morphometric traits of plants and age spectrum of cenopopulations of *Matthiola daghestanica* (Brassicaceae) of the Piedmont and Mid-mountain Dagestan, Russia.....8-17

VIROLOGY

Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F., Shchelkanov M.Yu.

Diversity of phytovirus strains in the South of the Russian Far East.....18-34
Zhigalin A.V.

Bat (Chiroptera) viruses of Russia and neighboring countries.....35-43

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

Antitumor effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010 on a model of solid Lewis carcinoma.....44-54

Shestopalova L.V., Lee W., Filippova A.Yu., Fedotova M.S., Kononova Yu.V., Gulyaeva M.A.

Pathomorphological changes in the lung tissues of Syrian hamsters during experimental infection with SARS-COV-2.....55-62

ZOOLOGY

Archimayeva T.P., Kuksina D.K., Kuksin A.N., Saaya A.T.

Species composition and distribution of birds in the area of Kyzyl airport (Republic of Tyva, Russia) and their impact on the ornithological situation.....63-74

ENTOMOLOGY

Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Ignatieva T.N.

Species diversity of pests of the suborder of shield bugs (Heteroptera) in agrocenoses of the Lazarevsky district of Sochi, Krasnodar Territory, Russia.....75-82

ECOLOGY

Homyak A.I., Asaturova A.M.

Composition of biopesticides for crop protection – current state and prospects (review).....83-96

Mukhanov V.S., Rauen T.V., Vostokov S.V., Vostokova A.S., Lobachev E.N.

Estimation of bacterio-, picophyto- and nanophytoplankton abundance in the Middle Caspian Sea by flow cytometry.....97-109

Dzhalilova A.N., Omarova S.M., Dzhalilova D.N., Tsarueva T.V., Abuduev N.K., Gaziev G.M.,

Yusupova M.T., Saidova P.S., Magomedova U.A.

Ecological aspects of studying the thyroid function of the thyroid gland in women of reproductive age living in a region with iodine deficiency (Akhtynsky district, Republic of Dagestan, Russia).....110-115

Israpilova A.I., Aliev A.M., Adieva A.A., Dzhafarova A.M., Guseynova Z.A., Murtuzaliev P.A.

Antibacterial activity of Savory (*Satureja hortensis*) extract against pure culture strains of *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*.....116-123

BIOLOGICAL RESOURCES

Ponomareva E.N., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A., Rabazanov N.I.

Effectiveness of biologically active substances added to sturgeon feeds.....124-131

Nikolskii A.N., Bochkarev V.D., Bochkarev D.V., Drozdova K.O.

Segetal plants of agricultural landscapes of the Southern Non-Chernozem zone as a source of biological resources.....132-140

Ozdemirov A.A., Khozhokov A.A., Akaeva R.A., Alieva E.M., Alieva P.O.,

Guseynova Z.M., Daveteeva M.A.

Associations of different genotypes with the meat productivity of sheep.....141-146

GEOECOLOGY

Arkipova O.E., Patrakeeva O.Yu.

Index of development of transport infrastructure as a factor of sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov, Russia.....147-153

Chibilev A.A. (jr.), Lebedeva T.V., Tuktamysheva L.M., Sviridov I.S.

Assessment of Prospects for Sustainable Cross-Border Cooperation of the Russian Post-Virgin Regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan.....154-168

Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh., Gagaeva Z.Sh.

Seasonal states and carbon dynamics in key areas of the carbon polygon in the Chechen Republic, Russia.....169-179

Morkovina S.S., Sheshnitzan S.S., Ivanova A.V., Yakovenko N.V., Pryadilina N.K.

Potential and investment attractiveness of improved forestry projects under increasing climatic challenges.....180-192

Radzhabova R.T., Akhmedova L.Sh.

Assessment of natural and anthropogenic impacts of the Irganay Hydroelectric Power Station reservoir zone on eco- and geosystems using remote sensing data, Dagestan, Russia.....193-203

ECONOMIC & SOCIAL GEOGRAPHY*Gadzhiev N.G., Lazareva N.V., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Yusufov N.A.*

Public non-financial reporting: Reflection of environmental aspects of development and activities of economic entities.....204-218

MYCOLOGY*Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu.*

Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia).....219-229

CONTACT INFORMATION.....230

Оригинальная статья / Original article
УДК 575.21 (581.44:470.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-1



Оценка изменчивости морфометрических признаков растений и возрастной спектр ценопопуляций *Matthiola daghestanica* (Brassicaceae) Предгорного и Среднегорного Дагестана

Руслан М. Османов

Горный ботанический сад – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН», Махачкала, Россия

Контактное лицо

Руслан М. Османов, к.б.н., мл. науч. сотрудник лаборатории флоры и растительных ресурсов Горного ботанического сада – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН»; 367000 Россия, Махачкала, ул. М. Ярагского, 75. Тел. +79389868980
Email ru.osmanov@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4857-6354>

Формат цитирования

Османов Р.М. Оценка изменчивости морфометрических признаков растений и возрастной спектр ценопопуляций *Matthiola daghestanica* (Brassicaceae) Предгорного и Среднегорного Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 8-17.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-1

Получена 19 марта 2024 г.
Прошла рецензирование 14 июня 2024 г.
Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: изучение внутривидовой и межпопуляционной вариабельности количественных признаков *Matthiola daghestanica* (Conti) N. Busch и оценка возрастного спектра природных ценопопуляций Предгорного и Среднегорного Дагестана.

Материалом послужили 90 растений (побеги со соцветиями), взятые с ценопопуляций различных местонахождений изучаемого вида (450, 610 и 960 м над уровнем моря). Осуществлен анализ изменчивости 12 морфологических признаков *M. daghestanica*. Для оценки возрастного спектра заложены пробные площадки 5x5 м в трех пунктах (75 м²), где производили учет возрастных (онтогенетических) состояний *M. daghestanica* руководствуясь методами из работ Т.А. Работнова (1950) и А.А. Уранова (1957).

Исследована изменчивость морфологических признаков эндемика Дагестана *M. daghestanica* и оценен его возрастной спектр в природных ценопопуляциях Предгорного и Среднегорного Дагестана. Наиболее вариабельными оказались весовые признаки. Анализ достоверности различий выделенных групп по t-критерию подтвердил, что «Чох-Чох» в сильной степени обособлена от других ценопопуляций, и в наибольшей степени от «Чирката». Линейный признак «длина вегетативной части» вносит наибольшие достоверные различия между всеми ценопопуляциями. Процент возрастных состояний от общего числа особей по популяциям различается. Возрастной спектр *M. daghestanica* ценопопуляции «Чирката» представлен преобладанием ювенильной (25 %) и виргинильной (25%) групп, а в ценопопуляции «Ашильта» иматурной группой (23,9 %). Среди возрастных состояний генеративного периода во всех ценопопуляциях преобладают молодые генеративные особи (16,7–19,4 %). Наибольшее число средневозрастных генеративных особей в ценопопуляции «Чох-Чох» (16,3 %).

Анализ изменчивости морфологических признаков растений *M. daghestanica* показал, что линейные и числовые признаки по трем ценопопуляциям менее вариабельны. Выявлена значительная изменчивость по весовым признакам: «масса стеблей с листьями» (518,3–818,7 мг); «общая масса побега» (990,7–1342,8 мг). Квадраты расстояний Махаланобиса изученных признаков выявили изолированность ценопопуляции «Чох-Чох» от двух других («Ашильта», «Чирката»). Возрастной спектр ценопопуляций *M. daghestanica* схожий в Предгорном и Среднегорном Дагестане, несмотря на разное количество возрастных состояний. Ценопопуляции *M. daghestanica* являются нормальными, способными к самовозобновлению, характеризующиеся индексами восстановления 1,2–2,8 %.

Ключевые слова

Matthiola daghestanica, эндемик, изменчивость, ценопопуляция, морфологические признаки, возрастной спектр, Дагестан.

Evaluation of variability of morphometric traits of plants and age spectrum of cenopopulations of *Matthiola daghestanica* (Brassicaceae) of the Piedmont and Mid-mountain Dagestan, Russia

Ruslan M. Osmanov

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

Principal contact

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

Tel. +79389868980

Email ru.osmanov@mail.ru

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

How to cite this article

Osmanov R.M. Evaluation of variability of morphometric traits of plants and age spectrum of cenopopulations of *Matthiola daghestanica* (Brassicaceae) of the Piedmont and Mid-mountain Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):8-17. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-1

Received 19 March 2024

Revised 14 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim: Study of intra- and interpopulation variability of quantitative traits of *Matthiola daghestanica* (Conti) N. Busch and assessment of the age spectrum of natural cenopopulations of Piedmont and Mid-mountain Dagestan.

The material consisted of 90 plants (shoots with inflorescences) taken from coenopopulations of various locations of the studied species (450, 610 and 960 m above sea level). An analysis of the variability of 12 morphological traits of *M. daghestanica* was carried out. To assess the age spectrum, 5x5 m test plots were laid out at three points (75 m²), where the age (ontogenetic) states of *M. daghestanica* guided by methods from the works of T.A. Rabotnov (1950) and A.A. Uranov (1957).

The variability of the morphological traits of the Dagestan endemic *M. daghestanica* has been studied and its age spectrum in the natural cenopopulations of Piedmont and Mid-mountain Dagestan has been assessed. The most variable were the weight traits. Analysis of the significance of the differences between the selected groups using the t-test confirmed that “Chakh-Chakh” is highly isolated from other coenopopulations, and to the greatest extent from “Chirkata”. The linear trait “length vegetative features” introduces the greatest significant differences between all coenopopulations. The percentage of age states from the total number of individuals varies among populations. The age spectrum of *M. daghestanica* in the “Chirkata” cenopopulation is represented by a predominance of the juvenile (25 %) and virginal (25 %) groups and in the “Ashilta” cenopopulation by the adult group (23.9 %). Among the age states of the generative period in all cenopopulations, young generative individuals prevail (16.7–19.4 %). The largest number of middle-aged generative individuals is in the “Chakh-Chakh” cenopopulation (16.3 %).

Analysis of the variability of morphological characteristics of *M. daghestanica* plants showed that linear and numerical traits for the three cenopopulations are less variable. Significant variability was revealed in weight characteristics: “mass caulis and leaves” (518.3–818.7 mg); “total mass shoot” (990.7–1342.8 mg). The squared Mahalanobis distances of the characters studied revealed the isolation of the “Chakh-Chakh” cenopopulation from the other two (“Achilta”, “Chirkata”). The age spectrum of *M. daghestanica* coenopopulations is similar in the Piedmont and Mid-mountain Dagestan, despite the different number of age states. Cenopopulations of *M. daghestanica* are normal, capable of self-renewal, characterized by recovery indices of 1.2–2.8 %.

Key Words

Matthiola daghestanica, endemic, variability, cenopopulation, morphological traits, age spectrum, Dagestan.

ВВЕДЕНИЕ

Редкие и эндемичные виды растений имеют небольшие ареалы, встречаются на ограниченном числе местообитаний, в пределах которых имеют очень низкое обилие. В свою очередь комплексные исследования популяций редких растений имеют важное значение для эффективного экспериментального изучения и успешности работ по интродукции и реинтродукции. Существует множество подходов и критериев к установлению редкости (ареал, динамика ареала, размещение в пространстве, численность или обилие, динамика численности, специфические особенности биологии, особенности возрастной структуры, экологическая специализация, репродуктивный потенциал, устойчивость популяции, наличие антропогенных угроз и др.) [1–3].

М.М. Магомедмирзаев в своих работах [4; 5] отмечал механизмы адаптации редких и ресурсных видов, а так же практическую значимость экспери-

ментального изучения изменчивости морфологических признаков (проявление генетических вариаций) в природных условиях и при интродукции.

Объектом работы является эндемичный и редкий вид Дагестана – *Matthiola daghestanica* (Conti) N. Busch.

В настоящее время исследования, касающиеся сравнительного изучения и оценки морфологических признаков растений *M. daghestanica* отсутствуют. Имеются данные по изучению морфологии [6–8], возрастного спектра и виталитета ценопопуляций близкородственного вида – *M. caspica* [9; 10].

M. daghestanica (N. Busch.) Grossh. – это один из малоизученных редких и эндемичных видов флоры Дагестана. В последние годы выявлено три новых местонахождений *M. daghestanica*: окр. сел. Кванхидатли, 760 м; окр. сел. Чах-Чах, 610 м; окр. сел. Ашильта, 960 м (рис. 1).



Рисунок 1. *Matthiola daghestanica* в период цветения, район Бетлинских гор (окр. с. Ашильта, Унцукский район)
Figure 1. *Matthiola daghestanica* during flowering. Betlinskih mountains (Ashilta village, Untsukul'sky district)

на экспериментальных базах высеян семенной материал *M. daghestanica* с природных ценопопуляций. Вид успешно интродуцирован, проходит все фазы сезонного развития, цветение наблюдается на второй год жизни [11–13].

Таким образом, возникает необходимость детального рассмотрения вопросов, связанных с изучением изменчивости морфологических признаков растений *M. daghestanica* и ее возрастной структуры в Предгорном и Среднегорном Дагестане.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были использованы образцы растений *M. daghestanica*, собранные в 2023 году в

естественных популяциях, расположенных в различных типах градиентов экологических факторов (табл. 1). Для измерения было выбрано 12 признаков: линейные – длина побега (L_s), мм; длина соцветия (L_l), мм; длина вегетативной части (L_{vs}), мм; числовые – число листьев розетки (N_{lr}), шт.; число листьев побега (N_{ls}), шт.; число цветков (N_f), шт.; весовые – масса листьев розетки (W_{lr}), мг; масса стеблей с листьями (W_{sl}), мг; масса соцветия (W_l), мг; общая масса побега (W_s), мг; индексные – репродуктивное усилие побега (Ke_{fr}), %; плотность соцветия (D), %.

Таблица 1. Общая информация модельных ценопопуляций
Table 1. General information about model cenopopulations

№ п/п	Место сбора, местообитание Collection place, habitat	Географические данные: широта и долгота / высота над уровнем моря (м) / экспозиция / угол наклона склона Geographic data: latitude and longitude / altitude above sea level (m) / aspect / degree of slope	
1.	Гумбетовский, окр. сел. Чирката, сухие откосы у дороги Chirkata village, Gumbetovsky district, dry slopes near the road	N 42° 46' 35", E 46° 44' 24" / 450 m / South-west, 30–35°	
2.	Магарамкентский район, окр. сел. Чах-Чах, сухие и песчаные откосы у дороги Chakh-Chakh village Magaramkentsky district, dry and sandy slopes near the road	N 41° 30' 44", E 48° 9' 14" / 610 m / South-west / 35–45°	
3.	Унцукульский, окр. сел. Ашильта, сухие каменисто-щебнистые склоны Ashilta village, Untsukul'sky district, dry rocky and gravelly slopes	N 42° 45' 18", E 46° 44' 9" / 960 m / South-east / 25–35°	

Для оценки возрастного спектра для каждого исследованного пункта были заложены пробные площадки (25 м²), где фиксировали возрастные (онтогенетические) состояния *M. daghestanica*: ювенильное (j), иматурное (im), виргинильное (v), молодое генеративное (g1), средневозрастное генеративное (g2), старое генеративное (g3), субсенильное (ss), – сенильное (s) [14–16].

Индекс восстановления *M. daghestanica* рассчитывали с помощью следующей формулы [17]:

$$I = \sum j \rightarrow v / \sum g1 \rightarrow g3.$$

Для обработки экспериментальных данных применялась статистическая программа Statistica v. 13.3. Применены методы дисперсионного, дискриминантного и корреляционного анализов, а также стандартные методы биометрии [18; 19]. Для каждого признака определялись среднее арифметическое значение, его ошибка и коэффициент вариации, что позволило оценить степень варибельности полученных данных. В таблицах 3, 4, 5 используется и приводятся три уровня значимости $P < 0,05$ – *,

$P < 0,01$ – ** и $P < 0,001$ – ***, что соответствует трем уровням достоверности 95, 99 и 99,9 % [20].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ морфологических признаков растений *M. daghestanica* выявил заметные различия между популяциями. Растения из ценопопуляции «Чирката» отличались наиболее выраженной ростовой активностью, их средняя длина побега составила 395 мм, а длина вегетативной части – 276 мм, что значительно превосходит эти показатели у растений из «Чах-Чах» и «Ашильта». Однако по признаку «длина соцветия» средние значения максимальны именно для выше двух упомянутых ценопопуляций. Числовые признаки по трем ценопопуляциям не вариабельны. Установлена значительная изменчивость по весовым признакам, так признак «масса стеблей листьями» варьирует от 518,3 до 818,7 мг, а «общая масса побега» – от 990,7 до 1342,8 мг. Индексные признаки же оказались менее изменчивыми.

Таблица 2. Оценка морфологических признаков *Matthiola daghestanica* (дескриптивная статистика)
Table 2. Evaluation of morphological characteristics of *Matthiola daghestanica* (descriptive statistics)

Признаки (n=30) Traits (n=30)	Чирката, 450 м Chirkata, 450 m		Чах-Чах, 610 м Chakh-Chakh, 610 m		Ашильта, 960 м Ashilta, 960 m	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %
Линейные, мм / Linear, mm						
Длина побега Length shoot	395,0±11,04	15,3	289,2±8,60	16,2	322,7±10,53	17,9
Длина соцветия Length inflorescences	118,5±6,85	31,7	173,8±6,74	21,3	131,9±5,52	22,9
Длина вегетативной части Length vegetative features	276,5±6,67	13,2	115,4±7,92	37,6	190,8±6,41	18,4
Числовые, шт. / Numbers, pcs.						
Число листьев розетки Number leaves rosettes	5,6±0,09	8,9	7,0±0,11	8,7	6,2±0,14	12,8
Число листьев побега Number leaves shoots	8,0±0,15	10,6	6,9±0,11	8,4	7,9±0,25	17,9
Число цветков Number flowers	14,8±0,53	19,5	15,5±0,31	10,9	14,4±0,85	32,6

Весовые, мг / Postages, mg						
Масса листьев розетки Mass leaves rosettes	212,7±4,57	11,8	329,6±15,94	26,5	217,8±10,42	26,2
Масса стеблей с листьями Mass caulis and leaves	818,7±47,34	31,7	518,3±24,45	25,8	544,6±44,98	45,2
Масса соцветия Mass inflorescences	312,5±32,31	56,7	295,7±16,59	30,7	229,7±13,95	33,3
Общая масса побега Total mass shoot	1342,8±64,61	26,4	1142,5±44,66	21,4	990,7±60,31	33,3
Индексные / Index						
Репродуктивное усилие побега* Reproductive effort shoots	22,4±1,58	38,7	25,7±44,66	17,4	23,3±0,63	14,9
Плотность соцветия** Density inflorescences	1,3±0,07	30,5	0,9±0,05	32,5	1,1±0,05	23,1

Примечание: * – соотношение массы соцветия на общую массу побега, ** – соотношение числа цветков на длину соцветия (то же самое в таблицах 3, 4 и 5)
Note: * – the ratio of the mass of the inflorescence to the total mass of the shoot, ** – the ratio of the number of flowers to the length of the inflorescence (the same in tables 3, 4 and 5)

Наиболее вариабельными оказались весовые признаки – «масса стеблей с листьями» (45,2 %) для ценопопуляции «Ашильта» и «масса соцветия» (56,7 %) для ценопопуляции «Чирката», которые относятся к очень высокому уровню по шкале Мамаева. Устойчивыми являются числовые признаки с низким уровнем варьирования, такие как «число листьев розетки» (8,7–12,8 %), а так же «число листьев побега» (8,4 % и 10,6 %) для выборок «Чирката» и «Чак-Чак»; «число цветков» (10,9 %) для «Чак-Чак». Большинство

изученных признаков относятся к среднему и повышенному уровню вариации.

С помощью t-критерия Стьюдента подтверждены результаты сравнительной оценки изменчивости морфологических признаков *M. daghestanica* по ценопопуляциям. Анализ достоверности различий выделенных групп по t-критерию подтвердил, что «Чак-Чак» в сильной степени обособлена от других ценопопуляций, и в наибольшей степени от «Чирката» (табл. 3).

Таблица 3. Достоверность различий по морфологическим признакам между ценопопуляциями *Matthiola daghestanica* по t-критерию

Table 3. Reliability of differences in morphological traits to the t-test between cenopopulations of *Matthiola daghestanica*

Признаки Traits	Ашильта / Чак-Чак Ashilta / Chakh-Chakh	Ашильта / Чирката Ashilta / Chirkata	Чак-Чак / Чирката Chakh-Chakh / Chirkata
Длина побега Length shoot	2,51*	4,72***	7,78***
Длина соцветия Length inflorescences	5,29***	–	5,81***
Длина вегетативной части Length vegetative features	7,53***	8,95***	16,89***
Число листьев розетки Number leaves rosettes	7,13*	–	7,84***
Число листьев побега Number leaves shoots	–	3,51***	8,95***
Число цветков Number flowers	2,12*	2,21*	–
Масса листьев розетки Mass leaves rosettes	7,33***	–	8,79***
Масса стеблей с листьями Mass caulis and leaves	–	5,41***	6,18***
Масса соцветия Mass inflorescences	3,19**	2,29*	–
Общая масса побега Total mass shoot	2,74**	4,66***	2,03*
Репродуктивное усилие побега Reproductive effort shoots	2,29*	1,23*	3,43**
Плотность соцветия Density inflorescences	2,98**	2,89**	5,94***

Наименьшие различия характерны для всех трех ценопопуляций по индексным признакам («репродуктивное усилие побега», «плотность соцветия»), а также признаку «общая масса побега». Линейный признак

«длина вегетативной части» вносит наибольшие достоверные различия между всеми ценопопуляциями. Результаты корреляционного анализа позволили выявить значимые взаимосвязи между морфологи-

ческими и индексными признаками растений *M. daghestanica*. Например, линейный признак «длина побега» положительно коррелирует с признаками «число листьев розетки», «число цветков» и весовыми признаками ($P \leq 0,05$). Аналогичные корреляции наблюдаются и для признака «длина соцветия», а

признак «число цветков» взаимосвязан со всеми весовыми и индексными признаками и т.д. Данная информация может быть использована для прогнозирования изменчивости отдельных морфологических признаков под влиянием различных факторов среды (табл. 4).

Table 4. Корреляции между морфологическими признаками *Matthiola daghestanica*
Table 4. Correlations between morphological characteristics of *Matthiola daghestanica*

Признаки Traits	L _S	L _I	L _{VS}	N _{LR}	N _{LS}	N _F	W _{LR}	W _{SL}	W _I	W _S	Ke _{Fr}
L _S	–										
L _I	–										
L _{VS}	-0,83*	0,40*									
N _{LR}	–	0,57*	0,48*								
N _{LS}	0,47*	–	-0,53*	–							
N _F	0,36*	0,42*	–	0,33*	0,37*						
W _{LR}	–	0,55*	0,43*	0,59*	–	0,29*					
W _{SL}	0,66*	–	-0,56*	–	0,62*	0,48*	–				
W _I	0,35*	0,44*	–	0,42*	0,35*	0,62*	0,35*	0,54*			
W _S	0,55*	0,38*	-0,32*	0,21*	0,51*	0,61*	0,38*	0,85*	0,82*		
Ke _{Fr}	–	0,24*	0,33*	0,41*	–	0,24*	–	–	0,61*	–	
D _I	–	-0,66*	-0,49*	-0,31*	0,39*	0,28*	-0,28*	0,27*	–	–	–

Анализ корреляционных связей выявил так же значительные отрицательные, так и незначительные вовсе взаимосвязи между различными признаками растений *M. daghestanica*. Так признак «длина вегетативной части» демонстрирует отрицательную корреляцию со многими признаками. Аналогичная тенденция наблюдается для индексного признака «плотность соцветия», который отрицательно коррелирует с признаками «длина соцветия», «число листьев розетки» и «масса листьев розетки». В то же время корреляционная связь, наблюдаемая у

индексных признаков по отношению к некоторым линейным и весовым, оказалась недостоверной.

Оценка изменчивости исследованных признаков растений побега *M. daghestanica* проводилась с использованием двух моделей дисперсионного анализа: однофакторной и модели, учитывающей линейную зависимость от высотного фактора [21]. Результаты сравнительного анализа, отражающие вклад межгрупповых компонент дисперсии в общую вариабельность признаков, представлены в таблице 5.

Таблица 5. Анализ изменчивости признаков *Matthiola daghestanica* по итогам дисперсионного анализа с учетом линейной модели

Table 5. Analysis of variability of traits of *Matthiola daghestanica* based on the results of ANOVA with consideration of the linear model

Признаки / Traits	h ² , %	r ² , %	r _{xy}
Линейные, мм / Linear, mm			
Длина побега / Length shoot	38,9***	8,1**	-0,28**
Длина соцветия / Length inflorescences	33,0***	–	–
Длина вегетативной части / Length vegetative features	75,9***	8,1**	-0,28**
Числовые, шт. / Numbers, pcs.			
Число листьев розетки / Number leaves rosettes	44,1***	–	–
Число листьев побега / Number leaves shoots	30,6***	6,5*	-0,25*
Число цветков / Number flowers	7,5*	7,2*	-0,27*
Весовые, мг / Postages, mg			
Масса листьев розетки / Mass leaves rosettes	46,7***	–	–
Масса стеблей с листьями / Mass caulis and leaves	31,9***	18,1***	-0,42***
Масса соцветия / Mass inflorescences	10,0*	7,8**	-0,28**
Общая фитомасса побега / Total mass shoot	20,7***	20,5***	-0,45***
Индексные / Index			
Репродуктивное усилие побега / Reproductive effort shoots	12,4**	–	–
Плотность соцветия / Density inflorescences	28,6***	–	–

Анализ однофакторной регрессии продемонстрировал существенную разницу между силой влияния фактора (h²) и коэффициентом детерминации (r²) для всех линейных признаков и одного числового признака – «число листьев розетки». Это свидетельствует о слабом влиянии высотного фактора на их изменчивость. В то же время, для двух весовых признаков «масса соцветия» и

«общая масса побега», а также для признака «число цветков» разница между моделями оказалась незначительной, что говорит о сильно выраженном влиянии высоты на внутри- и межпопуляционную изменчивость.

Дискриминантная модель, построенная на основе изучения изменчивости морфологических

признаков *M. daghestanica* показывает, что наибольшая дифференциация между ценопопуляциями зависит от следующих признаков (в модели): «длина вегетативной

части», «число листьев розетки», «число листьев побега», «масса листьев розетки» (рис. 2).

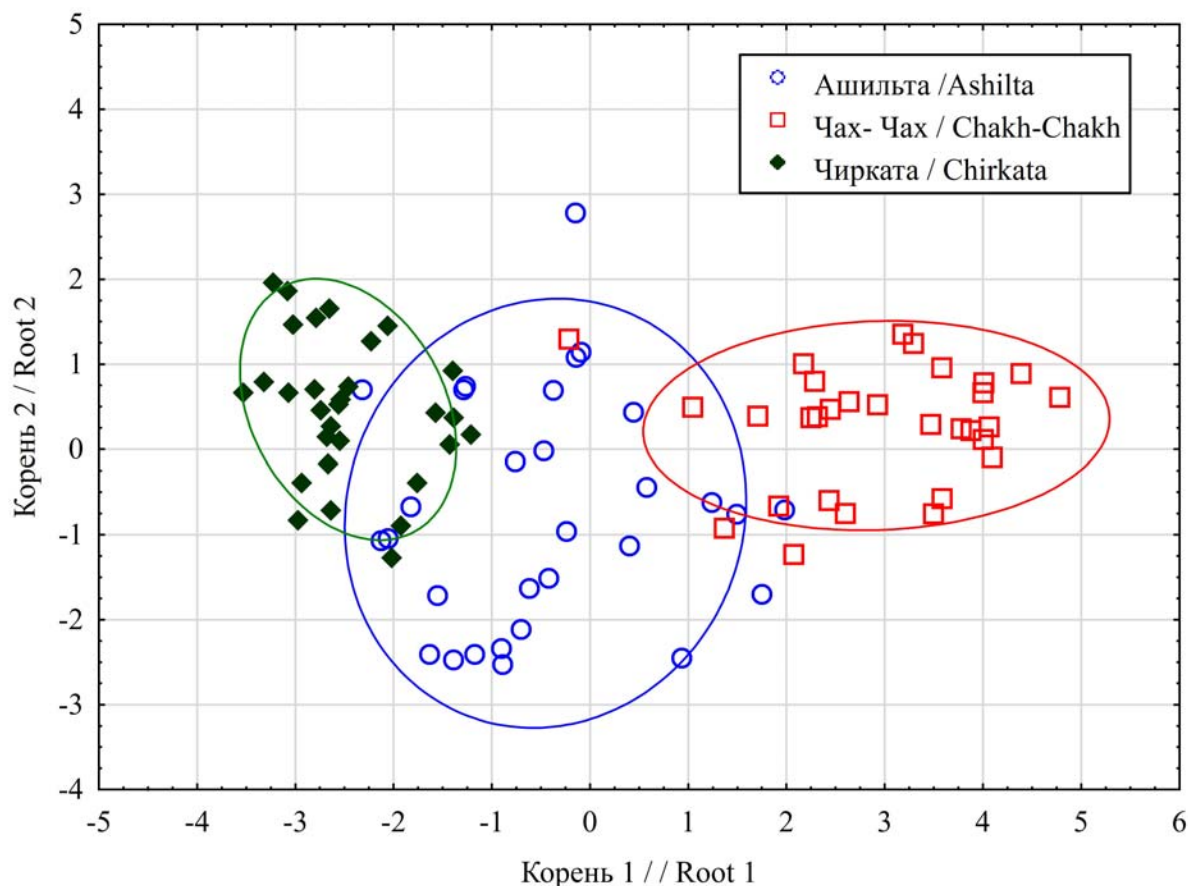


Рисунок 2. Ординация ценопопуляций *Matthiola daghestanica* по морфологическим признакам растений в пространстве канонических корней

Figure 2. Ordination of cenopopulations of *Matthiola daghestanica* according to morphological characteristics of plants in space of canonical roots

Разнообразие микроклиматических условий установило высокий уровень самоидентичности ценопопуляций *M. daghestanica*, выявленный в процессе классификации (ординации в пространстве канонических корней). Квадраты расстояний Махаланобиса изученных признаков выявили изолированность ценопопуляции «Чах-Чах» от двух других («Ашильта», «Чирката»). Суммарная точность матрицы классификации в объединенной выборке составляет 84,4 %.

Все ценопопуляции *M. daghestanica* являются нормальными, но частично неполночленными, то есть, не представлены особями всех возрастных состояний или они представлены не на всех пробных площадках (проростки, скрытогенеративные особи, сенильные и отмирающие особи).

Процент возрастных состояний от общего числа особей по популяциям различается. На рисунке 3 представлен возрастной спектр ценопопуляций *M. daghestanica*, с преобладанием ювенильной (25 %) и виргинильной (25 %) групп для ценопопуляции «Чирката». Иматурные особи (23,9 %) преобладали в «Ашильта» сравнительно других исследованных пунктов. Среди возрастных состояний генеративного

периода преобладают молодые генеративные особи во всех ценопопуляциях (16,7–19,4 %). Наибольшее число средневозрастных генеративных особей в ценопопуляции «Чах-Чах» (16,3 %) (рис. 3).

Наличие низкого процента возрастных состояний генеративного периода в ценопопуляции «Чирката» можно объяснить поеданием скотом растений данных групп. Отсутствие сенильных и отмирающих особей *M. daghestanica* в Предгорном и Среднегорном Дагестане обосновывается преимущественно антропогенным воздействием (расширение дорог) и естественными причинами (оползни, сели).

Для ценопопуляции «Чирката» характерно значительное преобладание возрастных состояний предгенеративного периода (ювенильной и виргинильной групп) над генеративными, где индекс восстановления составил 1,8 %. Тогда как в «Ашильта» доминируют иматурные особи, а индекс восстановления 2,8 % (табл. 6).

Самый низкий индекс восстановления в «Чах-Чах» – 1,2 %, где господствуют средневозрастные и старые генеративные особи.

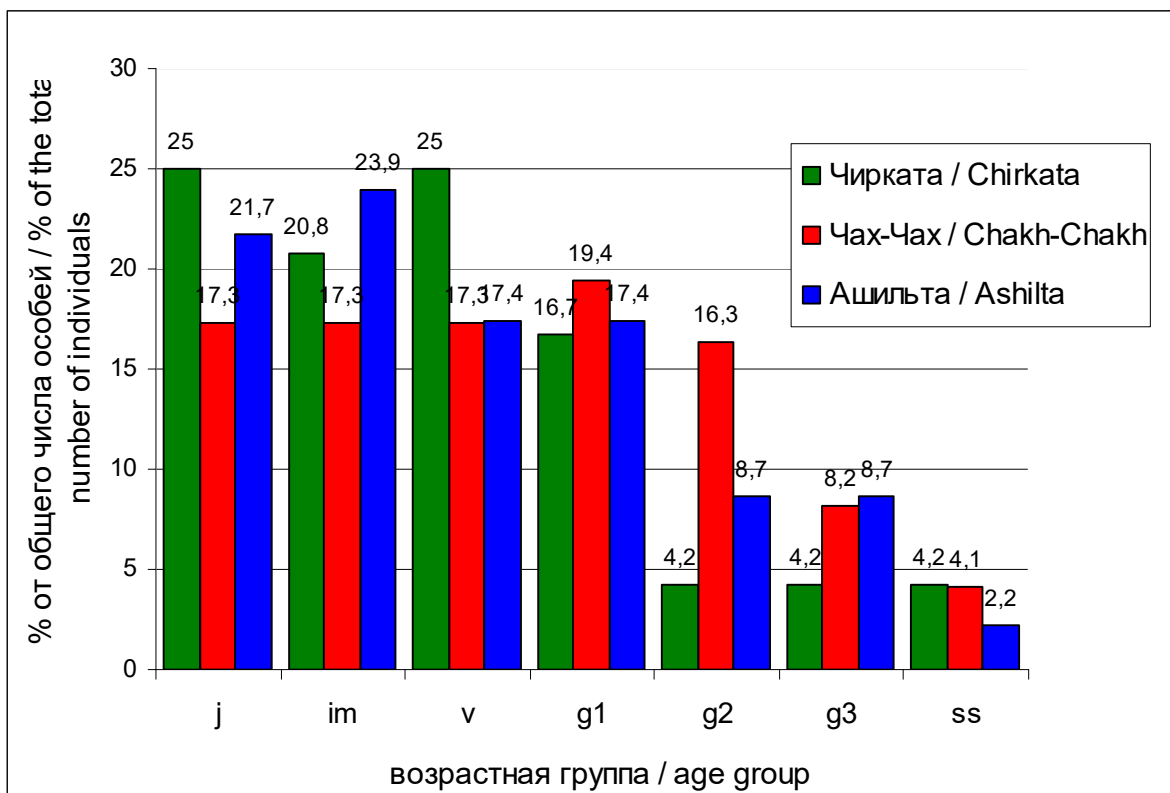


Рисунок 3. Возрастной спектр ценопопуляций *Matthiola daghestanica*
Figure 3. Age spectrum of cenopopulations of *Matthiola daghestanica*

Таблица 6. Количество особей *Matthiola daghestanica* и индекс их восстановления
Table 6. Number of *Matthiola daghestanica* individuals and their recovery index

Ценопопуляция Cenopopulation	Количество особей, шт. Number of individuals, pcs.		Индекс восстановления, % Recovery Index, %
	j → v	g1 → g3	
Чирката / Chirkata	29	16	1,8
Чах-Чах / Chakh-Chakh	51	43	1,2
Ашильта / Ashilta	17	6	2,8

Примечание: j → v – растения предгенеративного периода; g1 → g3 – растения генеративного периода
 Note: j → v – plants of pre-generative period; g1 → g3 – plants of generative period

Выводы

1. Анализ изменчивости морфологических признаков растений *Matthiola daghestanica* установил, что максимальные средние значения среди линейных признаков отмечены для растений «Чирката» по признаку «длина побега» (395 мм) и «длина вегетативной части» (276 мм) сравнительно растений двух других ценопопуляций «Чах-Чах» и «Ашильта». Однако по признаку «длина соцветия» средние значения максимальны именно для двух последних ценопопуляций (131,9–173,8 мм). Числовые признаки по трем ценопопуляциям не вариабельны. Выявлена значительная изменчивость по весовым признакам: «масса стеблей с листьями» (518,3–818,7 мг); «общая масса побега» (990,7–1342,8 мг).
 2. Дифференциация между исследованными тремя ценопопуляциями *M. daghestanica* отмечена по следующим признакам (в модели): «длина вегетативной части», «число листьев розетки», «число листьев побега», «масса листьев розетки». Ординация ценопопуляций *Matthiola daghestanica* по морфологическим признакам растений в пространстве канонических корней показала изолированность «Чах-Чах».

3. Оценка возрастного спектра ценопопуляций *M. daghestanica*, показала, что в целом онтогенез изучаемого нами вида в Предгорном и Среднегорном Дагестане схожий, несмотря на разное количество возрастных состояний. Ценопопуляции *M. daghestanica* являются нормальными, способными к самовозобновлению, характеризующиеся индексами восстановления 1,2–2,8 %.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор благодарит с.н.с., к.б.н. лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений Горного ботанического сада Анатова Д.М. за содействие в осуществлении математической обработки данных.

Исследование проведено в рамках научной базовой темы – FMSW-2022-0021.

ACKNOWLEDGMENT

The author thanks D.M. Anatov, senior researcher, CSc (Biol), Laboratory of Introduction and Genetic Resources of Woody Plants of the Mountain Botanical

Garden, for assistance in carrying out the mathematical processing of the data.

The study was conducted within the framework of the scientific basic theme of FMSW-2022-0021.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Трепет С.А., Акатов В.В. Редкие виды и их сохранение. Майкоп: ИП Войнов Д.В., 2019. 178 с.
- Горбунов Ю.Н., Дзыбов Д.С., Кузьмин З.Е., Смирнов И.А. Методические рекомендации по реинтродукции редких и исчезающих видов растений (для ботанических садов). Тула: Гриф и К, 2008. 56 с.
- Frankel O.H., Soule M.M. Conservation and evolution. Cambridge: Univ. Press, 1981. 327 p.
- Магомедмирзаев М.М. Анализ структуры изменчивости морфологических признаков высших растений и его использование в решении общих и прикладных задач популяционной биологии (Проблемы фенетики растений): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Махачкала. 1977. 36 с.
- Магомедмирзаев М.М. Пути выявления и использования генетических ресурсов высших растений // Итоги науки и техники. Сер. Общая генетика. 1978. Т. 3. С. 130–168.
- Магомедова М.А. Результаты оценки некоторых признаков *Matthiola caspica* в естественных сообществах аридных предгорий Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2015. N 65. С. 130–133.
- Osmanov R.M., Ayskhanova E.S., Rasulov Z.R. Variability of morphological traits of the generative shoot of *Matthiola caspica* (Busch) Grossh. in Piedmont Dagestan // II International Conference «Problems of Nature Management and Environmental Protection» (ASE-2023). BIO Web of Conferences. 2023. V. 63. N 06003 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236306003>
- Османов Р.М., Вагабова Ф.А., Исламова Ф.И. Предварительный анализ некоторых признаков морфологии, семенной продуктивности и фенольных соединений редкого вида *Matthiola caspica* // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2020. Т. 14. N 3. С. 46–54.
- Магомедова М.А., Гусейнова З. Возрастной спектр ценопопуляции *Matthiola caspica* в Талгинском ущелье Предгорного Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. N 67. С. 141–144.
- Магомедова М.А., Гусейнова З.Г. Виталитетный анализ ценопопуляции *Matthiola caspica* (N. Busch) Grossh. в Талгинском ущелье Предгорного Дагестана // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2017. Т. 32. N 3. С. 104–110.
- Муртазалиев Р.А., Теймуров А.А. Левкой дагестанский – *Matthiola daghestanica* (N. Busch.) Grossh // Красная книга Республики Дагестан. 2009. 167 с.
- Муртазалиев Р.А. Левкой дагестанский – *Matthiola daghestanica* (N. Busch.) Grossh // Красная книга Республики Дагестан. 2020. С. 277–278.
- Османов Р.М. Распространение редкого и эндемичного вида *Matthiola daghestanica* в Дагестане // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. N 3(95). С. 86–90.
- Работнов Т.А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. Москва–Ленинград: Наука, 1950. Т. 1. С. 465–483.
- Уранов А.А. Возрастной спектр фитопопуляций как функция времени энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. N 2. С. 7–34.
- Онтогенетический атлас растений / отв. ред. проф. Жукова Л.А. Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. Т. 7. 364 с.
- Заугольнова Л.Б., Жукова Л.А., Комаров А.С., Смирнова О.В. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / отв. ред. Серебрякова Т.И., Соколова Т.Г. Москва: Наука, 1988. 181 с.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1980. 293 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Колос, 1979. 416 с.
- Мамаев С.А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. 1975. С. 3–14.
- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ / пер. с англ. Енюкова И.С., Новикова И.Д. Москва: Мир, 1982. 488 с.

REFERENCES

- Trepets S.A., Akatov V.V. *Redkiye vidy i ikh sokhraneniye* [Rare species and their conservation]. Maykop, IE Voinov D.V. Publ., 2019, 178 p. (In Russian)
- Gorbunov Yu.N., Dzybov D.S., Kuzmin Z.E., Smirnov I.A. *Metodicheskiye rekomendatsii po reintroduktsii redkikh i ischezayushchikh vidov rasteniy (dlya botanicheskikh sadov)* [Methodological recommendations for the reintroduction of rare and endangered plant species (for botanical gardens)]. Tula, Griff i K Publ., 2008, 56 p. (In Russian)
- Frankel O.H., Soule M.M. Conservation and evolution. Cambridge, Cambridge University Press Publ., 1981, 327 p.
- Magomedmirzaev M.M. *Analiz struktury izmenchivosti morfologicheskikh priznakov vysshikh rasteniy i yego ispol'zovaniye v reshenii obshchikh i prikladnykh zadach populyatsionnoy biologii (Problemy fenetiki rasteniy)* [Analysis of the structure of variability of morphological characters of higher plants and its use in solving general and applied problems of population biology (Problems of plant phenetics)]. Makhachkala, 1977, 36 p. (In Russian)
- Magomedmirzaev M.M. Ways to identify and use genetic resources of higher plants. Itogi nauki i tekhniki. Seriya. Obshchaya genetika [Results of Science and Technology. Series. General genetics]. 1978, vol. 3, pp. 130–168. (In Russian)
- Magomedova M.A. Results of assessment of some characteristics of *Matthiola caspica* in natural communities of the arid foothills of Dagestan. In: *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2015, no. 65, pp. 130–133. (In Russian)
- Osmanov R.M., Ayskhanova E.S., Rasulov Z.R. Variability of morphological traits of the generative shoot of *Matthiola Caspica* (Busch) Grossh. in Piedmont Dagestan. *II International Conference "Problems of Nature Management and Environmental Protection" (ASE-2023). BIO Web of Conf.* 2023, vol. 63, no. 06003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236306003>
- Osmanov R.M., Vagabova F.A., Islamova F.I. Preliminary analysis of some characteristics of morphology, seed productivity and phenolic compounds of the rare species *Matthiola caspica*. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Yestestvennyye i tochnyye nauki* [News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences]. 2020, vol. 14, no. 3, pp. 46–54. (In Russian)
- Magomedova M.A., Guseynova Z. Age spectrum of the cenopopulation of *Matthiola caspica* in the Talginsky gorge of Piedmont Dagestan. In: *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016, no. 67, pp. 141–144. (In Russian)

10. Magomedova M.A., Guseinova Z.G. Vitality analysis of the cenopopulation of *Matthiola caspica* (N. Busch) Grossh. in the Talginsky gorge of Foothill Dagestan. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Yestestvennyye nauki [Bulletin of the Dagestan State University. Series 1: Natural Sciences]. 2017, vol. 32, no. 3, pp. 104–110. (In Russian)
11. Murtazaliev R.A., Teymurov A.A. *Matthiola daghestanica* (N. Busch.) Grossh. Krasnaya kniga Respubliki Dagestan [Red Book of the Republic of Dagestan]. 2009, 167 p. (In Russian)
12. Murtazaliev R.A. *Matthiola daghestanica* (N. Busch.) Grossh. Krasnaya kniga Respubliki Dagestan [Red Book of the Republic of Dagestan]. 2020, pp. 277–278. (In Russian)
13. Osmanov R.M. Distribution of the rare and endemic species *Matthiola daghestanica* in Dagestan. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Orenburg State Agrarian University]. 2022, no. 3(95), pp. 86–90. (In Russian)
14. Rabotnov T.A. Issues of studying the composition of populations for the purposes of phytocenology. *Problemy botaniki* [Problems of botany]. Moscow–Leningrad, Nauka Publ., 1950, vol. 1, pp. 465–483. (In Russian)
15. Uranov A.A. The age spectrum of phytopopulations as a function of the time of energy wave processes. Biologicheskiye nauki [Biological Sciences]. 1975, no. 2, pp. 7–34. (In Russian)
16. Zhukova L.A., ed. *Ontogeneticheskii atlas rastenii* [Ontogenetic atlas of plants]. Yoshkar-Ola, MarSU Publ., 2013, vol. 7, 364 p. (In Russian)
17. Zaugolnova L.B., Zhukova L.A., Komarov A.S., Smirnova O.V., Serebryakova T.I., Sokolova T.G., eds. *Tsenopopulyatsii rastenii (ocherki populyatsionnoi biologii)* [Cenopopulations of plants (essays on population biology)]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 181 p. (In Russian)
18. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 293 p. (In Russian)
19. Dosphehov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Kolos Publ., 1979, 416 p. (In Russian)
20. Mamaev S.A. Basic principles of methods for studying intraspecific variability of woody plants. Individual'naya i ekologo-geograficheskaya izmenchivost' rastenii [Individual and ecological-geographical variability of plants]. 1975, pp. 3–14. (In Russian)
21. Afifi A., Eisen S. *Statisticheskii analiz: podkhod s ispol'zovaniyem EVM* [Statistical analysis: a computer approach]. Moscow, Mir Publ., 1982, 488 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Руслан М. Османов собрал материал для исследования, провел камеральную и статистическую обработку, осуществил поиск литературных источников.
 Руслан М. Османов написал рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ruslan M. Osmanov collected material for the study, carried out desk and statistical processing, and searched for literary sources. Ruslan M. Osmanov also 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

Руслан М. Османов / Ruslan M. Osmanov <https://orcid.org/0000-0002-4857-6354>

Обзорная статья / Review article

УДК 578.858.8

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-2



Разнообразие штаммов фитовирусов на юге российского Дальнего Востока

Надежда Н. Какарека¹, Юрий Г. Волков¹, Валентина Ф. Толкач¹, Михаил Ю. Щелканов^{1,2,3}¹Федеральный научный Центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия³Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, Владивосток, Россия

Контактное лицо

Надежда Н. Какарека, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории вирусологии ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159/1.

Тел. +79084539021

Email kakareka@biosoil.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-2567-0452>

Формат цитирования

Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Толкач В.Ф., Щелканов М.Ю. Разнообразие штаммов фитовирусов на юге российского Дальнего Востока // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 18-34. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-2

Получена 23 апреля 2024 г.

Прошла рецензирование 16 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: систематизировать данные по штаммовому разнообразию фитовирусов, изолированных на юге российского Дальнего Востока, на основе анализа фондов Российской коллекции вирусов Восточной Азии, функционирующей на базе лаборатории вирусологии ФНЦ биоразнообразия наземной биоты ДВО РАН.

В работе рассмотрены штаммы, принадлежащие представителям родов *Carlavirus* (Tymovirales: Betaflexiviridae) (вирусы картофеля М, картофеля S, некротической мозаики горошка ложносочевичного, бессимптомный вирус лилии); *Cucumovirus* (Martellivirales: Bromoviridae) (вирусы аспермии томатов, огуречной мозаики); *Nepovirus* (Picornavirales: Secoviridae) (вирусы кольцевой пятнистости малины, кольцевой пятнистости табака, кольцевой пятнистости томата, мозаики коммелины, мозаики фримы азиатской, некротической пятнистости овощного перца, некротической пятнистости пажитника); *Potexvirus* (Tymovirales: Alphaflexiviridae) (вирусы картофеля F, или аукуба-мозаики картофеля, картофеля X, мозаики клевера белого, мозаики подорожника азиатского, кольцевой пятнистости гортензии, лилии X); *Potyvirus* (Patatavirales: Potyviridae) (вирусы желтой карликовости лука, желтой мозаики клевера гибридного, желтой мозаики фасоли, картофеля A, картофеля Y, крапчатости клевера ползучего, мозаики гиппеаструма, мозаики горного клевера, мозаики сои, мозаики традесканции белоцветковой, мозаики турнепса, обыкновенной мозаики фасоли, слабой мозаики сои, хлоротической деформации сои); *Tobamovirus* (Martellivirales: Virgaviridae) (вирусы зеленой крапчатой мозаики огурца, табачной мозаики, томатной мозаики).

Выявленный уровень штаммового разнообразия фитовирусов на юге российского Дальнего Востока как отражение высокого биоразнообразия в данном регионе требует проведения регулярного эколого-фитовирусологического мониторинга, как в естественных, так и агробиоценозах.

Ключевые слова

Фитовирус, штаммовое разнообразие, *Carlavirus*, *Cucumovirus*, *Nepovirus*, *Potexvirus*, *Potyvirus*, *Tobamovirus*.

Diversity of phytovirus strains in the South of the Russian Far East

Nadezhda N. Kakareka¹, Yuri G. Volkov¹, Valentina F. Tolkach¹ and Mikhail Yu. Shchelkanov^{1,2,3}

¹Federal Scientific Center for East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

³G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Russian Federal Service for the Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Vladivostok, Russia

Principal contact

Nadezhda N. Kakareka, PhD in Biology,
Leading Researcher, Laboratory of Virology,
Federal Research Centre for Terrestrial Biota
Biodiversity of East Asia, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, 159/1 100th
Anniversary of Vladivostok Ave., Vladivostok,
Russia 6900022
Tel. +79084539021
Email kakareka@biosoil.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2567-0452>

How to cite this article

Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F.,
Shchelkanov M.Yu. Diversity of phytovirus strains in
the South of the Russian Far East. *South of Russia:
ecology, development*. 2024; 19(3):18-34. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-2

Received 23 April 2024

Revised 16 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim: to systematise data on the strain diversity of phytoviruses isolated in the South of the Russian Far East based on the analysis of the funds of the Russian Collection of East Asian Viruses of the Laboratory of Virology of the Federal Research Centre for Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

The paper considers strains belonging to representatives of the genera *Carlavirus* (Tymovirales: Betaflexiviridae) (potato virus M, potato virus S, *Vicia pseudorobus* necrotic mosaic virus, lily symptomless virus); *Cucumovirus* (Martellivirales: Bromoviridae) (tomato aspermy virus, cucumber mosaic virus); *Nepovirus* (Picornavirales: Secoviridae) (raspberry ringspot virus, tobacco ringspot virus, tomato ringspot virus, dayflower mosaic virus, *Phryma asiatica* mosaic virus, *Capsicum annuum* necrotic spot virus, foenugreek necrotic spot virus); *Potexvirus* (Tymovirales: Alphaflexiviridae) (potato aucuba mosaic virus, potato virus X, white clover mosaic virus, *Plantago asiatica* mosaic virus, hydrangea ringspot virus, lily virus X); *Potyvirus* (Patatavirales: Potyviridae) (Onion yellow dwarf virus, *Trifolium hybridum* yellow mosaic virus, bean yellow mosaic virus, potato virus A, potato virus Y, *Trifolium repens* mottle virus, *Hippeastrum* mosaic virus, mountain clover mosaic virus, soybean mosaic virus, *Tradescantia albiflora* mosaic virus, turnip mosaic virus, bean common mosaic virus, soybean weak mosaic virus, soybean chlorotic deformation virus); *Tobamovirus* (Martellivirales: Virgaviridae) (cucumber green mottle mosaic virus, tobacco mosaic virus, tomato mosaic virus).

The level revealed of strain variety of phytoviruses in the South of the Russian Far East as a reflection of the high biodiversity in this region requires regular ecological and phytovirusological monitoring in both natural and agrobiocenoses.

Key Words

Phytovirus, strain diversity, *Carlavirus*, *Cucumovirus*, *Nepovirus*, *Potexvirus*, *Potyvirus*, *Tobamovirus*.

ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие оледенения на территории юга российского Дальнего Востока в последнюю (валдайскую, или вюрмскую) ледниковую эпоху (115–11 тыс. лет назад) во многом предопределило здесь высокий уровень биологического разнообразия и эндемизма флоры [1] и фауны [2]. Регион характеризуется высоким уровнем активности природных очагов инфекционных заболеваний [3], включая патологии растений вирусной этиологии, связанные с фитовирусами [4].

Комплексные эколого-фитовирусологические исследования в 1962 г. на регулярной основе проводятся лабораторией вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН; изолированные штаммы депонируются в Российскую коллекцию вирусов Восточной Азии (РКВВА), функционирующей на базе этого подразделения [5].

Цель настоящей работы – систематизировать данные по штаммовому разнообразию фитовирусов, изолированных на юге российского Дальнего Востока, на основе анализа фондов РКВВА.

ОБСУЖДЕНИЕ

Потивирусы (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*) являются наиболее многочисленным и варибельным родом фитовирусов, который характеризуется значительным штаммовым разнообразием. В процессе мониторинга на юге российского Дальнего Востока выявлено 14 потивирусов: желтой карликовости лука (OYDV – Onion yellow dwarf virus), желтой мозаики клевера гибридного (ThYMV – *Trifolium hybridum* yellow mosaic virus), желтой мозаики фасоли (BYMV – Bean yellow mosaic virus), картофеля А (PVA – Potato virus A), картофеля Y (PVY – Potato virus Y), крапчатости клевера ползучего (TrMtV – *Trifolium repens* mottle virus), мозаики гиппеаструма (HiMV – *Hippeastrum* mosaic virus), мозаики горного клевера (MCMV – Mountain clover mosaic virus), мозаики сои (SMV – Soybean mosaic virus), мозаики традесканции белоцветковой (TaMV – *Tradescantia albiflora* mosaic virus), мозаики турнепса (TuMV – Turnip mosaic virus), обыкновенной мозаики фасоли (BCMV – Bean common mosaic virus), слабой мозаики сои (SWMV – Soybean weak mosaic virus), хлоротической деформации сои (SCDV – Soybean chlorotic deformation virus) [6–8].

Безоболочечный нитевидный вирион (10–20 × 650–900 нм) потивирусов, спиральной симметрии (рис. 1) включает одноцепочечную линейную РНК положительной полярности (9–12 × 10³ нт), 5'-конец которой ковалентно связан с белком VPg. Штаммовое разнообразие (табл. 1) проявляется в различных распределениях вирионов по размеру, антигенным и физико-химическим свойствам нуклеокапсидных белков, формирующих вирион [6; 8].

Часто встречающиеся на дикорастущих видах бобовых растений MCMV, ThYMV и TrMtV обладают антигенным родством с BYMV, однако несколько отличаются от последнего по симптоматике, спектру растений-хозяев и физико-химическим характеристикам, что позволяет рассматривать их как самостоятельные виды [8; 9].

На российском Дальнем Востоке изолировано большое количество штаммов PVY, имеющие тонкие отличия по антигенным характеристикам и свойствам капсидного белка (термостабильность, устойчивость к протеолизу, молекулярная масса) [4; 10]. На основе

данных иммунохимического и молекулярно-генетического анализа можно предполагать, что некоторые варианты этого вируса интродуцированы из других регионов, однако вследствие высокой генетической лабильности PVY и высокой интенсивности рекомбинации фрагментов его генома многие генетические маркеры интродуцированных штаммов широко представлены в регионе [11].

Штаммы SMV по своим биологическим свойствам имеют выраженное подразделение на три группы, получившие обозначения SMV-A, SMV-B, SMV-C. Группа SMV-A включает слабопатогенные варианты SMV, широко распространенные в Амурской обл., Хабаровском крае и северных районах Приморского края. При заражении штаммами этой группы симптомы заболевания выражены очень слабо. Среднепатогенные штаммы, вызывающие деформацию листовой пластинки, замедление роста центральной жилки (в результате чего лист приобретает характерный пузырчато-морщинистый вид), появление чередующихся пятен желтовато- и светло-зеленой окраски, формируют группу SMV-B. Штаммы группы SMV-B распространены по всему Дальнему Востоку России, ими же поражены большинство сортов сои, возделываемых как в нашей стране, так и в КНР. Высоковирулентные штаммы из группы SMV-C вызывают обширную некротизацию листовой пластинки вплоть до гибели растения. Штаммы этой группы обнаружены в Приханкайской низменности [8; 12–14].

В Амурской обл., Хабаровском и Приморском краях выявлены несколько изолятов BYMV. В научной литературе описано несколько десятков штаммов этого вируса. В РКВВА хранятся 5 штаммов: из сои (*Glycine max*), клевера (*Trifolium pratense*), гороха (*Pisum sativum*) и фасоли (*Phaseolus vulgaris*), различающиеся не только по биологическим свойствам, но и строением капсидного белка и антигенными характеристиками [15].

В последние годы на российском Дальнем Востоке отмечено широкое распространение заболеваний, вызванных BYMV, на декоративных и овощных растениях семейств ирисовых (Iridaceae), кизиловых (Cornaceae) и тыквовых (Cucurbitaceae): на аюкубе японской (*Aucuba japonica*) обнаружены симптомы стягивания главной жилки и сильного скручивания листьев; на тигридии павлиньей (*Tigridia pavonia*) – хлоротической штриховатости; на ирисе гибридном (касатике садовом) (*Iris × hybrida*) – хлоротической пятнистости и штриховатости; на гладиолусе гибридном (*Gladiolus × hybridus*) – яркой хлоротической полосчатости; на тыкке гигантской (*Cucurbita maxima*) – желтой мозаичностью, способной сливаться в крупные желтые пятна, скручиванием листа, начиная от его дистального конца [16]. При этом, на электронномикроскопических фотографиях вирусные частицы штамма из ириса гибридного и шпажника более варибельны по размерам, однако круг растений-индикаторов включает в себя только растения из семейства Fabaceae – это отличает их от типичных вариантов BYMV, имеющих потенциальных хозяев из других семейств. Несколько особняком стоит штамм BYMV из аюкубы японской: во-первых, экспериментальный круг растений-хозяев узко специализирован и ограничен только несколькими видами из семейства Fabaceae; во-вторых, он имеет довольно высокую для дальневосточ-

ных штаммов ВУМВ точку термической инактивации (ТТИ), равную 70–75 °С; в-третьих, этот штамм имеет выраженные антигенные отличия от других вариантов ВУМВ. Нельзя исключить, что будущие молекулярно-

генетические исследования приведут к выделению штамма от аукубы японской в новый вид в составе *Potyvirus*.

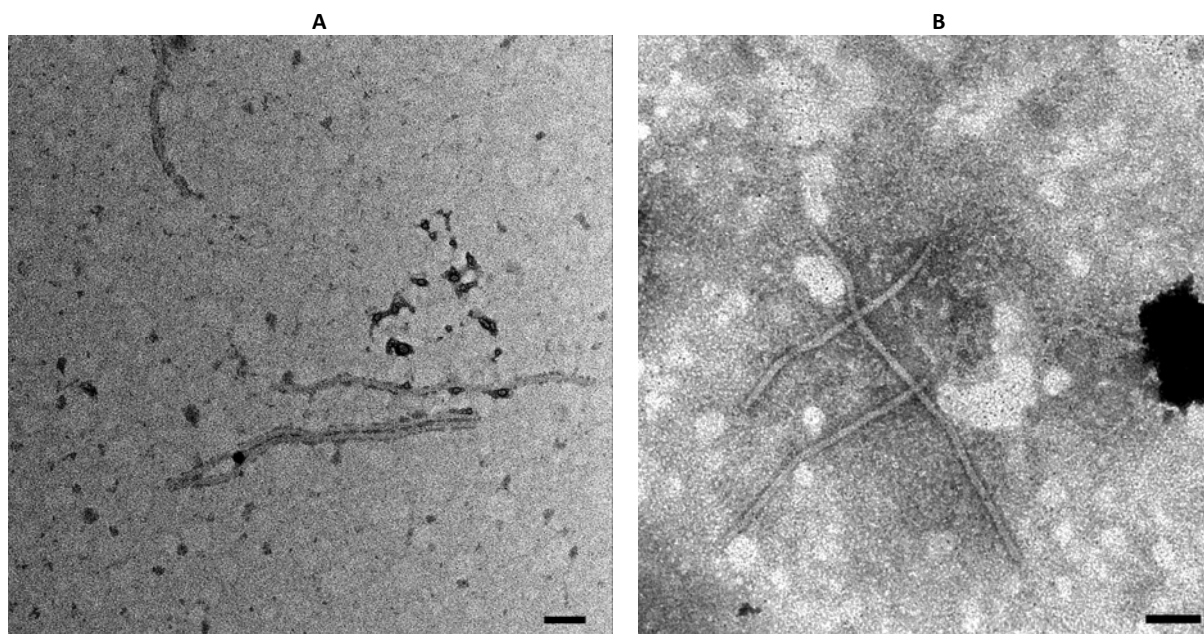


Рисунок 1. Электронно-микроскопические фотографии двух штаммов потивируса жёлтой мозаики фасоли (из фонда РКВВА): А – из гладиолуса; В – из тыквы. Длина масштабной полоски соответствует 100 нм
Figure 1. Electron microscopic photographs of two strains of yellow bean mosaic potyvirus (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): А – from gladiolus; В – from pumpkin. The length of the bar corresponds to 100 nm

Таблица 1. Штаммы потирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)
Table 1. *Potyvirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
SMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Приморский край, с. Струговка Primorsky krai, Strugovka	1968	Угнетение роста, ярко-зеленая мозаика, сморщивание листьев Growth stunting, bright green mosaic, leaf rolling
BCMV	Фасоль обыкновенная / Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Приморский край, с. Струговка Primorsky krai, Strugovka	1968	Желтая мозаика, некротическая пятнистость Yellow mosaic, necrotic spotting
PVA	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Михайловка Primorsky krai, Mikhaylovka	1971	Пожелтение и некротическая пятнистость листьев Yellowing and necrotic spotting of leaves
PVA	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Хороль Primorsky krai, Khorol	1971	Пожелтение, некротическая пятнистость листьев и загибание краев листовой пластинки Yellowing, necrotic leaf spotting and bending of the edges of the leaf blade
SMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	1972	Угнетение роста, ярко-зеленая мозаика, сморщивание листьев Growth stunting, bright green mosaic, leaf rugosity
OYDV	Лук репчатый / Onion (<i>Allium cepa</i>)	Приморский край, с. Пуциловка Primorsky krai, Putsilovka	1974	Угнетение роста, пожелтение, уплощение и скручивание стрелок Growth stunting, yellowing, flattening and twisting of the arrows
HiMV	Гиппеаструм / <i>Hippeastrum</i> (<i>Hippeastrum</i> sp.)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	1974	Яркая желтая мозаика, обвисание листьев Bright yellow mosaic, leaf wilting

BCMV	Клевер луговой / Red clover (<i>Trifolium pratense</i>)	Приморский край, с. Струговка Primorsky krai, Strugovka	1975	Желтая мозаика, некротическая пятнистость Yellow mosaic, necrotic spotting
MCMV	Клевер горный / Mountain clover (<i>Trifolium montanum</i>)	Приморский край, с. Сергеевка Primorsky krai, Sergeevka	1976	Угнетение роста, желтая мозаика Growth stunting, yellow mosaic
SMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Хабаровский край, г. Хабаровск Khabarovskiy krai Khabarovsk	1977	Угнетение роста, ярко-зеленая мозаика, сморщивание листьев Growth stunting, bright green mosaic, leaf rugosity
OYDV	Лук репчатый / Onion (<i>Allium cepa</i>)	Приморский край, с. Черниговка Primorsky krai, Chernigovka	1979	Резкое угнетение роста, пожелтение и перегибание стрелок Sharp inhibition of growth, yellowing and bending of the arrows
TaMV	Традесканция белоцветковая / (<i>Tradescantia albiflora</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	1979	Полосчатая мозаика, скручивание листовой пластинки Striped mosaic, leaf rolling
HiMV	Гиппеаструм / Hippeastrum (<i>Hippeastrum</i> sp.)	Приморский край, г. Артем Primorsky krai, Artem	1983	Желтая мозаика, обвисание листьев Yellow mosaic, leaf wilting
TrMtV	Клевер ползучий / White clover (<i>Trifolium repens</i>)	Приморский край, г. Находка Primorsky krai, Nakhodka	1987	Посветление жилок, желтая мозаика Vein clearing, yellow mosaic
TuMV	Пекинская капуста / Napa cabbage (<i>Brassica rapa pekinensis</i>)	Приморский край, г. Уссурийск Primorsky krai, Ussuriysk	1988	Желтая мозаика и скручивание листьев Yellow mosaic and leaf rolling
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1992	Мозаика с некрозами на нижних листьях Mosaic with necrosis on the lower leaves
BYMV	Гладиолус гибридный / Gladiolus hybridus (<i>Gladiolus</i> × <i>hybridus</i>)	Приморский край, г. Уссурийск Primorsky krai, Ussuriysk	1993	Штриховатая мозаика Streak mosaic
ThYMV	Клевер гибридный / Alsike clover (<i>Trifolium hybridum</i>)	Приморский край, с. Сергеевка Primorsky krai, Sergeevka	1994	Желтая мозаика, скручивание листьев Yellow mosaic, leaf rolling
SMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	1995	Угнетение роста, ярко-зеленая мозаика, набухание и морщинистость листьев Growth stunting, bright green mosaic, swelling and wrinkling of leaves
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Хабаровский край, г. Хабаровск Khabarovskiy krai, Khabarovsk	1996	Мозаика с некротизацией нижних листьев Mosaic with necrotizing of the lower leaves
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	1996	Крупные желтые пятна на листьях Large yellow spots on the leaves
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Хабаровский край, г. Хабаровск Khabarovskiy krai, Khabarovsk	1996	Некротизация жилок на нижних листьях, на клубнях при хранении образуются светлые слегка углублённые кольца Necrotization of veins on the lower leaves, light slightly recessed rings are formed on the tubers during storage
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, г. Дальнегорск Primorsky krai, Dalnegorsk	1998	Мозаика с некрозами на нижних листьях, на клубнях при хранении вызывает некротические пятна, постепенно углубляющиеся и растрескивающиеся Mosaic with necrosis on the lower leaves, it causes necrotic spots on tubers during storage, gradually deepening and cracking
PVY	Хмель японский / Japanese hops (<i>Humulus japonicus</i>)	Приморский край, г. Уссурийск Primorsky krai, Ussuriysk	2001	Жёлтая пятнистость Yellow spotting

PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Китай, провинция Цзилинь China, Jilin Province	2001	Симптомы не описаны Unknown symptoms
BYMV	Клевер луговой / Red clover (<i>Trifolium pratense</i>)	Приморский край, п. Тимирязевский Primorsky krai, Timiryazevsky	2002	Полосчатая светло-зелёная мозаика Striped light green mosaic
PVY	Репешок волосистый / Hairy agrimony (<i>Agrimonia pilosa</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoye	2002	Жилковая мозаика Vein mosaic
SCDV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	2003	Хлороз и деформация листьев Chlorosis and leaf deformation
PVY	Пион молочнокветковый / White peony (<i>Paeonia lactiflora</i>)	Приморский край, с. Камень-Рыболов Primorsky krai, Kamen-Rybolov	2003	Яркая жёлтая пятнистость, жёлтая крапчатость Bright yellow spotting, yellow mottling
SWMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	2004	Посветление жилок, бледно-желтая мозаичность Vein clearing, pale yellow mosaic
BYMV	Фасоль обыкновенная / Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Приморский край, с. Черниговка Primorsky krai, Chernigovka	2004	Яркая жёлтая мозаика Bright yellow mosaic
PVY	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, п. Тимирязевский Primorsky krai, Timiryazevsky	2004	Некротизация нижних листьев Necrotization of the lower leaves
BYMV	Клевер луговой / Red clover (<i>Trifolium pratense</i>)	Приморский край, п. Тимирязевский Primorsky krai, Timiryazevsky	2012	Яркая жёлтая мозаика Bright yellow mosaic
BCMV	Фасоль обыкновенная / Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Приморский край, с. Ивановка Primorsky krai, Ivanovka	2017	Желтая мозаика, некротическая пятнистость Yellow mosaic, necrotic spotting
SMV	Соя / Soybean (<i>Glycine max</i>)	Амурская область, г. Благовещенск Amur region, Blagoveshchensk	2019	Угнетение роста, ярко-зеленая мозаика, сморщивание листьев Growth stunting, bright green mosaic, wrinkling of leaves

Тобамовирусы (Martellivirales: Virgaviridae, *Tobamovirus*) отличаются не только высокой генетической вариабельностью, но и большим количеством известных науке видов (в настоящее время, 38, но это явно не предел). Представители этого рода имеют безоболочечный палочковидный вирион (18–20 × 300–310 нм) со спиральной симметрией укладки нуклеокапсидных белков; заметно более длинные частицы, выявляемые на электронно-микроскопических фотографиях, являются результатом агрегации вирионов и обломков частиц (рис. 2). Геном представлен одноцепочечной линейной РНК положительной полярности протяжённостью 6,2–6,7 нт, 5'-конец которой экранирован, а 3'-конец имеет тРНК-подобную структуру [4; 17; 18].

На российском Дальнем Востоке род *Tobamovirus* представлен тремя видами: зеленой крапчатой мозаики огурца (CGMMV – Cucumber green mottle mosaic virus), табачной мозаики (TMV – Tobacco mosaic virus) и томатной мозаики (ToMV – Tomato mosaic virus). Название таксона происходит от английского названия TMV – самого первого представителя домена

Virae – описанного в 1892 г. русским физиологом растений Д.И. Ивановским [4].

В РКВВА поддерживаются штаммы TMV из зорьки халкидонской (*Lychnis chalcidonica*), белены черной (*Hyoscyamus niger*), петунии гибридной (*Petunia × hybrida*), табака душистого (*Nicotiana glauca*), нарцисса букетного (тацетта) (*Narcissus tazetta*), ириса гибридного (*Iris × hybrida*), баклажана (*Solanum melongena*) и перца овощного (*Capsicum annuum*). Штаммы имеют различия в круге потенциальных хозяев, симптомах на индикаторных растениях, физико-химических и антигенных свойствах (табл. 2) [4]. Наиболее интересными являются штаммы из ириса гибридного, нарцисса букетного и перца овощного: первый из них характеризуется относительно низкой для тобамовирусов ТТИ (75–80 °С); второй вызывает локальные некрозы без развития системной инфекции практически на всех видах пасленовых (Solanaceae); последний не заражает табак обыкновенный сорта Самсун (*Nicotiana tabacum* cv. Samsun), который является основным хозяином-накопителем для тобамовирусов. По-видимому, следует верифицировать гипотезу о самостоятельном видовом статусе этих штаммов TMV.

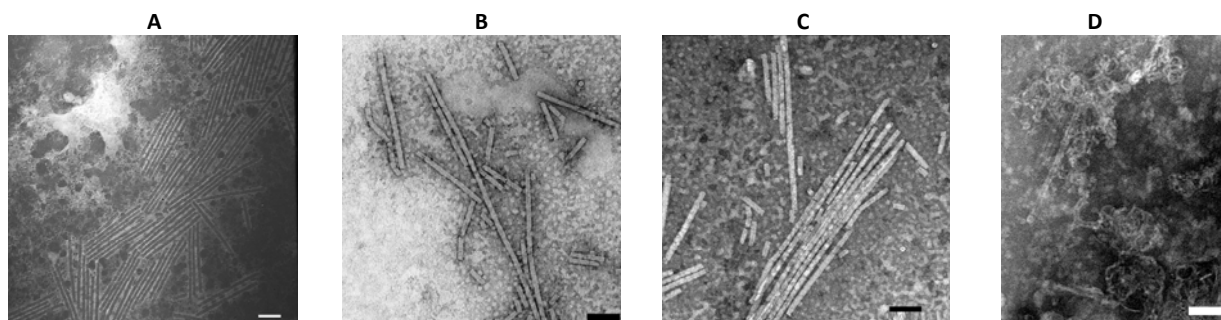


Рисунок 2. Электронно-микроскопические фотографии четырёх штаммов тобамовирусов (из фонда РКВВА): А – табачной мозаики, прототипный дальневосточный штамм ОМ, из табака сорта Самсун; В – томатной мозаики из овощного перца; С – томатной мозаики из томата; D – томатной мозаики из баклажана. Длина масштабной полоски соответствует 100 нм

Figure 2. Electron microscopic photographs of four strains of tobamoviruses (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): A – tobacco mosaic virus, prototypical Far Eastern strain OM, from Samsun tobacco; B – tomato mosaic virus from vegetable pepper; C – tomato mosaic virus from tomato; D – tomato mosaic virus from eggplant. The length of the bar corresponds to 100 nm

Таблица 2. Штаммы тобамовирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)
Table 2. *Tobamovirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
CGMMV	Огурец обыкновенный / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	Приморский край, п. Тавричанка Primorsky kraj, Tavrichanka	1971	Яркая зеленая мозаика, деформация листьев Bright green mosaic, leaf deformation
TMV	Белена черная / Black henbane (<i>Hyoscyamus niger</i>)	Приморский край, с. Суражевка Primorsky kraj, Surazhevka	1973	Симптомы не описаны Unknown symptoms
TMV	Цифомандра / Tamarillo (<i>Cyphotandra betacea</i>)	Приморский край, г. Артем Primorsky kraj, Artem	1973	Симптомы не описаны Unknown symptoms
TMV	Душистый табак / Sweet tobacco (<i>Nicotiana glauca</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1975	Мозаика и морщинистость листьев Mosaic and leaf rugosity
Нет данных No data	Зорька халкидонская / <i>Silene chalcedonica</i> (<i>Lychnis chalcedonica</i>)	Приморский край, г. Артем Primorsky kraj, Artem	1975	Светло-зеленая окраска и слабая мозаика Light green color and faint mosaic
TMV	Ирис гибридный / (<i>Iris × hybrida</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1979	Штриховатая мозаика Streak mosaic
TMV	Нарцисс букетный / bunch-flowered daffodil (<i>Narcissus tazetta</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1980	Бессимптомно Symptomless
TMV	Петуния / Petunia (<i>Petunia × hybrida</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1980	Угнетение роста, мозаика, закручивание листьев Growth stunting, mosaic, leaves rolling
TMV	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Пуциловка Primorsky kraj, Putsilovka	1980	Ярко-зелёная мозаика Bright green mosaic
ToMV	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, г. Уссурийск Primorsky kraj, Ussuriysk	1982	Мозаика с легкой деформацией листьев Mosaic with a slight deformation of the leaves
Нет данных No data	Ирис гладкий / Shallow- flowered iris (<i>Iris laevigata</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1982	Штриховатая мозаика Streak mosaic
Нет данных No data	Нарцисс обыкновенный / Nargis (<i>Narcissus poeticus</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky kraj, Vladivostok	1985	Жёлтая полосатость с деформацией листьев Yellow banding with leaves deformation

Нет данных No data	Нарцисс обыкновенный / Nargis (<i>Narcissus poeticus</i>)	Приморский край, г. Уссурийск Primorsky krai, Ussuriysk	1985	Бессимптомно Symptomless
TMV	Перец овощной / Bell pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1986	Мозаика с деформацией листьев, слабо заметная кольцевая мозаика Mosaic with deformed leaves, faintly visible ring mosaic
TMV	Перец овощной / Bell pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	Северная Корея, г. Пхеньян North Korea, Pyongyang	1995	Симптомы не описаны Unknown symptoms
ToMV	Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Приморский край, с. Суражевка Primorsky krai, Surazhevka	1998	Яркая хлоротичная мозаика с деформацией листьев Bright chlorotic mosaic with leaf deformation
TMV	Баклажан / (<i>Solanum melongena</i>)	Приморский край, с. Суражевка Primorsky krai, Surazhevka	1998	Слабая хлоротичная пятнистость с лёгкой деформацией листьев Weak chlorotic spotting with slight leaf deformation
ToMV	Перец овощной / Bell pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	Приморский край, с. Суражевка Primorsky krai, Surazhevka	1998	Хлоротичная мозаика Chlorotic mosaic
ToMV	Баклажан / Eggplant (<i>Solanum melongena</i>)	Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре Khabarovskiy krai, Komsomolsk-on-Amur	2008	Очень слабая зелёная мозаика Very faint green mosaic
TMV	Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре Khabarovskiy krai, Komsomolsk-on-Amur	2008	Угнетение роста Growth stunting
ToMV	Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoe	2013	Деформация листьев, жёлтая пятнистость Leaf deformation, yellow spotting

Кукумовирусы (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*) на российском Дальнем Востоке представлены 2 вирусами: аспермии томатов (TAV – Tomato aspermy virus) и огуречной мозаики (CMV – Cucumber mosaic virus). У представителей этого рода имеются безоболочечные вирионы икосаэдрической симметрии диаметром 28-30 нм (рис. 3). Геномная одноцепочечная линейная РНК позитивной полярности трехсегментная;

её суммарная протяжённость $8,5-9,4 \times 10^3$ нт. На 5'-конце имеется кэп, а 3'-конец имеет тРНК-подобную структуру. Каждый генетический сегмент формирует собственный вирион, что приводит высокому уровню разнообразия вирионов даже по плавучей плотности [4; 16; 19].

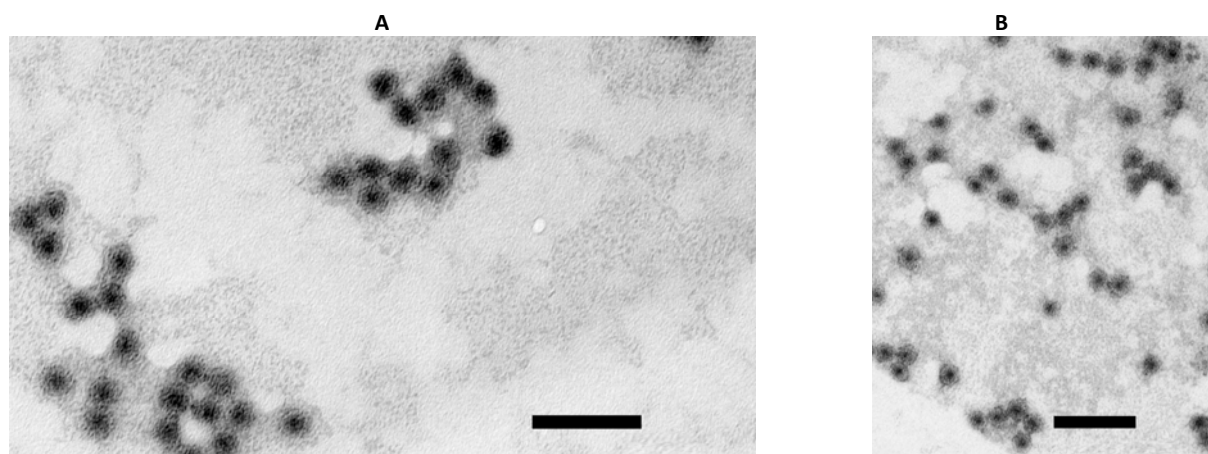


Рисунок 3. Электронно-микроскопические фотографии двух штаммов кукумовируса огуречной мозаики (из фонда РКВВА): А – из баклажана; В – из овощного перца. Длина масштабной полоски соответствует 100 нм
Figure 3. Electron microscopic photographs of two strains of cucumber mosaic virus (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): А – from eggplant; В – from bell pepper. The length of the bar corresponds to 100 nm

Наиболее широко в регионе распространен CMV – в РКВВА хранятся 15 штаммов этого вируса, изолированных из различных видов растений в различных географических зонах Дальнего Востока (в том числе – в КНДР и КНР), 3 штамма поддерживаются путем непрерывного пассирования на тест-растениях. Сравнительное изучение коллекционных штаммов выявило наименьшее антигенное родство штаммов CMV из картофеля с территории КНР и из сои с территории КНДР [20]. Последний из перечисленных штаммов вызывает на зараженных растениях табака локальную некротическую реакцию и относится к чрезвычайно редкому для российского Дальнего Востока «бобовому» варианту серотипа DTL [21].

Высокий уровень экстенсивности заражения CMV культурных растений часто приводит к коинфекции различными штаммами и формированию смешанных штаммов. Например, именно к смешанным штаммам относится штамм CMV из огурца с территории КНДР, что подтверждается наличием у него двух вариантов капсидного белка, отличающихся по электрофоретической подвижности; при этом, учет данных серотипирования позволяет отнести один из компонентов к CMV серотипа ToRS [21], а второй – к распространенному в Приморском крае «картофельному» серотипу, прототипным вариантом для которого является штамм CMV из картофеля сорта Аноста.

Фитосанитарный мониторинг вирусных болезней растений в агро- и естественных биоценозах юга российского Дальнего Востока показал, что

заболевания, вызываемые CMV, широко распространены. Этот фитовирус является одним из наиболее опасных, в том числе – и для декоративных культур (табл. 3). Например, штаммы CMV были изолированы из следующих декоративных растений, имевших разнообразные патологические проявления инфекционного процесса [4; 22]: бальзамина (*Impatiens balsamina*) с симптомами светлой окраски листьев, слабой облиственностью и обильным цветением с последующим пожелтением листьев и быстрым увяданием и осыпанием цветков; гладиолуса гибридного (*Gladiolus* × *hybridus*) с симптомами темноокрашенных продолговатых пятен на лепестках цветков и светло-зелеными штрихами на листьях; дельфиниума гибридного (*Delphinium* × *hybridum*) с желтой кольцевой пятнистостью на листьях, деформированными и уменьшенными в размерах цветками; канны индийской (*Canna indica*) с симптомами в форме чередующихся полос желтого и светло-зеленого цвета на листьях, продолговатыми некротическими пятнами на лепестках цветков; лилии тигровой (*Lilium tigrinum*) с симптомами светло-зеленой и буровато-зеленой штриховатой мозаики; примулы обратноконической (*Primula obconica*) с морщинистой мозаикой листьев, измельченностью и обесцвеченной пятнистостью цветков; эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) с посветлением жилок, с развитием в морщинистую мозаику, и лепестками цветков с рваными краями.

Таблица 3. Штаммы кукумовирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)
Table 3. *Cucumovirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
CMV	Картофель сорта Аноста / Anosta Potato (<i>Solanum tuberosum</i> cv. Anosta)	Приморский край, с. Пуциловка Primorsky krai, Putsilovka	1998	Симптомы не описаны Unknown symptoms
CMV	Огурец / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	Китай, г. Харбин China, Harbin	1998	Симптомы не описаны Unknown symptoms
CMV	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Китай, провинция Цзилинь China, Jilin Province	1998	Симптомы не описаны Unknown symptoms
CMV	Огурец / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	Северная Корея, г. Пхеньян North Korea, Pyongyang	1999	Симптомы не описаны Unknown symptoms
CMV	Огурец / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	Приморский край, с. Михайловка Primorsky krai, Mikhaylovka	2006	Хлороз жилок и деформация листовой пластинки Vein chlorosis and leaf blade deformation
CMV	Хоста подорожниковая / White echeveria (<i>Hosta plantaginea</i>)	Приморский край, г. Артем Primorsky krai, Artem	2015	Кольцевая пятнистость Ringspotting
CMV	Водосбор / Hybrid columbines (<i>Aquilegia</i> × <i>hybrida</i>)	Приморский край, п. Зарубино Primorsky krai, Zarubino	2016	Хлороз жилок Vein chlorosis
TAV	Хризантема / Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum</i> sp.)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2017	Вытянутость листьев, стягивание центральной жилки Leaf narrowing, central vein reduction
CMV	Лимонник китайский / Chinese woody vine (<i>Schisandra chinensis</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2018	Деформация и уродливость листьев Deformation and malformation of leaves

CMV	Сирень обыкновенная / Common lilac (<i>Syringa vulgaris</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2018	Яркая кольцевая мозаика Bright ring mosaic
CMV	Астильба китайская / Chinese astilbe (<i>Astilbe chinensis</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2018	Хлоротичная штриховатость Chlorotic streaking
TAV	Хризантема / <i>Chrysanthemum</i> (<i>Chrysanthemum</i> sp.)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2020	Вытянутость листьев, стягивание центральной жилки Leaf narrowing, central vein reduction
CMV	Огурец / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2023	Яркая хлоротичная крапчатость Bright chlorotic mottling
CMV	Кабачок / Zucchini (<i>Cucurbita pepo pepo</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2023	Кустистая карликовость, деформация и хлороз Bushy dwarfism, deformation and chlorosis

В XXI веке CMV-подобная симптоматика постоянно выявляется на растениях из семейств норичниковых (Scrophulariaceae), пасленовых (Solanaceae), мальвовых (Malvaceae), орхидных (Orchidaceae), астровых (Asteraceae) и тутовых (Moraceae) в Приморском и Хабаровском краях, Еврейской автономной, Амурской и Сахалинской областях.

Потексвирусы (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*) встречаются на юге российского Дальнего Востока как на дикорастущих, так и на культивируемых видах растений. Безоболочечные жгутообразные вирионы потексвирусов со спиралевидной симметрией (рис. 4) могут значительно варьировать по длине

(12 × 450–950 нм). Геном состоит из одноцепочечной линейной РНК позитивной полярности (5,9–7,0 × 10³ нт), которая 5-кэпирована и 3'-полиаденилирована.

В регионе изолированы 6 потексвирусов: картофеля F, или аюкуба-мозаики картофеля (PAMV – Potato aucuba mosaic virus), картофеля X (PVX – Potato virus X), мозаики клевера белого (WCIMV – White clover mosaic virus), мозаики подорожника азиатского (PIAMV – *Plantago asiatica* mosaic virus), кольцевой пятнистости гортензии (HRSV – *Hydrangea ringspot* virus) (табл. 4) и X вируса лилии (LVX – Lily virus X) [4; 10].

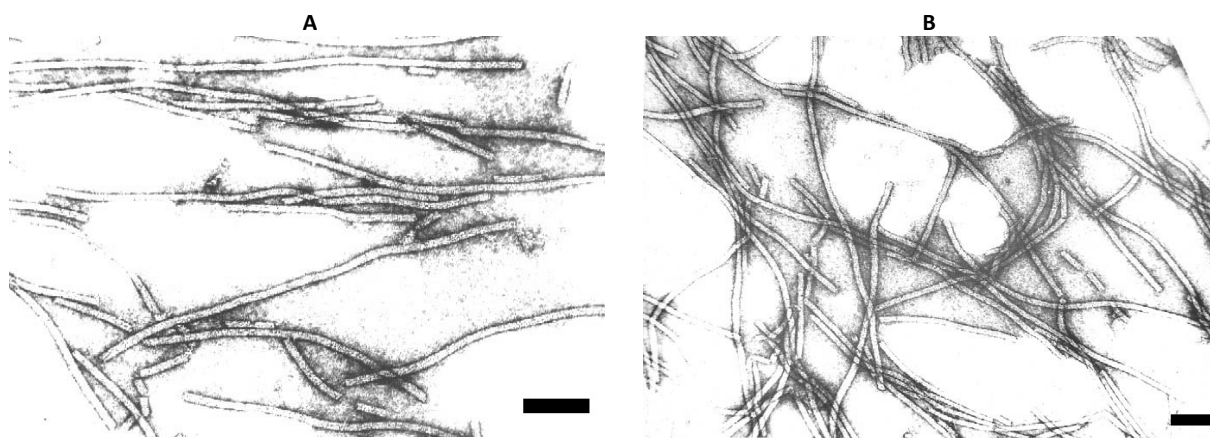


Рисунок 4. Электронно-микроскопические фотографии двух штаммов потексвируса мозаики подорожника азиатского из целозии гребенчатой (из фонда РКВВА): А – приморский штамм; В – сахалинский штамм.

Длина масштабной полоски соответствует 100 нм

Figure 4. Electron microscopic photographs of two strains of Asian plantain mosaic potexvirus from *Celosia cristata* (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): А – Primorsky strain; В – Sakhalin strain.

The length of bar corresponds to 100 nm

Дальневосточные штаммы WCIMV хорошо пассируются на целозии гребенчатой (*Celosia argentea* f. *cristata*) по своим патогенетическим свойствам четко дифференцируются на варианты, вызывающие локальные некротические поражения или системную инфекцию [23].

Штаммы PVX значительно различались как по биологическим свойствам – от бессимптомного до так называемой «черной кожи» (в результате сильно-выраженного некроза) [24] – так и географическому распространению (например, штаммы из Приморского и Камчатского краев).

Также по географическому признаку разделены и штаммы PIAMV (приморский и сахалинский), которые различались вызываемыми симптомами и физико-химическими свойствами капсидного белка [25].

Карлавирусы (Tymovirales: Betaflexiviridae, *Carlavirus*) на юге российского Дальнего Востока отличаются значительным штаммовым разнообразием в составе 4 вирусов: картофеля М (PVM – Potato virus M), картофеля S (PVS – Potato virus S), некротической мозаики горошка ложносочевичного (VpNMV – *Vicia pseudorobus* necrotic mosaic virus), бессимптомный

вирус лилии (LSV – Lily symptomless virus). Безоболочечный жгутообразный вирион карлавирусов спиральной симметрии (рис. 5) имеет размеры 12–13 × 450–950 нм и содержит линейную одноцепо-

чечную РНК позитивной полярности (5,8–9,1 × 10³ нт [4; 7; 8]).

Таблица 4. Штаммы потексвирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)

Table 4. *Potexvirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
PAMV	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1968	Ярко-желтая пятнистость и некротические зоны Bright yellow spotting and necrotic zones
PVX	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1969	Желтая мозаика, скручивание листьев Yellow mosaic, leafrolling
PVX	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Камчатский край, г. Елизово Primorsky krai, Chuguevka	1972	Бессимптомно Symptomless
PIAMV	Подорожник азиатский / Asian plantago (<i>Plantago asiatica</i>)	Сахалинская область, г. Долинск Sakhalin region, Dolinsk	1976	Желтая штриховатая мозаика, стягивание жилок Yellow streaked mosaic, vein reduction
PAMV	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1976	Ярко-желтая пятнистость и некротические зоны Bright yellow spotting and necrosis zones
PIAMV	Подорожник азиатский / Asian plantago (<i>Plantago asiatica</i>)	Приморский край, с. Нежино Primorsky krai, Nezhino	1977	Желтая штриховатая мозаика, стягивание жилок Yellow streaked mosaic, vein reduction
WCIMV	Клевер ползучий / White clover (<i>Trifolium repens</i>)	Приморский край, с. Барабаш Primorsky krai, Barabash	1982	Желтая мозаика, скручивание листовой пластинки Yellow mosaic, leafrolling
PVX	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Чугуевка Primorsky krai, Chuguevka	1996	Желтая мозаика, загибание краев листовой пластинки Yellow mosaic, bending of the edges of the leaf blade
LVX	Лилия белоснежная / Madonna Lily (<i>Lilium candidum</i>)	Приморский край, с. Вольно-Надеждинское Primorsky krai, Volno-Nadezhdinskoe	2014	Штриховатая мозаика, деформация листьев Streaked mosaic, leaf deformation

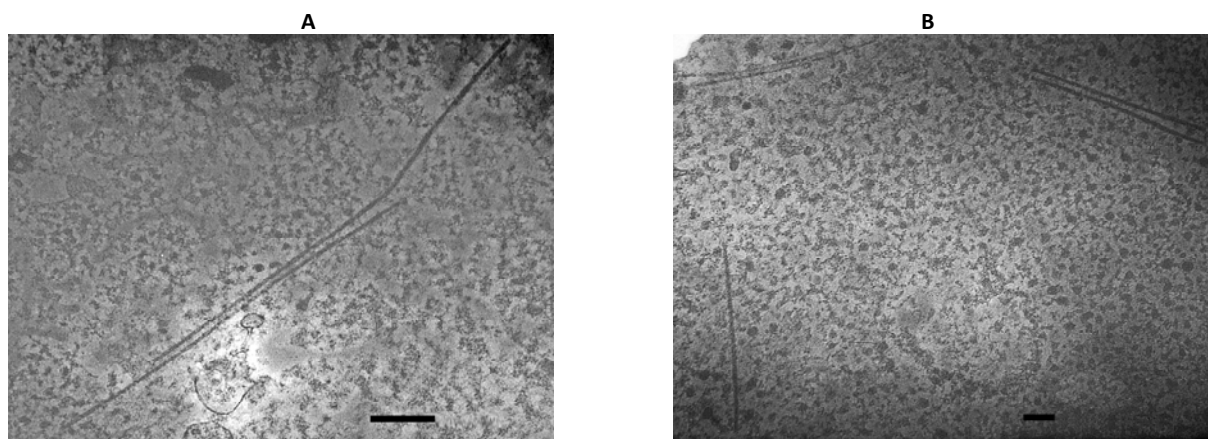


Рисунок 5. Электронно-микроскопические фотографии двух штаммов карлавирусов (из фонда РКВВА):

А – некротической мозаики горошка ложносочевичного из садовых бобов; В – картофеля S из картофеля.

Длина масштабной полоски соответствует 100 нм

Figure 5. Electron microscopic photographs of two strains of carlaviruses (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): A – necrotic mosaic of false-leaved peas from broad bean; B – potato S from potato.

The length of the bar corresponds to 100 nm

Таблица 5. Штаммы карлавирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)
Table 5. *Carlavirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
VpNMV	Горошек ложносочевичный / <i>Pseudobitterpea vetch</i> (<i>Vicia pseudorobus</i>)	Еврейская автономная область, с. Волочаевка Jewish Autonomous Region, Volochnaevka	1992	Некротизация жилок на нижних листьях Necrotization of veins on the lower leaves
VpNMV	Горошек ложносочевичный / <i>Pseudobitterpea vetch</i> (<i>Vicia pseudorobus</i>)	Приморский край, с. Булыга-Фадеево Primorsky krai, Bulyga-Fadeevo	1994	Мозаика на верхних листьях и некротизация жилок на нижних листьях Mosaic on the upper leaves and vein necrosis of on the lower leaves
LSV	Чеснок / Garlic (<i>Allium sativum</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2001	Желтая штриховатая мозаика Yellow streaked mosaic
PVM	Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2002	Стянутость и срастание долек листьев Narrowing and fusion of leaflets
PVM	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Пуциловка Primorsky krai, Putsilovka	2002	Плещелистность (срастание листочков), морщинистость Ivy-like leaves (fusion of leaflets), rugosity
PVS	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Пуциловка Primorsky krai, Putsilovka	2002	Светло-зелёная мозаика Light green mosaic
PVM	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoe	2014	Морщинистость листьев, желтая мозаика Leaf rugosity, yellow mosaic
LSV	Чеснок / Garlic (<i>Allium sativum</i>)	Приморский край, с. Фроловка (посевной материал из Китая, провинции Ляонин) Primorsky krai, Frolovka (seed material from China, Liaoning province)	2015	Желтая штриховатая мозаика, угнетение роста Yellow streak mosaic, growth stunted
PVS	Картофель / Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoe	2016	Светло-зеленая мозаика, лёгкая деформация листьев Light green mosaic, slight deformation of the leaves

Наиболее удобными индикаторными растениями для VpNMV, распространенного в естественных растительных сообществах Дальнего Востока, являются кормовые бобы (*Faba vulgaris*), у которых на верхних неинокулированных листьях через 7–10 сут. после заражения сначала светлеют жилки, а затем развивается хлоротическая крапчатость и резкая деформация базальной части листа. Кроме того, VpNMV хорошо выявляется на марях (*Chenopodium* spp.): белой (*C. album*), гигантской (*C. giganteum*) – реагирующими на заражение крупными некрозами, и киноа (*C. quinoa*) – хлоротическими пятнами, переходящими в некроз жилок (табл. 5). Все 5 штаммов VpNMV, хранящиеся в РКВВА, содержат гомогенную фракцию белков без заметных отличий в их физико-химических свойствах [26].

Неповирусы (Picornavirales: Secoviridae, *Nepovirus*) юга российского Дальнего Востока, в настоящее время, включают в себя вирусы кольцевой пятнистости малины (RpRSV – Raspberry ringspot virus), кольцевой пятнистости табака (TRSV – Tobacco ringspot virus), кольцевой пятнистости томата (ToRSV – Tomato ringspot virus), мозаики коммелины (DFMV – Dayflower mosaic virus), мозаики фимы азиатской (PhAMV – *Phryma asiatica* mosaic virus), некротической пятнистости овощного перца (*CaNSV – Capsicum annuum* necrotic spot

virus), некротической пятнистости пажитника (FoNSV – *Foenugreek necrotic spot virus*) (табл. 6). Безоболочечные вирионы неповирусов (28–30 нм) имеют икосаэдрическую симметрию, но на электронно-микроскопических фотографиях выглядят, скорее, округлыми (рис. 6). Геном представлен двумя сегментами одноцепочечной линейной РНК позитивной полярности: $7,5 \times 10^3$ нт и $3,9 \times 10^3$ нт; каждый генетический сегмент 5'-кэпирован и 3'-полиаденилирован [4; 27].

PhAMV был впервые изолирован в 1976 г. в окрестностях с. Никитовка (Спасский район Приморского края) в нескольких локальных очагах фимы азиатской (*Phryma asiatica*): больные растения имели мозаичную расцветку листьев, иногда с деформацией и некротизацией черешков [28]. Поиск потенциальных растений-хозяев этого вируса включал 44 вида растений из 11 семейств – оказалось, что круг хозяев PhAMV достаточно узок и помимо фимы азиатской включает киноа (*Chenopodium quinoa*), марь гигантскую (*C. amaranticolor*) и свёклу обыкновенную (*Beta vulgaris*). Последний вид оказался удобным индикатором: на инокулированных листьях свёклы появляются некротические пятна, позднее некротизированная ткань чернеет и выпадает [4; 27].

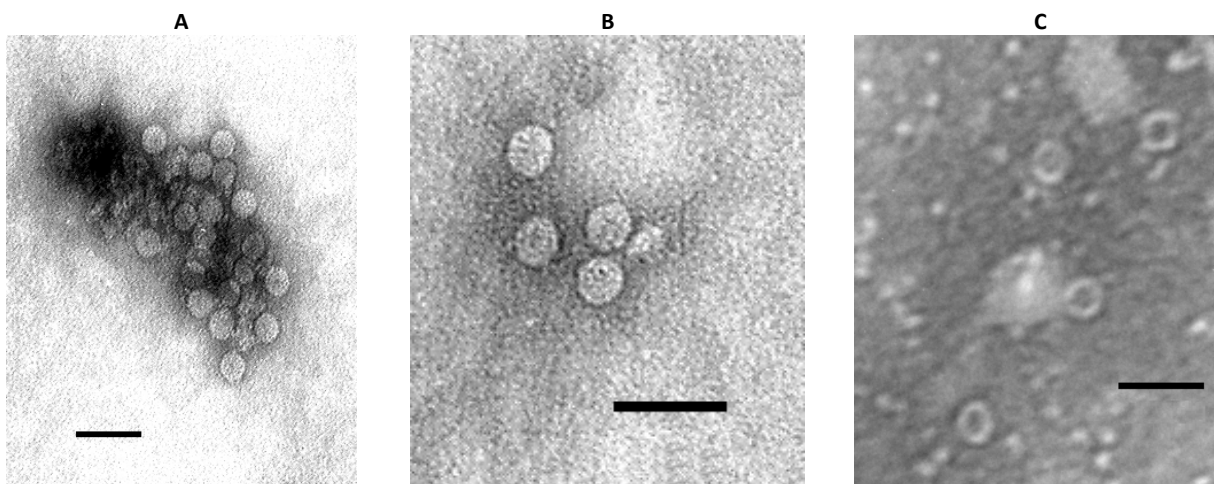


Рисунок 6. Электронно-микроскопические фотографии трех штаммов неповирусов (из фонда РКВВА): А – мозаики фримы азиатской; В – некротической пятнистости овощного перца; С – мозаики коммелины. Длина масштабной полоски соответствует 50 нм

Figure 6. Electron microscopic photographs of three strains of nepoviruses (from the fund of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia): A – *Phryma asiatica* mosaic virus; B – *Capsicum annuum* necrotic spot virus; C – Dayflower mosaic virus. The length of the bar corresponds to 50 nm

Таблица 6. Штаммы неповирусов, изолированные на юге российского Дальнего Востока (по данным РКВВА)

Table 6. *Nepovirus* strains isolated in the South of the Russian Far East (according to the data of the Russian Collection of Viruses from Eastern Asia)

Вирус Virus	Источник изоляции Source of the isolation	Место изоляции Place of the isolation	Год Year	Симптомы Symptoms
PhAMV	Фрима азиатская / Asian phryma (<i>Phryma asiatica</i>)	Приморский край, с. Никитовка Primorsky krai, Nikitovka	1976	Малоконтрастная мозаика, иногда кольцевидной формы Low-contrast mosaic, sometimes ring-shaped
RpRSV	Малина обыкновенная / Red raspberry (<i>Rubus idaeus</i>)	Приморский край, с. Фроловка Primorsky krai, Frolovka	1988	Яркая желтая кольцевая пятнистость Bright yellow ringspotting
FoNSV	Пажитник / Foenugreek (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	Приморский край, с. Суражевка Primorsky krai, Surazhevka	2000	Кольцевая пятнистость, угнетение роста Ringspotting, growth stunting
ToRSV	Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoe	2013	Кольцевая пятнистость Ringspotting
CaNSV	Перец овощной / Bell pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2014	Некротические пятна неправильной кляксовидной формы, угнетение, опадение плодов Necrotic spots of irregular blotchy shape, stunting, fruit fall
TRSV	Баклажан / Eggplant (<i>Solanum melongena</i>)	Приморский край, с. Новицкое Primorsky krai, Novitskoe	2015	Слабозаметная светло-зеленая мозаика Faintly noticeable light green mosaic
DFMV	Коммелина обыкновенная / Asiatic dayflower (<i>Commelina communis</i>)	Приморский край, с. Вольно-Надеждинское Primorsky krai, Volno-Nadezhdinsky	2015	Полосатая мозаика Strip mosaic
PhAMV	Кинза / Coriander (<i>Coryandrum sativum</i>)	Приморский край, с. Фроловка Primorsky krai, Frolovka	2015	Яркая желтая пятнистость, иногда в виде колец Bright yellow spotting, sometimes in the form of rings
DFMV	Коммелина обыкновенная / Asiatic dayflower (<i>Commelina communis</i>)	Приморский край, п. Сибирцево Primorsky krai, Sibirtsevo	2017	Кольцевая пятнистость Ringspotting
DFMV	Бархат амурский / Amur cork tree (<i>Phellodendron amurense</i>)	Приморский край, г. Владивосток Primorsky krai, Vladivostok	2020	Кольцевая пятнистость, деформация листьев, усыхание ветвей Ringspotting, leaf deformation, drying of branches

В 2014 г. в приусадебных хозяйствах Партизанского района Приморского края из перца овощного (*Capsicum annuum*) с некротическими пятнами неправильной кляксовидной формы на листьях был изолирован штамм *Nerovirus/Capsicum annuum/Primorje/2014* [29]. Было показано, что этот штамм способен эффективно заражать 34 вида растений из семейств паслёновых (*Solanaceae*), амарантовых (*Amaranthaceae*), бобовых (*Fabaceae*) и маревых (*Chenopodiaceae*). Наилучшим индикаторным растением оказался дурман вонючий (*Datura stramonium*). Принимая во внимание комплекс антигенных и физико-химических свойств, штамм получил самостоятельный видовой статус [27].

DFMV был впервые изолирован в 2015 г. в Надеждинском районе Приморского края на коммелине обыкновенной (*Commelina communis*) с симптомами мозаики и полосатости. Заболевание легко передавалось на ряд индикаторов из маревых (включая свёклу обыкновенную), амарантовых бобовых, тыквенных (*Cucurbitaceae*) и паслёновых [4; 27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С общебиологических позиций, большое фенотипическое разнообразие характерно для более генетически изменчивых и экологически пластичных более молодых в филогенетическом отношении таксонов. В процессе генетической дивергенции фитовирусов как на видовом, так и на штаммовом уровне соблюдается общеизвестное правило происхождения новых форм от неспециализированных предков [30]. Разумеется, существенное влияние на штаммовое разнообразие оказывают экологические факторы: чем более интенсивны и разнообразны популяционные взаимодействия в системе «вирусы – потенциальные хозяева», тем больше формируется селектирующих факторов различной направленности.

Наличие у TMV, BYMV, PVY и CMV штаммов, как с узким, так и с широким кругом хозяев и может служить основанием для предположения, что в родах *Tobamovirus*, *Potyvirus* и *Cucumovirus* наблюдается ускоренное формирование новых штаммов (и, возможно, – видов), что может всегда иметь неблагоприятные последствия.

Высокое штаммовое разнообразие позволяет фитовирусам быстро селектироваться и закрепляться на новых территориях в результате антропогенного переноса. Например, новый для нашей страны тобамовирус коричневой морщинистости плодов томата (ToBRFV – Tomato brown rugose fruit virus) который является опасным патогеном овощных культур закрытого грунта, томата и овощного перца, в последние несколько лет быстро распространился в странах Европы, Азии и Америки, демонстрируя значительное штаммовое разнообразие и экологическую пластичность, нанося серьёзный ущерб овощеводству [31; 32]. Другими известными примерами быстрой генетической изменчивости и формирования высокого уровня штаммового разнообразия у фитовирусов, приводящие к серьёзному ущербу для растениеводства, – это вирусы курчавой карликовости томата (ToCSV – Tomato curly stunt virus) (Gepelavirales: Geminiviridae, *Begomovirus*) [33] и коричневой полосатости маниока (CBSV – Cassava brown streak virus) (Patavirales: Potyviridae, *Ipomovirus*) [34].

Значительный уровень штаммового разнообразия фитовирусов на юге российского

Дальнего Востока как отражение высокого биоразнообразия в данном регионе требует проведения регулярного эколого-фитовирусологического мониторинга как в естественных, так и агробиотопосадах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крестов П.В., Верхолат В.П. Редкие растительные сообщества Приморья и Приамурья. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2003. 198 с.
2. Щелканов М.Ю., Галкина И.В., Арамиилов С.В., Суровый А.Л., Фоменко П.В., Журавлёв Ю.Н. Дальневосточный банк биологических материалов (ДВ ББМ) от крупных кощачьих (*Pantherinae*) как инструмент совершенствования практики правоприменения статей 226.1 и 258.1 Уголовного Кодекса Российской Федерации // Всероссийский криминологический журнал. 2017. Т. 11. № 1. С. 146–153. [https://www.doi.org/10.17150/2500-4255.2017.11\(1\).146-153](https://www.doi.org/10.17150/2500-4255.2017.11(1).146-153)
3. Запорожец Т.С., Беседнова Н.Н., Калинин А.В., Сомова Л.М., Щелканов М.Ю. 80 лет на страже биологической безопасности у восточных рубежей России // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 5. С. 5–15. <https://www.doi.org/10.35627/2219-5238/2021-338-5-5-15>
4. Щелканов М.Ю., Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Толкач В.Ф. Становление фитовирусологии на Дальнем Востоке в контексте развития отечественной вирусологии. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2022. 142 с.
5. Щелканов М.Ю., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Козловская Э.Н., Сапоцкий М.В., Толкач В.Ф., Плешакова Т.И., Гапека А.В., Галкина И.В. Организация Российской государственной коллекции вирусов Восточной Азии на базе ДВО РАН // Научные труды международных научных чтений «Приморские Зори 2017», Владивосток, 20–22 апреля, 2017. С. 466–470.
6. Волков Ю.Г., Моисеенко Л.И., Какарека Н.Н., Толкач В.Ф., Сибирякова И.И., Гнутова Р.В. Вирус мозаики клевера горного – новый патоген из группы *Potyvirus* // Микробиологический журнал. 1994. Т. 56. № 6. С. 30–35.
7. Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Толкач В.Ф., Дьяконов К.П., Москвина Т.В., Щелканов М.Ю. Тли (Homoptera: Aphididae) – переносчики вирусных болезней бобовых на Дальнем Востоке // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2019. Вып. 30. С. 211–222. <https://doi.org/10.25221/kurentzov.30.20>
8. Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Толкач В.Ф., Табакаева Т.В., Белов Ю.А., Муратов А.А., Щелканов М.Ю. Вирусные болезни бобовых культур на юге Российского Дальнего Востока // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 4. С. 71–85. <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-71-85>
9. Гнутова Р.В., Толкач В.Ф., Несмелов И.Б. Идентификация, диагностика и филогенетический анализ вирусов овощных культур в агроценозах бассейна реки Амур (Хабаровский край) // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2014. № 4. С. 71–77.
10. Какарека Н.Н., Толкач В.Ф., Сапоцкий М.В., Волков Ю.Г., Щелканов М.Ю. Насекомые-переносчики вирусных заболеваний картофеля на Дальнем Востоке // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2019. Вып. 30. С. 191–199. <https://www.doi.org/10.25221/kurentzov.30.18>
11. Volkov Y.G., Kakareka N.N., Kozlovskaja Z.N., Balabanova L.A., Sapotskij M.V. Characterization of a novel Far Eastern potato virus Y isolates // Plant Pathology Journal. 2009. V. 8. N 2. P. 62–67. <https://www.doi.org/10.3923/ppj.2009.62.67>
12. Cho E.-K., Goodman R.M. Strains of soybean mosaic virus: Classification based on virulence in resistance soybean

- cultivars // *Phytopathology*. 1979. V. 69. P. 467–470. <https://www.doi.org/10.1016/j.virusres.2005.03.020>
13. Поливанова Т.А. Возбудители вирусных болезней сои // В сб.: Возбудители болезней сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 51–58.
14. Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Толкач В.Ф. Физико-химические свойства и биологические особенности штаммов вируса мозаики сои на Дальнем Востоке // *Сельскохозяйственная биология*. 2004. Т. 39. N 5. С. 109–112.
15. Толкач В.Ф. Таксономия фитопатогенных вирусов, выявленных на Дальнем Востоке России // В сб.: Становление и развитие фитовирусологии на Дальнем Востоке России. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 16–36.
16. Толкач В.Ф., Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Козловская З.Н., Сапоцкий М.В., Плешакова Т.И., Дьяконов К.П., Щелканов М.Ю. Вирусные болезни овощных и бахчевых сельскохозяйственных культур на юге Дальнего Востока // *Юг России: экология, развитие*. 2019. Т. 14. N 4. С. 121–133. <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-121-133>
17. Fraile A., Malpica J.M., Aranda M.A., Rodriguez-Cerezo E., Garcia-Arenal F. Genetic diversity in tobacco mild green mosaic tobamovirus infecting the wild plant *Nicotiana glauca* // *Virology*. 1996. V. 223. N 1. P. 148–155. <https://www.doi.org/10.1006/viro.1996.0463>
18. Heinze C., Lesemann D.E., Ilmberger N., Willingmann P., Adam G. The phylogenetic structure of the cluster of tobamovirus species serologically related to ribgrass mosaic virus (RMV) and the sequence of streptocarpus flower break virus (SFBV) // *Archives Virology*. 2006. V. 151. N 4. P. 763–774. <https://www.doi.org/10.1007/s00705-005-0640-8>
19. Толкач В.Ф., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Алиев М.П., Щелканов М.Ю. Вирус огуречной мозаики в декоративных культурах на российском Дальнем Востоке // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. N 4. С. 91–103. <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-91-103>
20. Козловская З.Н., Гнutowa P.В. Иммунологическая характеристика дальневосточного и европейского серотипов кукумовирусов // *Доклады ВАСХНИЛ*. 1989. N 8. С. 14–18.
21. Devergne J.-C., Cardin L. Contribution a l'etude du virus de la mosaïque du concombre (CMV) IV. Essai de classification de plusieurs isolates sur la base de leur structure antigenique // *Annual Review of Phytopathology*. 1973. V. 5. N 4. P. 409–430.
22. Толкач В.Ф., Гнutowa P.В. Восточноазиатские изоляты вируса огуречной мозаики на декоративных растениях в Приморье // *Вестник защиты растений*. 2011. N 3. С. 45–52.
23. Крылов А.В. Вирусы растений Дальнего Востока. М.: Наука, 1992. 112 с.
24. Романова С.А. Итоги изучения вирусных, виридных и микоплазменных болезней картофеля на Дальнем Востоке России // В сб.: Становление и развитие фитовирусологии на Дальнем Востоке России. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 175–192.
25. Минская Л.А., Новиков В.К., Костин В.Д. Физико-химические свойства вируса, поражающего подорожник азиатский на Дальнем Востоке // В сб.: Вирусы и вирусные болезни растений Дальнего Востока. Труды Биолого-почвенного института. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 61–69.
26. Толкач В.Ф., Коротаяева С.Г., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Гнutowa P.В. Некоторые характеристики карлавируса, вызывающего некротическую мозаику вики ложночиновой (*Vicia pseudorobus* Fisch. et Mey.) в Хабаровском крае // В сб.: Фитовирусы Дальнего Востока. Владивосток: Биолого-почвенный институт, 1993. С. 96–103.
27. Какарека Н.Н., Козловская З.Н., Волков Ю.Г., Плешакова Т.И., Сапоцкий М.В., Щелканов М.Ю. Неповирусы (Picornavirales, Secoviridae, Nepovirus) на юге Дальнего Востока: результаты многолетнего мониторинга // *Юг России: экология, развитие*. 2017. Т. 12. N 4. С. 105–119. <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-105-119>
28. Костин В.Д. Вирусы дикорастущих растений Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2005. 121 с.
29. Какарека Н.Н., Волков Ю.Г. Неповирусы и их влияние на природные биосистемы // *Материалы Всероссийской конференции с международным участием (Хабаровск, Россия; 28–30 сентября 2016 г.)*. Хабаровск: Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 2016. С. 251–253.
30. Каверин А.В. «Экологические корни» причин ускоренного видообразования вирусов (взгляд с позиций теоретического наследия Н.Ф. Реймерса) // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2021. N 4. С. 16–19.
31. Salem N., Mansour A., Ciuffo M., Falk B.W., Turina M. A new tobamovirus infecting tomato crops in Jordan // *Archives of Virology*. 2015. V. 161. N 2. P. 503–506. <https://www.doi.org/10.1007/s00705-015-2677-7>
32. Zhang S., Griffiths J.S., Marchand G., Bernards M.A., Wang A. Tomato brown rugose fruit virus: An emerging and rapidly spreading plant RNA virus that threatens tomato production worldwide // *Molecular Plant Pathology*. 2022. V. 23. N 9. P. 1262–1277. <https://www.doi.org/10.1111/mpp.13229>
33. Sande O.F.L., Orilio A.F., Chipiringo B.A.I., Xavier C.A.D., Zerbini F.M. Speciation driven by recombination in the evolution of tomato curly stunt virus in Mozambique // *Plant Pathology*. 2021. V. 70. N 4. P. 994–1002. <https://www.doi.org/10.1111/ppa.13342>
34. Ndunguru J., Sseruwagi P., Tairo F., Stomeo F., Maina S., Djinkeng A., Boykin L.M. Analyses of twelve new whole genome sequences of cassava brown streak viruses and Ugandan cassava brown streak viruses from East Africa: Diversity, supercomputing and evidence for further speciation // *PLoS ONE*. 2015. V. 10. N 10. P. e0139321. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0139321>

REFERENCES

- Krestov P.V., Verholat V.P. *Redkie rastitel'nye soobshchestva Primor'ya i Priamur'ya* [Rare plant communities of Primorye and Amur region]. Vladivostok, Biosoil Institute of FEBRAS Publ., 2003. 198 p. (In Russian)
- Shchelkanov M.Yu., Galkina I.V., Aramilev S.V., Surovy A.L., Fomenko P.V., Zhuravlev Yu.N. Far Eastern Bank of Biological materials (DV BBM) from large felines (Pantherinae) as a tool for improving the practice of law enforcement of Articles 226.1 and 258.1 of the Criminal Code of the Russian Federation. *Russian Journal of Criminology*, 2017, vol. 11, no. 1, pp. 146–153. (In Russian) [https://www.doi.org/10.17150/2500-4255.2017.11\(1\).146-153](https://www.doi.org/10.17150/2500-4255.2017.11(1).146-153)
- Zaporozhets T.S., Besednova N.N., Kalinin A.V., Somova L.M., Shchelkanov M.Yu. 80 years on guard of biological safety at the eastern borders of Russia. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*, 2021, no. 5, pp. 5–15. (In Russian) <https://www.doi.org/10.35627/2219-5238/2021-338-5-5-15>
- Shchelkanov M.Yu., Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F. *Stanovlenie fitovirusologii na Dal'nem Vostoke v kontekste razvitiya otechestvennoj Virusologii* [Formation of phytovirusology in the Far East in the context of the development of domestic virology]. Vladivostok, Far Eastern University Publ., 2022, 142 p. (In Russian)
- Shchelkanov M.Yu., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Kozlovskaya Z.N., Sapotsky M.V., Tolkach V.F., Pleshakova T.I., Gapeka A.V., Galkina I.V. Organizatsiya Rossiiskoi gosudarstvennoi kolleksii virusov Vostochnoi Azii na baze DVO RAN [Organization of the Russian State Collection of viruses of East Asia on the basis of the FEB RAS]. *Nauchnye trudy mezhdunarodnykh nauchnykh chtenij «Primorskije Zori 2017», Vladivostok, 20-22 aprelya, 2017* [Scientific Proceedings of International Scientific Readings "Primorsky Dawns 2017",

- Vladivostok, April 20-22, 2017]. Vladivostok, 2017, pp. 466–470. (In Russian)
6. Volkov Yu.G., Moiseenko L.I., Kakareka N.N., Tolkach V. F., Sibiryakova I.I., Gnutova R.V. Gorny clover mosaic virus – a new pathogen from the Potyvirus group. *Mikrobiologicheskii zhurnal* [Microbiological Journal]. 1994, vol. 56, no. 6, pp. 30–35. (In Russian)
 7. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F., Dyakonov K.P., Moskvina T.V., Shchelkanov M.Yu. Aphids (Homoptera: Aphididae) – vectors of virus diseases in the Far East. *A.I. Kurentsov's Annual Memorial Meetings*, 2019, no. 30, pp. 211–222. (In Russian) <https://doi.org/10.25221/kurentsov.30.20>
 8. Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F., Tabakaeva T.V., Belov Yu.A., Muratov A.A., Shchelkanov M.Yu. Viral diseases of legumes in the south of the Russian Far East. *South of Russia: Ecology, Development*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 71–85. (In Russian) <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-71-85>
 9. Gnutova R.V., Tolkach V.F., Nesmelov I.B. Identification, diagnosis and phylogenetic analysis of vegetable crop viruses in agrocenoses of the Amur River basin (Khabarovsk Territory). *Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii: Vestnik Tsentral'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN* [Flora of Asian Russia: Bulletin of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS]. 2014, no. 4, pp. 71–77. (In Russian)
 10. Kakareka N.N., Tolkach V.F., Sapotskiy M.V., Volkov Yu.G., Shchelkanov M.Yu. Insects-vectors of viral diseases of potatoes in the Far East. *A.I. Kurentsov's Annual Memorial Meetings*, 2019, no. 30, pp. 191–199. (In Russian) <https://www.doi.org/10.25221/kurentsov.30.18>
 11. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Kozlovskaya Z.N., Balabanova L.A., Sapotskiy M.V. Characterization of a novel Far Eastern potato virus Y isolates. *Plant Pathology Journal*, 2009, vol. 8, no. 2, pp. 62–67. <https://www.doi.org/10.3923/ppj.2009.62.67>
 12. Cho E.-K., Goodman R.M. Strains of soybean mosaic virus: Classification based on virulence in resistance soybean cultivars. *Phytopathology*, 1979, vol. 69, pp. 467–470. <https://www.doi.org/10.1016/j.virusres.2005.03.020>
 13. Polivanova T.A. Pathogens of viral diseases of soybeans. In: *Vozbuditeli boleznej sel'skokhozyajstvennykh kul'tur na Dal'nem Vostoke* [Pathogens of agricultural crops in the Far East]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences Publ., 1980. pp. 51–58. (In Russian)
 14. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F. Physico-chemical properties and biological features of soybean mosaic virus strains in the Far East. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2004, vol. 39, no. 5, pp. 109–112. (In Russian)
 15. Tolkach V.F. Taxonomy of phytopathogenic viruses detected in the Russian Far East. In: *Stanovlenie i razvitie fitovirusologii na Dal'nem Vostoke Rossii* [The formation and development of phytovirusology in the Russian Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2002, pp. 16–36. (In Russian)
 16. Tolkach V.F., Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Kozlovskaya Z.N., Sapotskiy M.V., Pleshakova T.I., D'yakonov K.P., Shchelkanov M.Yu. Virus diseases of vegetable and melon crops in the south of the Far East. *South of Russia: Ecology, Development*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 121–133. (In Russian) <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-121-133>
 17. Fraile A., Malpica J.M., Aranda M.A., Rodriguez-Cerezo E., Garcia-Arenal F. Genetic diversity in tobacco mild green mosaic tobamovirus infecting the wild plant *Nicotiana glauca*. *Virology*, 1996, vol. 223, no. 1, pp. 148–155. <https://www.doi.org/10.1006/viro.1996.0463>
 18. Heinze C., Lesemann D.E., Ilmberger N., Willingmann P., Adam G. The phylogenetic structure of the cluster of tobamovirus species serologically related to ribgrass mosaic virus (RMV) and the sequence of streptocarpus flower break virus (SFBV). *Archive Virology*, 2006, vol. 151, no. 4, pp. 763–774. <https://www.doi.org/10.1007/s00705-005-0640-8>
 19. Tolkach V.F., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Aliev M.R., Shchelkanov M.Y. Cucumber mosaic virus among ornamental crops in the Russian Far East. *South of Russia: Ecology, Development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 91–103. (In Russian) <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-91-103>
 20. Kozlovskaya Z.N., Gnutova R.V. Immunological characteristics of the Far Eastern and European serotypes of cucumoviruses. *Doklady VASKhNIL* [Reports of All-Union Academy of Agricultural Sciences]. 1989, no. 8, pp. 14–18. (In Russian)
 21. Devergne J.-C., Cardin L. Contribution a l'etude du virus de la mosaïque du concombre (CMV) IV. Essai de classification de plusieurs isolates sur la base de leur structure antigenique. *Annual Review of Phytopathology*, 1973, vol. 5, no. 4, pp. 409–430. (In France)
 22. Tolkach V.F., Gnutova R.V. East Asian isolates of cucumber mosaic virus on ornamental plants in Primorye. *Vestnik zashchity rastenii* [Bulletin of Plant Protection]. 2011, no. 3, pp. 45–52. (In Russian)
 23. Krylov A.V. *Virusy rastenii Dal'nego Vostoka* [Viruses of plants of the Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1992, 112 p. (In Russian)
 24. Romanova S.A. Results of the study of viral, viroid and mycoplasma diseases of potatoes in the Russian Far East. In: *Stanovlenie i razvitie fitovirusologii na Dal'nem Vostoke Rossii* [Formation and development of phytovirusology in the Russian Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2002, pp. 175–192. (In Russian)
 25. Minskaya L.A., Novikov V.K., Kostin V.D. Physico-chemical properties of the virus affecting the Asian plantain in the Far East. In: *Virusy i virusnye bolezni rastenii Dal'nego Vostoka. Trudy Biologo-pochvennogo instituta* [Viruses and viral diseases of plants of the Far East. Proceedings of the Biological and Soil Institute]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences Publ., 1977, pp. 61–69. (In Russian)
 26. Tolkach V.F., Korotaeva S.G., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Gnutova R.V. Some characteristics of the carlavirus causing necrotic mosaic of vika lozhnochinova (*Vicia pseudorobus* Fisch. et Mey.) in the Khabarovsk Territory. In: *Fitovirusy Dal'nego Vostoka* [Phytoviruses of the Far East]. Vladivostok, Biologo-Soil Institute Publ., 1993, pp. 96–103.
 27. Kakareka N.N., Kozlovskaya Z.N., Volkov Yu.G., Pleshakova T.I., Sapotskiy M.V., Shchelkanov M.Yu. Viruses of Nepovirus genus (Picornavirales, Secoviridae) in the south of the Far East: results of longitudinal monitoring. *South of Russia: Ecology, Development*, 2017, no. 4, pp. 105–119. (In Russian) <https://www.doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-105-119>
 28. Kostin V.D. *Virozy dikorastushchikh rastenii Dal'nego Vostoka Rossii* [Viroses of wild plants of the Russian Far East]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2005, 121 p. (In Russian)
 29. Kakareka N.N., Volkov Yu.G. Nepovirusy i ih vliyanie na prirodnye biosistemy [Nepoviruses and their influence on natural biosystems]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Khabarovsk, 28–30 sentyabrya 2016* [Materials of the All-Russian Conference with international participation, September 28-30, 2016]. Khabarovsk, 2016, pp. 251–253. (In Russian)
 30. Kaverin A.V. "Ecological roots" of the causes of accelerated speciation of viruses (a view from the standpoint of the theoretical heritage of N.F. Reimers). *Biosfernoe khozyaistvo: teoriya i praktika* [Biosphere Economy: Theory and Practice]. 2021, no. 4, pp. 16–19. (In Russian)
 31. Salem N., Mansour A., Ciuffo M., Falk B.W., Turina M. A new tobamovirus infecting tomato crops in Jordan. *Archives of Virology*, 2015, vol. 161, no. 2, pp. 503–506. <https://www.doi.org/10.1007/s00705-015-2677-7>
 32. Zhang S., Griffiths J.S., Marchand G., Bernards M.A., Wang A. Tomato brown rugose fruit virus: An emerging and rapidly spreading plant RNA virus that threatens tomato production

worldwide. *Molecular Plant Pathology*, 2022, vol. 23, no. 9, pp. 1262–1277. <https://www.doi.org/10.1111/mpp.13229>

33. Sande O.F.L., Orilio A.F., Chipiringo B.A.I., Xavier C.A.D., Zerbini F.M. Speciation driven by recombination in the evolution of tomato curly stunt virus in Mozambique. *Plant Pathology*, 2021, vol. 70, no. 4, pp. 994–1002. <https://www.doi.org/10.1111/ppa.13342>

34. Ndunguru J., Sseruwagi P., Tairo F., Stomeo F., Maina S., Djinkeng A., Boykin L.M. Analyses of twelve new whole genome sequences of cassava brown streak viruses and Ugandan cassava brown streak viruses from East Africa: Diversity, supercomputing and evidence for further speciation. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10, no. 10, pp. e0139321. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0139321>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Надежда Н. Какарека, Юрий Г. Волков, Валентина Ф. Толкач и Михаил Ю. Щелканов разработали концепцию статьи, подготовили ее текст, подбирали научную литературу по тематике статьи и проводили ее анализ. 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

Nadezhda N. Kakareka, Yuri G. Volkov, Valentina F. Tolkach and Mikhail Y. Shchelkanov developed the concept of the article, prepared its text, selected scientific literature on the subject of the article and analysed it. All authors participated equally in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Надежда Н. Какарека / Nadezhda N. Kakareka <https://orcid.org/0000-0002-2567-0452>

Юрий Г. Волков / Yuri G. Volkov <https://orcid.org/0000-0002-4631-1678>

Валентина Ф. Толкач / Valentina F. Tolkach <https://orcid.org/0000-0002-1893-9580>

Михаил Ю. Щелканов / Mikhail Yu. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Обзорная статья / Review article

УДК 578.82/.83

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-3



Вирусы рукокрылых (Chiroptera) России и сопредельных стран

Александр В. Жигалин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Александр В. Жигалин, кандидат биологических наук; заведующий лабораторией, лаборатория мониторинга биоразнообразия, Национальный исследовательский Томский государственный университет; 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36; доцент, кафедра экологии, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21. Тел. +9832391744

Email alex-zhigalin@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>**Формат цитирования**

Жигалин А.В. Вирусы рукокрылых (Chiroptera)

России и сопредельных стран // Юг России:

экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 35-43.

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-3

Получена 11 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 14 мая 2024 г.

Принята 26 августа 2024 г.

Резюме

Цель: провести анализ разнообразия вирусов рукокрылых России и сопредельных стран. Выявить основных переносчиков этих патогенов, возможные пути заноса на территорию РФ.

В настоящее время в России от рукокрылых получены РНК последовательности 36 Coronaviridae, 8 Rhabdoviridae и 3 Astroviridae. Из сопредельных стран РНК/ДНК последовательности вирусов у рукокрылых Норвегии (n=2), Финляндии (n=14), Польше (n=42), Украине (n=8), Грузии (n=46), Казахстане (n=29), Китае (n=5645) и Японии (n=109). Обнаруженные последовательности относятся к 30 семействам. Абсолютное большинство последовательностей относится к семейству Coronaviridae (62,96 %). Увеличение числа полученных последовательностей за прошедший год наблюдается в России и Китае.

Имеющиеся данные о вирусах рукокрылых России, указывают на необходимость разработки и реализации государственной междисциплинарной программы, посвященной этой проблеме. Наибольшую опасность представляют Rhabdoviridae, смертность после инфицирования которыми, зафиксирована в России и прилегающих территориях. Полученные данные указывают на то, что основными переносчиками вирусов являются представители родов *Eptesicus*, *Myotis*, *Nyctalus*, *Rhinolophus*, *Vespertilio*. Риск обмена и передачи вирусов наиболее вероятен между западной частью России и европейскими странами.

Ключевые слова

Рукокрылые, вирусы, инфекции, коронавирусы, биобезопасность.

Bat (Chiroptera) viruses of Russia and neighboring countries

Alexander V. Zhigalin

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Alexander V. Zhigalin, Candidate of Biological Sciences, Head, Biodiversity Monitoring Laboratory, National Research Tomsk State University; 36 Lenina St, Tomsk, Russia, 634050 & Associate Professor, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001. Tel. +79832391744
Email alex-zhigalin@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

How to cite this article

Zhigalin A.V. Bat (Chiroptera) viruses of Russia and neighboring countries. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):35-43. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-3

Received 11 March 2024
Revised 14 May 2024
Accepted 26 August 2024

Abstract

Aim. To analyze the diversity of bat viruses in Russia and neighboring countries. To identify the main vectors of these pathogens and possible ways of introduction into the territory of the Russian Federation.

In Russia the RNA sequences of 36 Coronaviridae, 8 Rhabdoviridae and 3 Astroviridae have been obtained from bats. In neighboring countries, RNA/DNA sequences of viruses in bats have been found in Norway (2), Finland 14), Poland 42), Ukraine (8), Georgia (46), Kazakhstan (29), China (5.645) and Japan (109). The dsequences which have been discovered belong to 30 families (Table 1). An increase in the number of sequences obtained over the past year has been observed in Russia and China. The absolute majority of sequences belong to the Coronaviridae family (62.96 %).

The available data on bat viruses in Russia indicate the need to develop and implement a state interdisciplinary programme dedicated to this problem. The greatest danger is posed by Rhabdoviridae: mortalities after infection have been recorded in Russia. The data obtained also indicate that the main vectors of viruses are representatives of the genera *Eptesicus*, *Myotis*, *Nyctalus*, *Rhinolophus* and *Vespertilio*. The risk of virus exchange and transmission is most likely to be between the western part of Russia and European countries.

Key Words

Bats, viruses, infections, coronaviruses, rabies.

ВВЕДЕНИЕ

До середины прошлого века большинство рукокрылых не относили к числу животных, имеющих особое эпидемиологическое значение [1]. К концу XX в. было установлено, что не только кровососущие, но и насекомоядные виды рукокрылых, в том числе в Евразии, являются переносчиками лиссавирусов, заражение которыми приводит к летальному исходу у людей [2].

С начала нынешнего столетия внимание к рукокрылым, как источнику опасных для человека вирусов, значительно обострилось. Последнее обусловлено получением данных о том, что ряд новых зоонозных инфекций возник непосредственно при участии рукокрылых [3]. Как следствие, появилось несколько обзорных работ о вирусах рукокрылых и их потенциальной опасности [4; 5]. К настоящему времени

разработано несколько оценочных моделей, направленных на выявление территорий, где с разной вероятностью могут появиться вирусы, способные преодолеть межвидовой барьер и перейти от рукокрылых к человеку [6]. На территории России и прилегающих стран, такая вероятность не велика. Вместе с тем обобщающей информации о вирусах рукокрылых рассматриваемой территории, которая занимает северо-восточную часть Палеарктики, в последние годы не было представлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с открытой базой данных «ZOVER» [7] и литературными источниками, в России на данный момент от рукокрылых получено 47 генетических последовательностей вирусов (рис. 1).

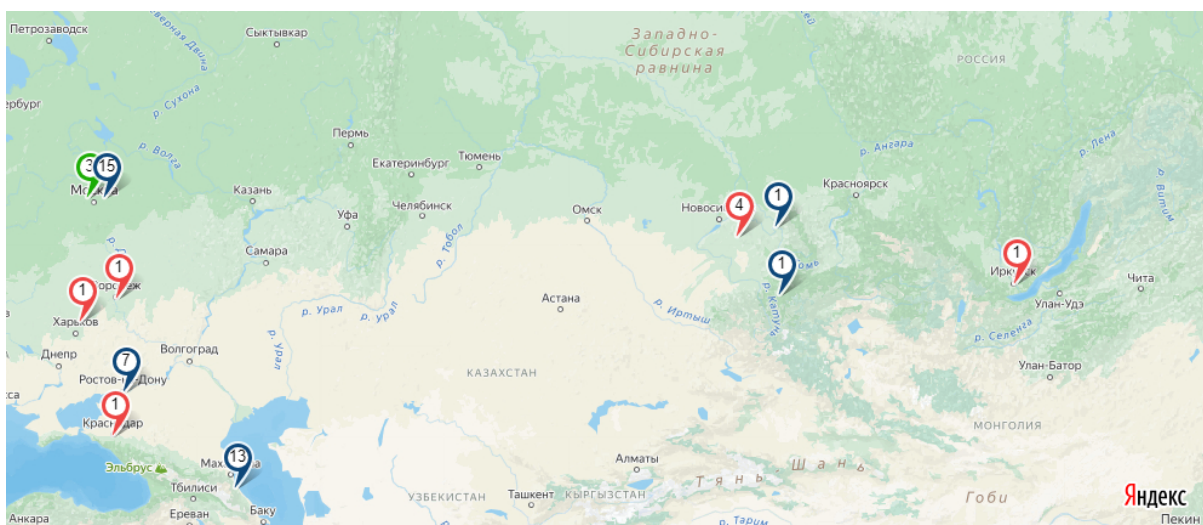


Рисунок 1. Места получения последовательностей РНК вирусов от рукокрылых в России

Figure 1. Sites from which virus RNA sequences from bats have been obtained in Russia

Примечание: зеленый цвет – Astroviridae, синий цвет – Coronaviridae, красный цвет – Rhabdoviridae; цифра – количество полученных последовательностей вирусов

Note: green indicates Astroviridae, blue indicates Coronaviridae, red indicates Rhabdoviridae; numbers indicate the number of virus sequences obtained

Большая часть последовательностей ($n=36$) принадлежит Coronaviridae. Они обнаружены у *Pipistrellus kuhlii* из Ростовской области (Genbank: OR052074.1, OR052075.1, OR052076.1, OR147947.1, OR147948.1), *Pipistrellus nathusii* [8], *Myotis brandtii* (Genbank: OQ725983.1), *Myotis daubentonii* (Genbank: OQ725984.1, OQ725985.1, OQ725986.1), *Nyctalus noctula* (Genbank: OR052073.1) из Москвы и Московской области, *Myotis petax* с Кемеровской области, *Myotis ikonnikovi* из Республики Алтай [9], *Rhinolophus ferrumequinum* и *Rhinolophus hipposideros* с Краснодарского края [10], *Rhinolophus ferrumequinum* из Дагестана [9].

Наибольшее разнообразие коронавирусов рукокрылых получено на Северном Кавказе у подковоносов. Установлено, что выявленные там коронавирусы имеют наибольшее сходство с формами из Ближнего Востока, иных территорий Кавказа и Европы [9; 10]. Коронавирусы ночниц из Сибири схожи с таковыми из Европы и Восточной Азии [9].

Astroviridae обнаружены в 3 случаях у *Nyctalus noctula* из Москвы (Genbank: OR552430.1, OR552421.1, OR552431.1).

РНК рабдовирусов ($n=8$) выделена от *Eptesicus serotinus* из Белгородской и Воронежской областей [11], *Myotis petax* (Genbank: DQ860256.1, DQ860249.1, DQ860254.1) и *Plecotus ognevi* (Genbank: DQ860255.1) из Новосибирской области, *Murina hilgendorfi* из Иркутской области [2], *Miniopterus schreibersii* из Краснодарского края [12].

В стране отмечено наличие четырех видов лиссавирусов. На Кавказе у длиннокрыла обнаружен лиссавирус западно-кавказских летучих мышей WCBV [12]. На иных территориях европейской части страны отмечен лиссавирус европейских летучих мышей 1 типа линии EBLV-1a [11]. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке распространен лиссавирус Иркут IRKV [2]. Формы из Новосибирской области идентифицированы как вирус бешенства RABV [7].

За историю наблюдений в России установлено 6 случаев инфицирования людей после контакта с летучими мышами. Все случаи заболевания были вызваны лиссавирусами. В 1 случае (Белгородская область) вирусом EBLV-1, в остальных (Иркутская и Амурская области, Приморский край) – IRTV [2; 13].

В настоящее время, имеющиеся данные о вирусносительстве рукокрылых России, обладают бессистемным характером.

Для реализации комплексных исследований, которые будут решать научные, социальные и экономические задачи, требуется формирование отдельной государственной программы исследований. Она должна удовлетворять следующий минимум условий:

1. Охватывать территорию всей страны, где обитают рукокрылые. Это обстоятельство исходит, в том числе, из того, что часть особей рукокрылых не совершает миграций. Они круглогодично привязаны к урбанизированным территориям и районам с подземными укрытиями. На них они имеют возможность не только проводить активный период жизни, но и зимовать. Отлов и исследование таких особей не возможно на путях миграций. Более того, урбанизированные территории и подземные образования (пещеры и штольни) – зона постоянного риска контакта рукокрылых с людьми.
2. Реализовываться несколькими институтами. Это обусловлено направленностью разных организаций и наличием у них доступа к работе с патогенами разных групп опасности. Данное условие позволит анализировать одну пробу на весь возможный спектр патогенов. Это особенно актуально ввиду того, что многие виды рукокрылых внесены в Красные книги, их излишнее беспокойство и изъятие из популяции противоречит природоохранной политике государства.
3. Быть междисциплинарной. Выявление разнообразия патогенов и их филогении, установление их опасности для человека и животных, выявление путей миграций хозяев, роль паразитов рукокрылых в эпидемических процессах, моделирование эпидемических процессов, установление путей контактов людей с рукокрылыми и их характера – это очевидный минимум научных проблем, которые требуют решения в ближайшее время от ученых разной специализации.
4. Иметь устойчивость. Есть множество естественных причин, как например, цикличность биологических и экологических процессов, которые будут препятствовать получению желаемых данных в кратчайшие сроки и следовать строго намеченному плану.
5. Быть длительной. Учитывая масштаб имеющихся проблем, их осязаемое решение невозможно менее чем за 5 лет активной работы.

Из сопредельных стран РНК/ДНК последовательности вирусов у рукокрылых обнаружены в Норвегии (n=2), Финляндии (n=14), Польше (n=42), Украине (n=8), Грузии (n=46), Казахстане (n=29), Китае (n=5645) и Японии (n=109). Обнаруженные последовательности относятся к 30 семействам (табл. 1). Абсолютное большинство последовательностей относится к семейству *Coronaviridae* (62,96 %).

За последний год количество полученных последовательностей в рамках базы «ZOVER» [7], увеличилось в России (+261 %) и Китае (+1,08 %). Очевидный многократный прогресс в выявлении вирусов у рукокрылых России обусловлен, во многом, научным афтершоком от последней коронавирусной инфекции.

Впервые за прошедший год у рукокрылых рассматриваемого региона обнаружены представители

семейств *Arenaviridae*, *Orthomyxoviridae* и *Phenuiviridae*. Во всех случаях находки были сделаны в Китае. Важно отметить, что часто их носителем был восточный нетопырь *Pipistrellus abramus*, северная граница ареала которого проходит по югу российского Дальнего Востока.

При всем обнаруженном разнообразии вирусов рукокрылых, рассматриваемой территории, необходимо учитывать, что наибольшую опасность для человека представляют рабдовирусы. На всей территории их доля из общего числа вирусов составляет 1,88 %. За прошедший год количество обнаруженных последовательностей этого семейства, увеличилось на 0,44 %.

В Китае большая часть вирусов обнаружена у переносчиков, относящихся к семейству *Rhinolophidae*, в остальных странах к семейству *Vespertilionidae*. В целом, чаще всего переносчики вирусов относятся к родам *Eptesicus*, *Myotis*, *Nyctalus*, *Rhinolophus*, *Vespertilio*.

Важнейшим аспектом распространения вирусов рукокрылыми является способность последних совершать длительные миграции. К настоящему времени данные о миграциях рукокрылых России достаточно скудны.

Первая наиболее полная работа, отражающая результаты мечения рукокрылых в России, вышла во второй половине прошлого века [14], где отражены наиболее длинные пути миграций шести видов (рис. 2).

В начале нынешнего века вышла обзорная работа, обобщающая все данные о миграциях рукокрылых Европы, в том числе России [15]. Представленные материалы указывают на преимущество непродолжительных перелетов большинства видов внутри Западной и Центральной Европы, где получена большая часть информации. Рукокрылые из России, проводящие летний период в Средней полосе страны, мигрируют в страны Черного и Средиземного моря (рис. 3).

Таксономическое разнообразие рукокрылых России не столь велико, как в ряде соседних стран. В настоящее время в России и на прилегающих к ней территориях зарегистрировано около 56 видов из 4 семейств.

Наибольшее таксономическое разнообразие наблюдается на Северном Кавказе и юге Дальнего Востока [16; 17]. Достаточно велико разнообразие на Южном Урале и в Южной Сибири, что обусловлено разнообразием ландшафтов и наличием подземных убежищ [18]. По мере продвижения на север, количество видов уменьшается.

Важным аспектом структуры хироптерофауны России является ее сильное различие на западе и востоке. Урал и Западно-Сибирская равнина представляется естественным барьером для распространения многих видов, включая криптические [19]. Преодолевают этот барьер такие виды как *Nyctalus noctula*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii*, *Myotis dasycneme*. Они могут выступать в роли естественного моста для вирусов запада и востока страны.

Схожая фаунистическая картина наблюдается в распространении эктопаразитов рукокрылых [20], которые также выступают в роли переносчиков инфекций опасных для человека [21].

Таблица 1. Количество и доля обнаруженных ДНК/РНК последовательностей вирусов у рукокрылых России и сопредельных стран
Table 1. The number and proportion of detected DNA/RNA virus sequences in bats of Russia and neighboring countries

Семейства вирусов Family of viruses	Россия Russia		Норвегия Norway		Финляндия Finland		Польша Poland		Украина Ukraine		Грузия Georgia		Казахстан Kazakhstan		Китай China		Япония Japan		Всего Total		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Adenovirid	1	3,4	121	2,14	12	11	134	2,26													
Anelloviridae			1	0,02			1	0,02													
Arenaviridae			1	0,02			1	0,02													
Astroviridae	3	6,4	536	9,5			557	9,37													
Bornaviridae			2	0,04			2	0,03													
Caliciviridae			58	1,03			58	0,98													
Circoviridae			2	25			197	3,49	7	6,4	206	3,47									
Coronaviridae	36	76,6	9	64,3	5	11,9	1	12,5	46	100	26	89,7	3538	62,67	80	73,4	3741	62,96			
Filoviridae							19	0,34													
Flaviviridae							43	0,76													
Genomoviridae							1	0,02													
Hantaviridae					3	7,1															
Herpesviridae							71	1,26													
Herpesviridae							6	0,11													
Herpesviridae							107	1,9													
Orthomyxoviridae							1	0,02													
Nairoviridae							1	3,4													
Papillomaviridae							14	0,25													
Paramyxoviridae							164	2,91													
Parvoviridae							125	2,21													
Peribunyaviridae							2	0,04													
Phenuiviridae							16	0,28													
Picobirnaviridae							2	0,04													
Picornaviridae					1	12,5															
Polyomaviridae							108	1,91													
Poxviridae							242	4,29													
Poxviridae							1	0,02													
Reoviridae							146	2,59													
Retroviridae							13	0,23													
Rhabdoviridae	8	17	2	100	5	35,7	16	38,1	4	50	1	3,4	74	1,31	2	1,8	112	1,88			
Togaviridae							7	0,12													
Vсero / Total	47		2		14		42		8		29		46		109		5645		7		0,12

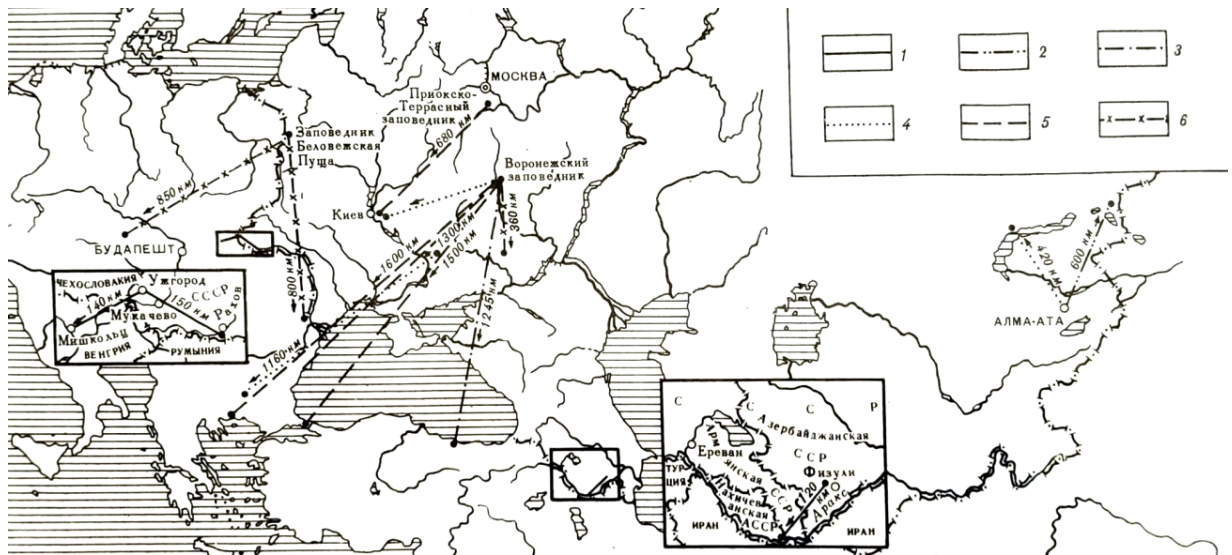


Рисунок 2. Места находок рукокрылых разных видов, окольцованных в СССР [14]

Figure 2. Sites of bats of various species banded in the USSR [14]

Примечание: 1 – *Miniopterus schreibersii*, 2 – *Nyctalus noctula*, 3 – *Nyctalus leisleri*, 4 – *Pipistrellus pipistrellus*, 5 – *Pipistrellus nathusii*, 6 – *Vespertilio murinus*

Note: 1 – *Miniopterus schreibersii*, 2 – *Nyctalus noctula*, 3 – *Nyctalus leisleri*, 4 – *Pipistrellus pipistrellus*, 5 – *Pipistrellus nathusii*, 6 – *Vespertilio murinus*

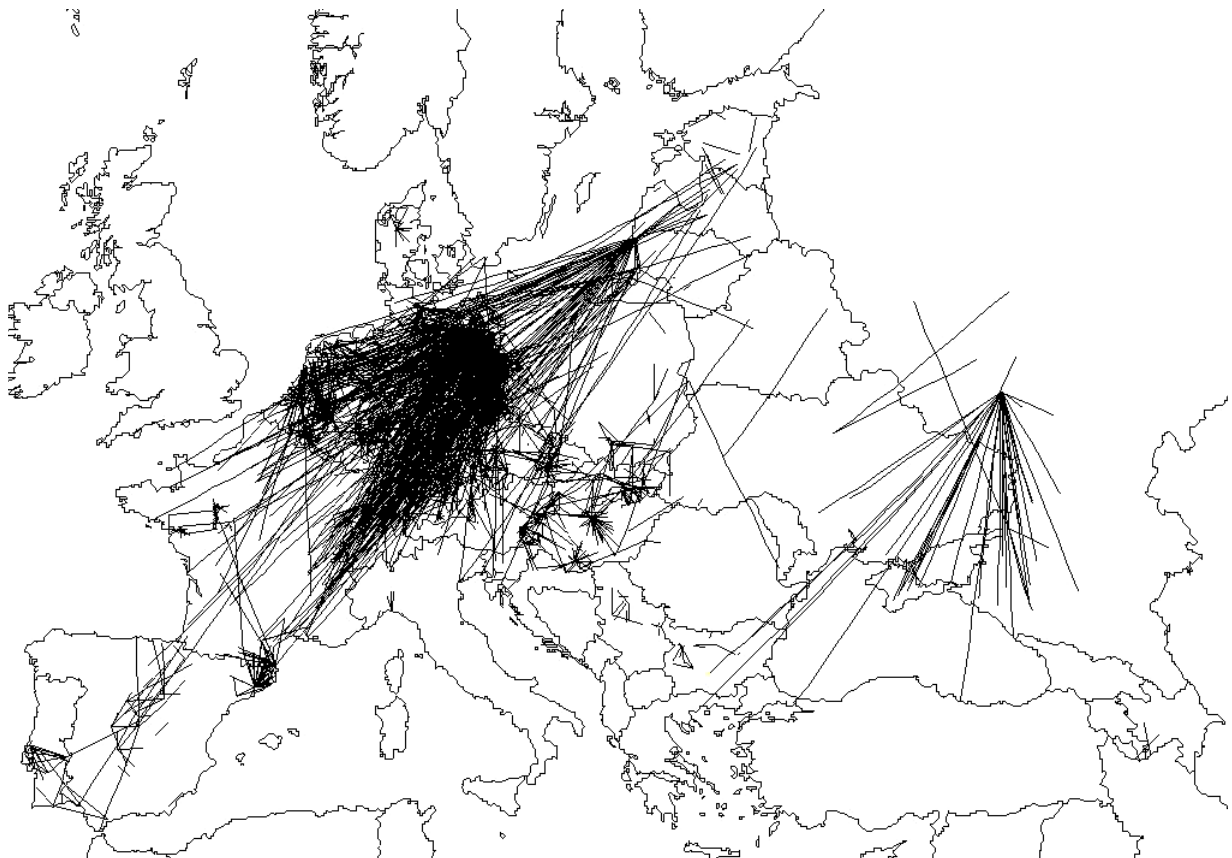


Рисунок 3. Изображение наиболее длительных миграций рукокрылых в Европе [15]

Figure 3. Trajectories of all documented long-distance movements of bats banded in Europe [15]

Учитывая распространение рукокрылых, их миграционные пути, а также сходство хироптерофауны регионов, обмен вирусами и их передача наиболее вероятны между европейскими странами и западной частью России. Участвовать в переносе патогенов на этих территориях могут представители не менее

5 родов. На Кавказе и в Крыму наибольший риск исходит от представителей родов *Myotis* и *Rhinolophus*. Ввиду сходства фауны летучих мышей Урала и Сибири с таковой в Казахстане, возможен обмен и занос вирусов представителями родов *Myotis*, *Eptesicus*, *Vespertilio* (рис. 4).



Рисунок 4. Рода рукокрылых и возможные пути обмена и передачи ими вирусов в разных частях России и сопредельных стран

Figure 4. Genera of bats and possible ways of exchanging and transmitting viruses in different parts of Russia and neighboring countries

Несмотря на соседство России с Китаем, где обнаружено максимальное разнообразие вирусов рукокрылых, из-за слабого сходства хироптерофаун этих стран, обмен вирусами и их передача имеет невысокую вероятность. Она значима только для северо-востока Китая и юга российского Дальнего Востока.

Виды из родов *Miniopterus* и *Murinus* в России и на сопредельных территориях, как правило, имеют низкую численность, вместе с тем, они участвуют в распространении лиссавирусов. В связи с этим их стоит отнести к числу родов, имеющих особое эпидемиологическое значение.

В последние годы инвазии летучих мышей в России отмечались в Центральной части России [22], на Урале и в Сибири [23; 24]. Учитывая наблюдаемое изменение климата, в ближайшее время можно ожидать рост числа переносчиков, способных занести на территорию России новые патогены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В России и сопредельных странах у рукокрылых обнаружены последовательности РНК/ДНК вирусов, относящихся к 30 семействам. Большая часть из них относится к *Coronaviridae*. За прошедший год количество полученных последовательностей отмечается в России и Китае.

В России исследования разнообразия вирусов рукокрылых носит бессистемный характер, что не позволяет получить полную картину и решить наиболее важные, с точки зрения эпидемиологии, вопросы.

Наибольшую опасность имеет инфицирование *Rhabdoviridae*, заражение которыми фиксировалось в России и на сопредельных территориях.

Основными переносчиками вирусов в России являются представители родов *Eptesicus*, *Myotis*, *Nyctalus*, *Rhinolophus*, *Vespertilio*. *Nyctalus noctula*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii*, *Myotis dasycneme* способны переносить вирусы с запада страны на восток и наоборот.

Учитывая большое сходство хироптерофауны западной части России с европейскими странами, риск

обмена и передачи вирусов наиболее велик на этих территориях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 22-74-00047, <https://rscf.ru/project/2274-00047/>.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant № 22-74-00047, <https://rscf.ru/project/2274-00047/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медицинская териология: грызуны, хищные, рукокрылые / отв. ред. В. В. Кучерук. Москва: Наука, 1989. 272 с.
2. Ботвинкин А.Д. Смертельные случаи заболевания людей бешенством в Евразии после контактов с рукокрылыми // *Plecotus et al.* 2011. N 14. С. 75–86.
3. Han B.A., Kramer A.M., Drake J.M. Global patterns of zoonotic disease in mammals // *Trends in parasitology*. 2016. V. 32. N 7. P. 565–577.
4. Щелканов М.Ю., Дунаева М.Н., Москвина Т.В., Воронова А.Н., Кононова Ю.В., Воробьева В.В., Галкина И.В., Янович В.А., Гаджиев А.А., Шестопапов А.М. Каталог вирусов рукокрылых (2020) // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15. N 3. С. 6–30. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-6-30>
5. Шестопапов А.М., Кононова Ю.В., Гаджиев А.А., Гуляева М.А., Моранди М., Алексеев А.Ю., Джамалутдинов Д.М., Щелканов М.Ю. Биоразнообразие и эпидемиологический потенциал коронавирусов (*Nidovirales: Coronaviridae*) рукокрылых // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 5. N 2. С. 17–34. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-17-34>
6. Olival K.J., Hosseini P.R., Zambrana-Torrel C., Ross N., Bogich T.L., Daszak P. Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals // *Nature*. 2017. V. 546. N 7660. P. 646–650.
7. ZOVER: the database of zoonotic and vector-borne viruses. 2012–2024. URL: <http://www.mgc.ac.cn/cgi-bin/ZOVER/main.cgi> (дата обращения: 19.08.2024)

8. Korneenko E.V., Samoilo A.E., Artyushin I.V., Kaptelova V.V., Dudorova A.V., Dedkov V.G., Speranskaya A.S., Akimkin V.G. Metagenomic analysis of viruses in bat fecal samples from Moscow region reveals the whole genome sequences of Mastadenovirus and Alphacoronavirus // *FEBS Open Bio*. 2021. V. 11. N S1. P. 120–120.
9. Яшина Л.Н., Жигалин А., Абрамов С.А., Лучникова Е.М., Сметаниникова Н.А., Дупал Т.А., Кривопапов А.В., Вдовина Е.Д., Свирин К.А., Гаджиев А.А., Малышев Б.С. Выявление коронавирусов (Coronaviridae) у рукокрылых на территории Северного Кавказа и юга Западной Сибири // *Вопросы вирусологии*. 2024. Т. 69. N 2. С. 255–265. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-233>
10. Alkhovsky S., Lenshin S., Romashin A., Vishnevskaya T., Vyshemirsky O., Bulycheva Y., Lvov D., Gitelman A. SARS-like Coronaviruses in Horseshoe Bats (*Rhinolophus* spp.) in Russia // *Viruses*. 2022. T. 14, N 1. P. 113. <https://doi.org/10.3390/v14010113>
11. Troupin C., Picard-Meyer E., Dellicour S., Casademont I., Kergoat L., Lepelletier A., Dacheux L., Baele G., Monchâtre-Leroy E., Cliquet F., Lemey P., Bourhy H. Host genetic variation does not determine spatio-temporal patterns of European bat 1 lyssavirus // *Genome biology and evolution*. 2017. V. 9. N 11. P. 3202–3213. <https://doi.org/10.1093/gbe/evx236>
12. Kuzmin I.V., Wu X., Tordo N., Rupprecht C.E. Complete genomes of Aravan, Khujand, Irkut and West Caucasian bat viruses, with special attention to the polymerase gene and non-coding regions // *Virus research*. 2008. V. 136. N 1-2. P. 81–90.
13. Полещук Е.М., Тагакова Д.Н., Сидоров Г.Н., Орлова Т.С., Гордейко Н.С., Кайсаров А.Ж. Случаи летальной лиссывирусной инфекции у людей после контактов с рукокрылыми на Дальнем востоке России в 2019–2021 гг. // *Вопросы вирусологии*. 2023. Т. 68. N 1. С. 45–58. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-156>
14. Итоги мечения млекопитающих / ред. В.Е. Соколов. Москва: Наука, 1980. 302 с.
15. Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C., Rodrigues L. Bat migrations in Europe: a review of banding data and literature. Münster: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, 2005. 162 p.
16. Павлинов И.Я., Лисовский А.А. Млекопитающие России: систематико-географический справочник. Москва: КМК, 2012. 604 с.
17. Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю. Распространение рукокрылых в субтропических районах Черноморья и прилегающих территориях // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. N 4. С. 8–30. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-8-30>
18. Жигалин А.В., Гаджиев А.А., Даудова М.Г., Салимханов Н.Г., Шестопалов А.М. Экология рукокрылых Алтае-Саянской горной страны юга Сибири // *Юг России: экология, развитие*. 2019. N 1. С. 9–25. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-9-25>
19. Orlova M.V., Orlov O.L. Attempt to define the complexes of bat ectoparasites in the boreal Palaearctic region // *Vestnik zoologii*. 2015. V. 49. N 1. P. 75–86.
20. Orlova M.V., Orlov O.L., Kazakov D.V., Zhigalin A.V. Approaches to the identification of ectoparasite complexes of bats (Chiroptera: Vespertilionidae, Miniopteridae, Rhinolophidae, Molossidae) in the Palaearctic // *Entomological Review*. 2017. V. 97. P. 684–701. <https://doi.org/10.1134/S001387381705013X>
21. Орлова М.В., Кононова Ю.В. Возбудители инфекционных заболеваний, ассоциированные со специфическими эктопаразитами рукокрылых (Chiroptera) (обзор литературных данных) // *Паразитология*. 2018. Т. 52. N 2. С. 137–153.
22. Стрелков П.П. Расширение ареалов палеарктическими рукокрылыми (Chiroptera, Mammalia) как пример инвазии в антропогенных биотопах // *Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах*. 2004. С. 202–207.
23. Zhigalin A.V., Khritankov A.M. Change in the boundary of distribution range of the common noctule *Nyctalus noctula* Schreber, 1775 (Mammalia, Chiroptera, Vespertilionidae) in Siberia // *Russian journal of biological invasions*. 2016. V. 7. P. 152–155. <https://doi.org/10.1134/S2075111716020156>
24. Zhigalin A. New data on David's myotis *Myotis davidii* (Peters, 1869) (Mammalia, Chiroptera, Vespertilionidae) in Siberia and the Urals // *Biodivers Data Journal*. 2019. V. 7. e34211. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e34211>

REFERENCES

- Kucheruk V.V. ed. *Meditinskaya teriologiya: gryzuny, khishchnye, rukokrylye* [Medical theriology: rodents, carnivores, bats]. Moscow, Nauka Publ, 1989, 272 p. (In Russian)
- Botvinkin A.D. Fatal human cases of rabies in Eurasia after contacts with bats. *Plecotus et al.* 2011, no. 14, pp. 75–86. (In Russian)
- Han B.A., Kramer A.M., Drake J.M. Global patterns of zoonotic disease in mammals. *Trends in parasitology*, 2016, vol. 32, no. 7, pp. 565–577. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.007>
- Shchelkanov M.Yu., Dunaeva M.N., Moskvina T.V., Voronova A.N., Kononova Yu.V., Vorobyeva V.V., Galkina I.V., Yanovich V.A., Gadzhiev A.A., Shestopalov A.M. Catalogue of bat viruses (2020). *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 6–30. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-6-30>
- Shestopalov A.M., Kononova Yu.V., Gadzhiev A.A., Gulyaeva M.A., Vasfi M.M., Alekseev A.Yu., Jamalutdinov J.M., Shchelkanov M.Yu. Biodiversity and epidemic potential of Chiropteran coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae). *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 17–34. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-17-34>
- Olival K.J., Hosseini P.R., Zambrana-Torrel C., Ross N., Bogich T.L., Daszak P. Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature*, 2017, vol. 546, no. 7660, pp. 646–650. <https://doi.org/10.1038/nature22975>
- ZOVER: the database of zoonotic and vector-borne viruses. 2012–2024. URL: <http://www.mgc.ac.cn/cgi-bin/ZOVER/main.cgi> (accessed 19.08.2024)
- Korneenko E.V., Samoilo A.E., Artyushin I.V., Kaptelova V.V., Dudorova A.V., Dedkov V.G., Speranskaya A.S., Akimkin V.G. Metagenomic analysis of viruses in bat fecal samples from Moscow region reveals the whole genome sequences of Mastadenovirus and Alphacoronavirus. *FEBS Open Bio*. 2021, vol. 11, no. S1, pp. 120–120.
- Yashina L.N., Zhigalin A., Abramov S.A., Luchnikova E.M., Smetannikova N.A., Dupal T.A., Krivopalov A.V., Vdovina E.D., Svirin K.A., Gadzhiev A.A., Malyshev B.S. Detection of coronaviruses (Coronaviridae) in bats in the North Caucasus and South of Western Siberia. *Problems of Virology*, 2024, vol. 69, no. 2, pp. 255–265. (In Russian) <https://doi.org/10.36233/0507-4088-233>
- Alkhovsky S., Lenshin S., Romashin A., Vishnevskaya T., Vyshemirsky O., Bulycheva Y., Lvov D., Gitelman A. SARS-like Coronaviruses in Horseshoe Bats (*Rhinolophus* spp.) in Russia. *Viruses*, 2022, vol. 14, no. 1, p. 113. <https://doi.org/10.3390/v14010113>
- Troupin C., Picard-Meyer E., Dellicour S., Casademont I., Kergoat L., Lepelletier A., Dacheux L., Baele G., Monchâtre-Leroy E., Cliquet F., Lemey P., Bourhy H. Host genetic variation does not determine spatio-temporal patterns of European bat 1 lyssavirus. *Genome biology and evolution*, 2017, vol. 9, no. 11, pp. 3202–3213. <https://doi.org/10.1093/gbe/evx236>

12. Kuzmin I.V., Wu X., Tordo N., Rupprecht C.E. Complete genomes of Aravan, Khujand, Irkut and West Caucasian bat viruses, with special attention to the polymerase gene and non-coding regions. *Virus research*. 2008, vol. 136, no. 1-2, pp. 81–90.
13. Poleshchuk E.M., Tagakova D.N., Sidorov G.N., Orlova T.S., Gordeiko N.S., Kaisarov A.Zh. Cases of lethal lyssavirus infection in humans after contact with bats in the Far East of Russia in 2019–2021. *Problems of Virology*, 2023, vol. 68, no. 1, pp. 45–58. (In Russian) <https://doi.org/10.36233/0507-4088-156>
14. Sokolov V.E. ed. *Itogi mecheniya mlekopitayushchikh* [The results of tagging mammals]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 302 p. (In Russian)
15. Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C., Rodrigues L. Bat migrations in Europe: a review of banding data and literature. Münster: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, 2005, 162 p.
16. Pavlinov I.Ya. Lisovskii A.A. *Mlekopitayushchie Rossii: sistematiko-geograficheskii spravochnik* [Mammals of Russia: systematic and geographical reference]. Moscow, KMK Publ., 2012, 604 p. (In Russian)
17. Ivanitzky A.N., Alekseev A.Yu. Distribution of bats in the subtropical regions of the Black Sea coast and adjacent territories. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 8–30. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-8-30>
18. Zhigalin A.V., Gadzhiev A.A., Daudova M.G., Salimkhanov N.G., Shestopalov A.M. Ecology of bats of the Altai-Sayan mountain country of Southern Siberia. *South of Russia: ecology, development*, 2019, no. 1, pp. 9–25. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-9-25>
19. Orlova M.V., Orlov O.L. Attempt to define the complexes of bat ectoparasites in the boreal Palaearctic region. *Vestnik zoologii*. 2015, vol. 49, no. 1, pp. 75–86.
20. Orlova, M. V., Orlov, O. L., Kazakov, D. V., Zhigalin, A. V. Approaches to the identification of ectoparasite complexes of bats (Chiroptera: Vespertilionidae, Miniopteridae, Rhinolophidae, Molossidae) in the Palaearctic. *Entomological Review*, 2017, vol. 97, pp. 684–701. <https://doi.org/10.1134/S001387381705013X>
21. Orlova M.V., Kononova Yu.V. Pathogens of infectious diseases associated with specific ectoparasites of bats (Chiroptera) (review of literature data). *Parazitologiya* [Parasitology]. 2018, vol. 52, no. 2, pp. 137–153. (In Russian)
22. Strelkov P.P. Range extension of Palearctic bats (Chiroptera, Mammalia) as an example of invasion in anthropogenic habi-tats. In: *Biologicheskie invazii v vodnykh i nazemnykh ekosistemakh* [Biological Invasions in Aquatic and Terrestrial Ecosystems]. Moscow, KMK Publ., 2004, pp. 202–207. (In Russian)
23. Zhigalin A.V., Khritankov A.M. Change in the boundary of distribution range of the common noctule *Nyctalus noctula* Schreber, 1775 (Mammalia, Chiroptera, Vespertilionidae) in Siberia. *Russian journal of biological invasions*, 2016, vol. 7, pp. 152–155. <https://doi.org/10.1134/S2075111716020156>
24. Zhigalin A. New data on David's myotis *Myotis davidii* (Peters, 1869) (Mammalia, Chiroptera, Vespertilionidae) in Siberia and the Urals. *Biodivers Data Journal*, 2019, vol. 7, e34211. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e34211>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр В. Жигалин написал рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander V. Zhigalin wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declare no conflict of interest.

ORCID

Александр В. Жигалин / Alexander V. Zhigalin <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

Оригинальная статья / Original article

УДК 578

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-4



Противоопухолевый эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010 на модели солидной карциномы Льюиса

Юрий И. Каркавин¹, Любовь С. Адаменко^{1,2}, Ксения С. Юрченко^{1,2}, Александра В. Глущенко^{1,2}¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» (ФИЦ ФТМ), Новосибирск, Россия²ФГБНУ «Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения Российской академии наук» (ИХБФМ СО РАН), Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Юрий И. Каркавин, младший 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. +79538075349

Email karkaviny@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-8320-6298>

Формат цитирования

Каркавин Ю.И., Адаменко Л.С., Юрченко К.С., Глущенко А.В. Противоопухолевый эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010 на модели солидной карциномы Льюиса // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 44-54. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-4

Получена 11 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 10 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: оценить эффективность интратуморальных введений штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010, сравнить прогрессирование опухолевых узлов после виротерапии, проанализировать патоморфологические изменения в опухолевой ткани *in vitro* и *in vivo*.

Проводили однократные интратуморальные инъекции мезогенным штаммом вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010, выделенным от сизого голубя на территории Сибири, аутбредным мышам линии C57Bl/6 в солидные узлы карциномы легких Льюиса, привитые подкожно. Затем оценивали динамику роста опухоли и проводили анализ патоморфологических изменений в опухолевой ткани.

Было показано, что однократные интратуморальные инъекции иммунокомпетентным мышам линии C57Bl/6 мезогенным штаммом вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010 привели к усилению характерных патоморфологических изменений в опухолевой ткани привитой подкожно карциномы легких Льюиса и к снижению роста опухоли по сравнению с контрольной группой мышей *in vivo*. Было отмечено прямое цитотоксическое действие штамма ВБН на клеточную линию Vero E6 *in vitro*.

Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что штамм ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 обладает противоопухолевыми свойствами, что, возможно, позволит использовать его в клинических условиях в качестве эффективного противоопухолевого препарата.

Ключевые слова

Вирус болезни Ньюкасла, виротерапия, карцинома легких Льюиса, онколитические вирусы, опухолевая прогрессия.

Antitumor effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010 on a model of solid Lewis carcinoma

Yuriy I. Karkavin¹, Lyubov S. Adamenko^{1,2}, Kseniya S. Yurchenko^{1,2} and Alexandra V. Glushchenko^{1,2}

¹Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine (FRC FTM), Novosibirsk, Russia

²Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (ICBFM SB RAS), Novosibirsk, Russia

Principal contact

Yuriy I. Karkavin, junior researcher, Laboratory of Experimental Oncology and Pharmaceutical Testing, Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine (FRC FTM); 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630060.

Tel. +79538075349

Email karkaviny@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8320-6298>

How to cite this article

Karkavin Yu.I., Adamenko L.S., Yurchenko K.S., Glushchenko A.V. Antitumor effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010 on a model of solid Lewis carcinoma. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):44-54. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-4

Received 11 March 2024

Revised 10 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. To evaluate the efficacy of intratumoral administrations of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010, to compare progression of the tumor nodes after virotherapy and to analyse pathomorphological changes in the tumor tissue *in vitro* and *in vivo*.

Single intratumoral injections of the mesogenic strain of Newcastle disease virus NDV/Altai/pigeon/777/2010, isolated from a rock dove in Siberia, were done into outbred mice of the C57Bl/6 line into solid nodes of Lewis lung carcinoma that were grafted subcutaneously. Then the dynamics of tumor growth and pathomorphological changes in the tumor tissue were assessed and analyzed.

It was shown that single intratumoral injections into immunocompetent C57Bl/6 mice with the mesogenic strain of Newcastle disease virus NDV/Altai/pigeon/777/2010 led to an increase in peculiar pathomorphological changes in the tumor tissue of subcutaneously grafted Lewis lung carcinoma and to a decrease in tumor growth compared to the control group of mice *in vivo*. A direct cytotoxic effect of the NDV strain on the Vero E6 cell line *in vitro* was noted.

The results of this study indicate that the NDV strain NDV/Altai/pigeon/777/2010 has antitumor properties. This may enable clinical trials to prove its effectiveness as an antitumor drug.

Key Words

Newcastle disease virus, virotherapy, Lewis lung carcinoma, oncolytic viruses, tumor progression.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной Организации Здравоохранения, онкологические заболевания занимают второе место по причинам гибели людей после сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Поэтому поиск и разработка новых препаратов и подходов онкотерапии, основанных на внедрении новейших технологий и достижений клинической онкологии, остается актуальным направлением в области биологии и экспериментальной медицины.

В настоящее время основными методами лечения злокачественных и доброкачественных новообразований по-прежнему являются резекция опухоли, химиотерапия и лучевая терапия, которые иногда не в состоянии улучшить клинический исход болезни, часто оказывают высокотоксическое воздействие на местные ткани и не могут замедлить процессы инвазивного роста и метастазирования [2].

Вектор развития современной онкологии направлен на максимально индивидуализированные подходы к лечению пациентов со злокачественными образованиями из-за высокой степени гетерогенности онкологических заболеваний. Внедряются новые методы, нацеленные на активацию иммунных реакций в организме для борьбы с онкологическими заболеваниями (например, блокада иммунных контрольных точек [3], персонализированные вакцины [4] и Т-клетки с химерными антигенными рецепторами [5]). Эти исследования нацелены на выявление динамических изменений в биологических аномалиях опухоли, на устранение опухолевых клеток и уничтожение их субклонов, которые опосредуют резистентность к лечению [6].

Среди многочисленных методов и противораковых препаратов, которые были внедрены в клиническую онкологию в последнее время, выделяются таргетные препараты, в основе действия которых лежат принципы целевого воздействия на известные молекулярные процессы, происходящие в опухолевой ткани. Есть особая группа препаратов, которые служат в качестве вектора для доставки биологических, химических и радиоактивных онколитических агентов непосредственно в ткани опухоли [7]. Виротерапия представляет собой особый вид таргетной терапии, где в качестве противоопухолевых терапевтических агентов используются онколитические вирусы, которые способны избирательно инфицировать и уничтожать клетки злокачественных опухолей без повреждения клеток нормальных здоровых тканей [8]. Одним из перспективных для виротерапевтических разработок онколитических агентов является вирус болезни Ньюкасла (ВБН), принадлежащий к роду *Orthoavulavirus*, подсемейству *Avulovirinae* семейства *Paramyxoviridae* [9]. Его цитотоксическое действие на культуры опухолевых клеток и безопасность для нормальных клеток демонстрируют эффективность ВБН как онколитического агента.

В данном исследовании изучался противоопухолевый эффект природного штамма вируса болезни Ньюкасла (NDV/Altai/pigeon/777/2010) [10]. В качестве экспериментальной модели для исследования была выбрана опухолевая линия карциномы Льюиса (КЛЛ). Был продемонстрирован цитотоксический потенциал вируса на клетках КЛЛ *in vitro* и

статистически значимое снижение жизнеспособности клеток после инфицирования. В эксперименте *in vivo* изучено влияние внутриопухолевой инъекции вируса болезни Ньюкасла на процессы опухолевой прогрессии солидной подкожной карциномы Льюиса с оценкой динамики роста опухолевых подкожных узлов и исследованием изменения показателей уровней деструктивных изменений в опухолевой ткани.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Суспензию клеток карциномы легкого Льюиса вводили аутбредным мышам-самцам линии C57Bl/6 подкожно в правый бок. Животных содержали в стандартных условиях. Штамм ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 вводили интратуморально в течение 4 дней со следующего дня после пальпации опухолевого узла. Мышей из контрольной группы оставили интактными после введения опухолевых клеток. Измеряли влияние однократной интратуморальной инъекции на рост опухоли при помощи штангенциркуля [6]. Образцы опухолевой ткани получали на 2, 4, 6, 8, 10 и 14 сутки после интратуморального введения вируса. Морфологические изменения в опухолевой ткани оценивали с помощью рутинного окрашивания гематоксилином и эозином. Патоморфологические показатели (число митозов, объемная плотность некрозов) сравнивали с помощью морфометрического анализа срезов опухолевой ткани мышей из контрольной и экспериментальной групп [7]. Цитотоксический эффект штамма ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 оценивали путем десятикратных разведений стокового образца ВБН на опухолевой клеточной линии Vero E6 по стандартной методике [8], затем считали 50%-ную тканевую цитотоксическую дозу (ТЦД₅₀) по методу Риды-Менча [9]. Жизнеспособность клеточной культуры после заражения штаммом ВБН определяли при помощи МТТ-теста [10].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Оценка жизнеспособности клеток карциномы легкого Льюиса после заражения штаммом NDV/Altai/pigeon/777/2010 при различной множественности инфицирования in vitro

Природный штамм NDV/Altai/pigeon/777/2010, нарабатанный на РКЭ, демонстрирует, что через одни сутки после заражения выживаемость мышинной клеточной культуры карциномы Льюиса составляет около 100% при низких дозах заражения – множественности инфицирования 0.01 и 0.1 MOI. Одновременно с этим уже на первые сутки после заражения при увеличении множественности инфицирования до 1 и 10 MOI отмечено снижение жизнеспособности клеток карциномы Льюиса до 62.28 и 37.36 %, соответственно. Однако, с течением нескольких суток в динамике наблюдения картина меняется, и выживаемость опухолевых клеточных линий при инфицировании в низких дозах (0.01 и 0.1 MOI) начинает снижаться, достигая 66.17 и 61.77 % к шестым суткам наблюдения, соответственно. По прошествии шести суток онколитический потенциал штамма ВБН в высоких дозах инфицирования (1 и 10 MOI) также снижается, но снижение жизнеспособности составляет примерно 20 и 15 %

между первыми сутками и шестыми сутками эксперимента, соответственно (рис. 1).

Природный штамм NDV/Altai/pigeon/777/2010, нарабатанный на клеточной культуре Vero E6, демонстрирует высокую выживаемость мышшиной клеточной культуры карциномы Льюиса при разных дозах инфицирования вирусом относительно выживаемости клеток после инфицирования аллантаическим вариантом вируса. Вплоть до шестых суток после заражения выживаемость составляет 70–80 % (рис. 2). Заражение неразведенным культуральным вирусом (сток) приводит к снижению жизнеспособности клеток карциномы Льюиса до 47.98 ± 5.92 %, что приблизительно соответствует уровню

жизнеспособности клеток при инфицировании аллантаическим вариантом вируса 1 и 10 MOI к 4 суткам.

Исходя из представленных результатов оценки жизнеспособности клеток, штамм NDV/Altai/pigeon/777/2010, нарабатанный в аллантаической полости РКЭ, эффективно снижает жизнеспособность клеток опухолевой мышшиной линии карциномы Льюиса. По полученным результатам прослеживается дозозависимый эффект, который более выражен при высоких дозах инфицирования (1 и 10 MOI). Причем онколитический потенциал реализуется уже на первые сутки после инфицирования.

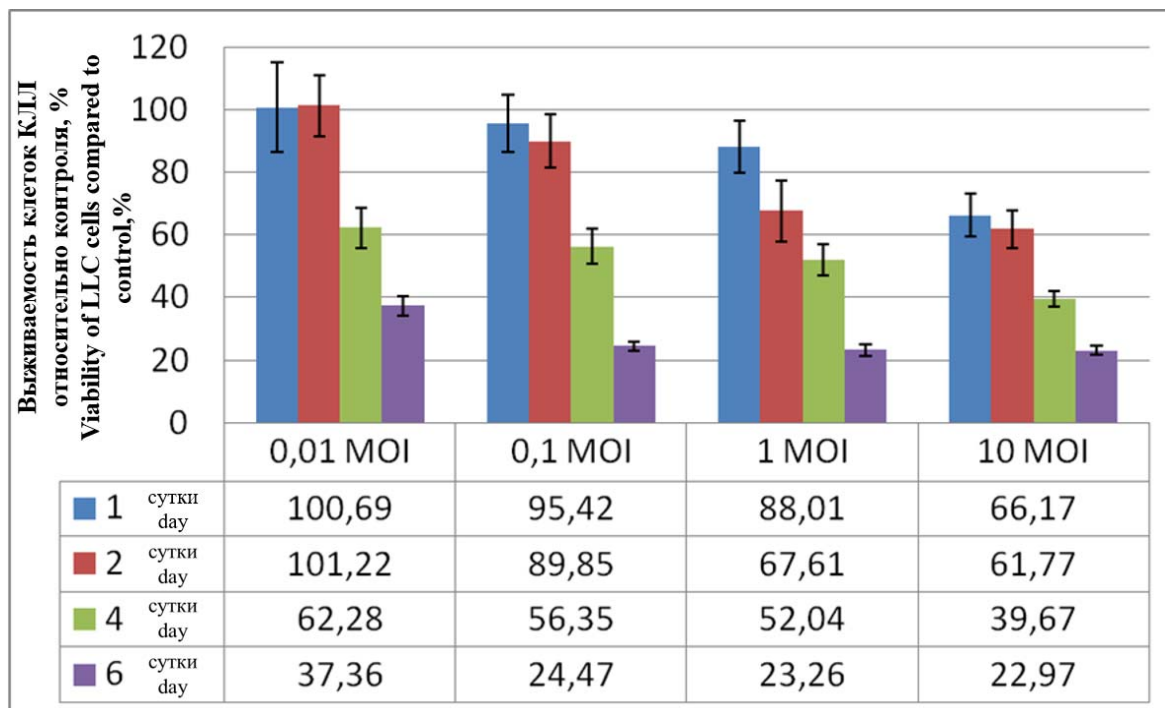


Рисунок 1. Онколитический эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010, нарабатанного на РКЭ, с инфекционным титром 7.00 ± 0.38 IgTC₅₀/мл, на перевиваемой опухолевой линии клеток мышшиной карциномы Льюиса *in vitro*, МТТ-тест, 540 нм. MOI – множественность инфицирования

Figure 1. Oncolytic effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010, developed on DCE, with an infectious titer of 7.00 ± 0.38 IgTC₅₀/ml, on a continuous tumor cell line of Lewis lung carcinoma *in vitro*, MTT test, 540 nm. MOI is the multiplicity of infection

2. Динамика роста опухолевого узла карциномы Льюиса и влияние интратуморальной инъекции NDV/Altai/pigeon/777/2010 на продолжительность жизни мышей с опухолью

У контрольной группы мышей-опухолонесителей происходило увеличение размеров подкожных солидных узлов карциномы Льюиса. Размеры узла карциномы Льюиса также поступательно увеличивались, несмотря на интратуморальную виротерапию. Однако однократные интратуморальные инъекции штаммом ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 приводили к значительному снижению объема опухолевых узлов по сравнению с мышшами контрольной группы (рис. 3).

Таким образом, сравнивая с динамикой нарастания объема опухоли у контрольных животных, показано, что однократная интратуморальная инъекция вирусом NDV/Altai/pigeon/777/2010 оказывает сдерживающий опухолевый рост эффект на карциному Льюиса.

У всех животных с перевитой опухолью узел сформировался и начал пальпироваться через 19–22 суток. На протяжении всего эксперимента не было случаев гибели животных после трансплантации опухолевых клеток. Животных выводили из эксперимента при достижении объема опухолевого узла 2000–2500 мм³. На основании порогового объема опухолевого узла в контрольной группе (без лечения) животные были выведены из эксперимента к 16–18 суткам после виротерапии.

Животных, получивших однократную интратуморальную инъекцию исследуемым штаммом ВБН, которых оставили для доживания, вывели из эксперимента с забором материала к 26-м суткам после виротерапии. Максимальный размер опухолевого узла составлял 2599.63 ± 201.60 мм³ в контрольной группе животных и 2252.14 ± 250.10 мм³ в группе животных, получавших инъекцию вируса.

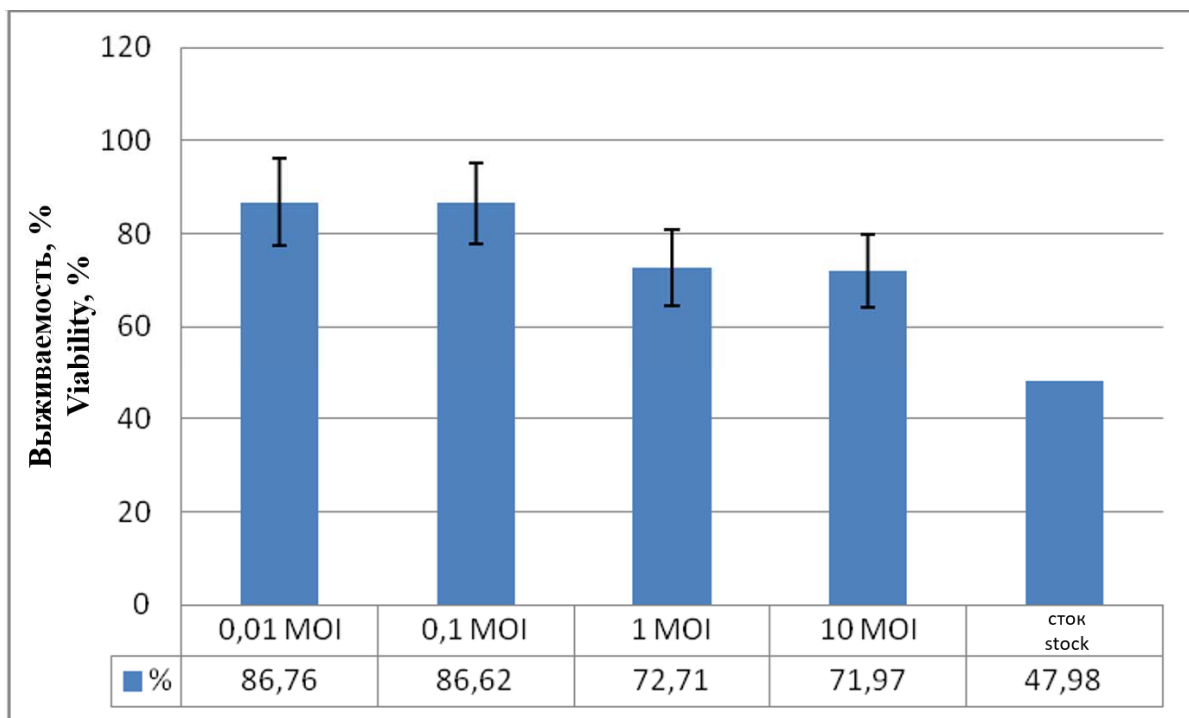


Рисунок 2. Онколитический эффект штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010, наработанного на клеточной культуре Vero, с инфекционным титром $7.00 \pm 0.25 \text{ IgTC}_{50}/\text{мл}$, на перевиваемой опухолевой линии клеток мышиной карциномы Льюиса *in vitro*, MTT-тест, 540 нм. 6 сутки после инфицирования.

MOI – множественность инфицирования, сток – не разведенный культуральный вирус

Figure 2. Oncolytic effect of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010, developed on Vero cell culture, with an infectious titer of $7.00 \pm 0.25 \text{ IgTC}_{50}/\text{ml}$, on a continuous tumor cell line of Lewis lung carcinoma *in vitro*, MTT test, 540 nm. 6 days after infection. MOI = multiplicity of infection. The stock was undiluted cultural virus.

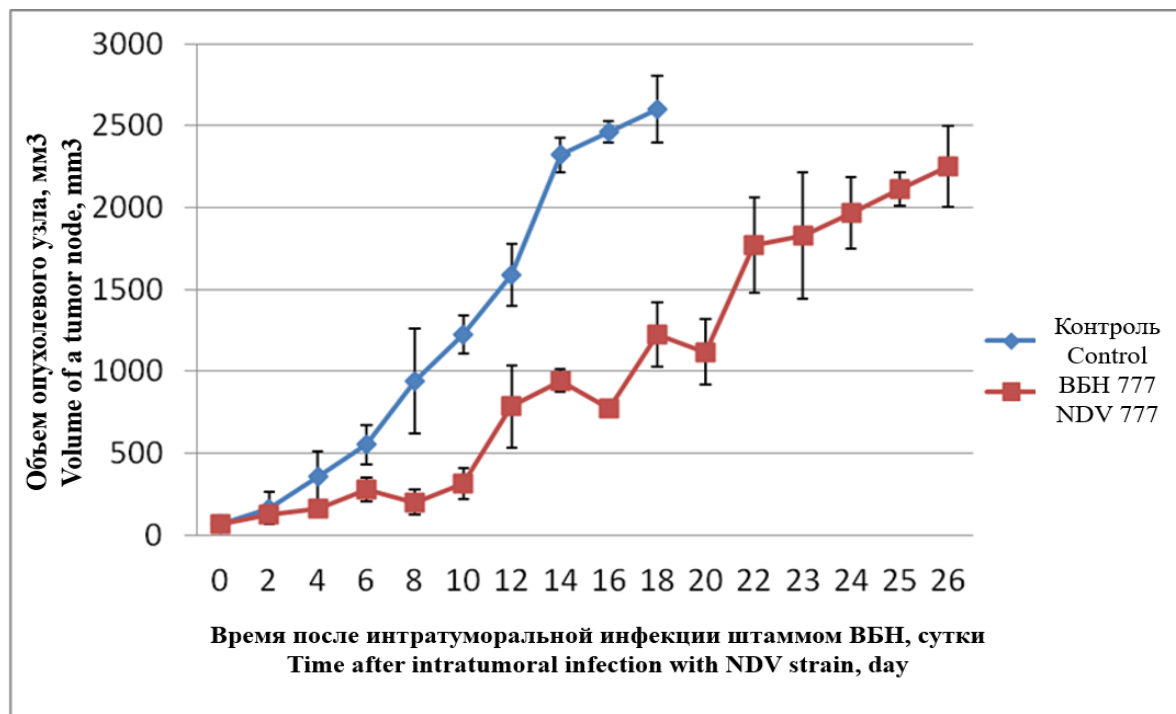


Рисунок 3. Изменение объема опухолевых узлов карциномы Льюиса, привитых мышам C57Bl/6, у животных без лечения (контроль) и у животных, получавших однократную интратуморальную инъекцию вируса болезни Ньюкасла (ВБН 777) NDV/Altai/pigeon/777/2010, наработанного в аллантоической жидкости РКЭ

Figure 3. Changes in the volume of Lewis lung carcinoma tumor nodes inoculated with C57Bl/6 mice in untreated animals (control) and in animals receiving a single intratumoral injection of the Newcastle disease virus (NDV 777) NDV/Altai/pigeon/777/2010, accumulated in the allantoic fluid of the DCE

3. Морфологические особенности ткани опухоли в динамике наблюдения после однократной интратуморальной инъекции вирусом ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010

Как показано на рисунке 4, обнаружили взаимосвязь между интратуморальным введением ВБН и количеством митотических клеток. С первых точек наблюдения после окончания виротерапии ВБН отмечено, что количество митозов в опухолевой ткани карциномы Льюиса значительно снижено по сравнению с контрольной группой животных на всех точках наблюдения. Кроме того, среднее количество митозов в

контрольной группе, не получавшей инъекции вируса, существенно не изменилось (оно составило 7.76 на 1-й день и 7.68 на 10-й день после виротерапии), в то время как в экспериментальной группе, получавшей однократную интратуморальную инъекцию ВБН, значение параметра было уже в первый день ниже по сравнению с контролем (в 3.00 раза на 2 сутки и в 1.6 раза на 10 сутки после инъекции ($p \leq 0.05$)). Показатель среднего количества митозов при этом увеличился в экспериментальной группе (в 1.85 раз со 2 по 10 сутки после инъекции ВБН ($p \leq 0.05$)).

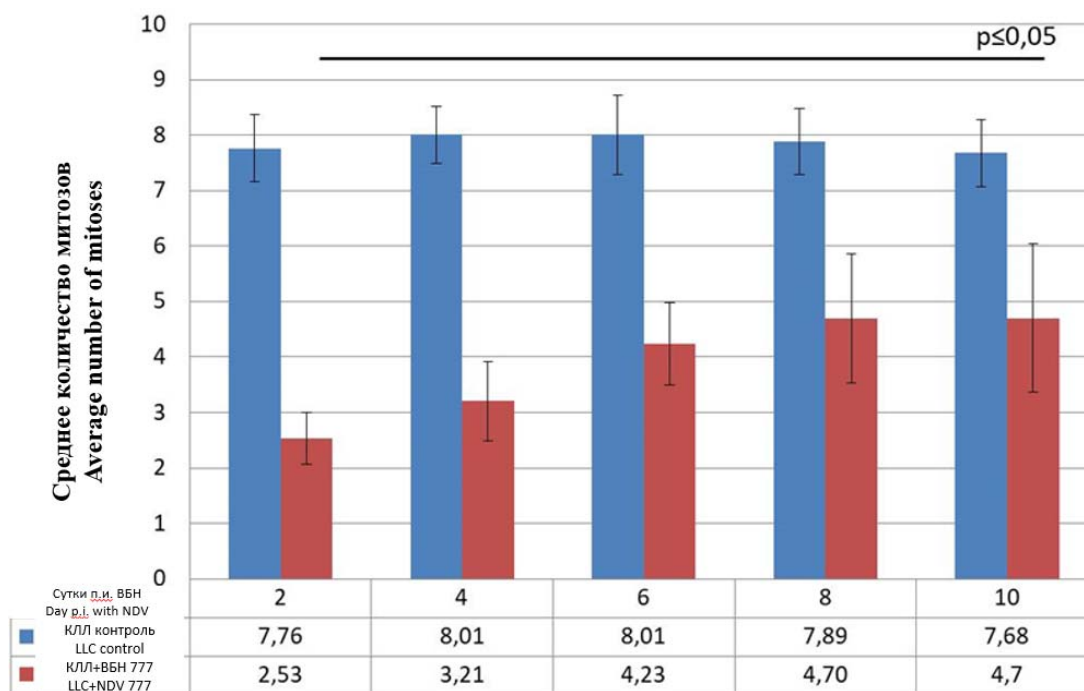


Рисунок 4. Количество митотических фигур в опухолевой ткани карциномы Льюиса мышей линии C57Bl/6 после интратуморальной инъекции (КЛЛ+ВБН 777); подсчет митотических фигур проводили с увеличением $\times 40$. Статистически значимая разница между мышами, получавшими вирусную инъекцию и контрольной группой, а также между 2 и 10 сутками наблюдения после инъекции ВБН в экспериментальной группе мышей $p \leq 0.05$ были рассчитаны с помощью t-критерия

Figure 4. The number of mitotic figures in the tumor tissue of Lewis lung carcinoma in C57Bl/6 mice after intratumoral injection (LLC+NDV 777) (the count of mitotic figures being carried out under $\times 40$ magnification. The statistically significant differences between the mice receiving viral injection and the control group, as well as between 2 and 10 days of follow-up after injection with NDV in the experimental group of mice $p \leq 0.05$ were calculated using the t-test

Гибель клеток карциномы Льюиса путем некроза и апоптоза была отмечена в опухолевой ткани в группе мышей с интратуморальной инъекцией штамма ВБН, так и в контрольной группе без лечения. Наличие очагов некроза и кровоизлияния в опухолевой ткани могло иметь ишемическую природу, поскольку опухолевые узлы активно росли, что отражено в графике динамики изменения объема опухолевого узла (рис. 3) и, вероятно, опережали рост сосудов, которые необходимы для питания опухоли. Морфометрический анализ деструктивных участков показал некротические изменения в обеих группах (рис. 5).

Деструктивные изменения в опухолевой ткани были зафиксированы на вторые сутки после виротерапии, а также в контрольной группе. В контрольной группе с трансплантированной опухолью и без лечения объемная плотность некроза составила 30.96 ± 3.19 %. Далее объемная плотность некроза незначительно увеличилась без достоверных отличий и

достигла 36.95 ± 8.06 % на 6 сутки после инъекции. Рост объемной плотности некрозов отмечен к 8 суткам и 10 суткам после инъекции – 51.13 ± 3.96 % и 59.15 ± 5.18 %, соответственно. Рост патоморфологических изменений в опухолевой ткани в контрольной группе на 8 и 10 сутки возможно связан с быстрым опухолевым ростом узлов на данных точках наблюдения.

Интратуморальная инъекция вируса индуцировала рост некротических процессов, которые занимали примерно 48.93 ± 3.80 % ткани опухоли уже на вторые сутки после виротерапии, и этот показатель существенно не изменялся вплоть до 8 суток наблюдения. Таким образом, наблюдали нарастание объемной плотности некрозов опухоли карциномы Льюиса в экспериментальной группе к 10 суткам, но в группе контроля без лечения штаммом ВБН увеличение этого показателя было достоверно ниже и менее выражено.

На многих препаратах опухолевых узлов отмечена особенность – опухолевые клетки, тесно переплетаясь с

адипоцитами в основном в периферических областях узлов, придают опухолевой ткани ячеистый вид (рис. 6).

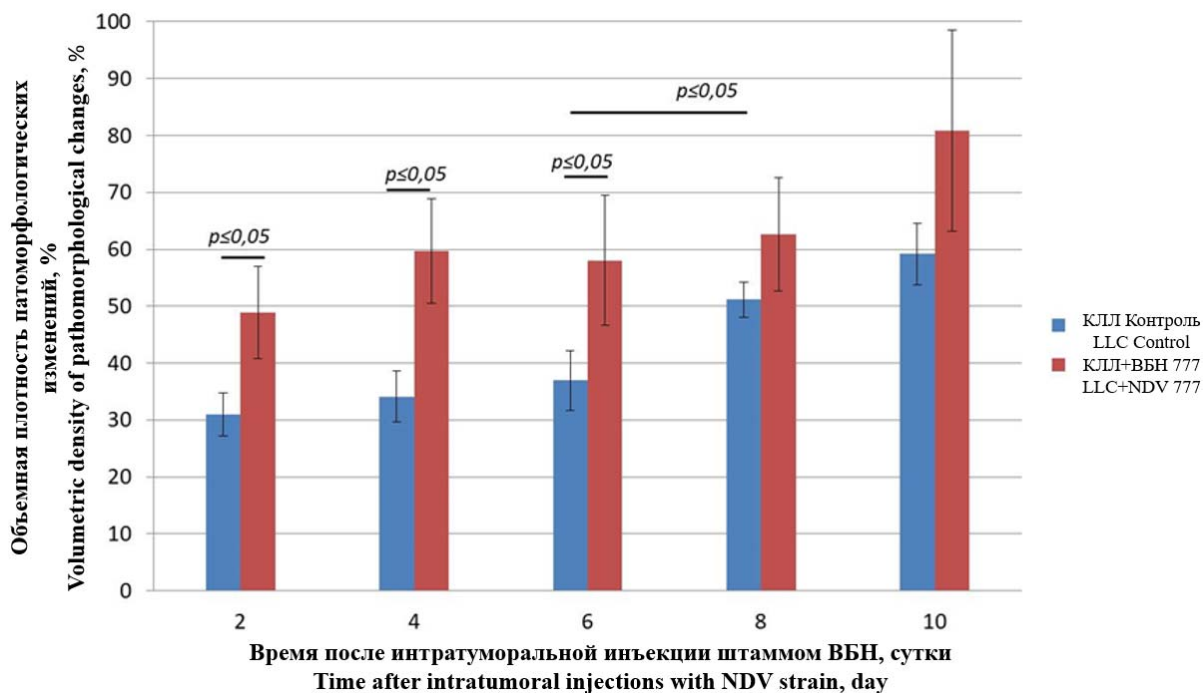


Рисунок 5. Количественный анализ некротических участков в опухолевой ткани карциномы Льюиса

Оценка деструктивных изменений в подкожных опухолевых узлах у мышей, не получавших ВБН, и у мышей с интратуморальной инъекцией вируса. КЛЛ контроль – контрольная группа без лечения; КЛЛ + ВБН 777 – группа с интратуморальной однократной инъекцией ВБН. Результаты представлены в виде относительных средних значений \pm стандартное отклонение. $p \leq 0.05$ были рассчитаны с помощью t-критерия

Figure 5. Quantitative analysis of necrotic sites in the tumor tissue of Lewis lung carcinoma

Assessment of destructive changes in subcutaneous tumor nodes in the mice that did not receive NDV and in the mice with intratumoral injection of the virus. LLC control was a control group without treatment; LLC + NDV 777 is a group with intratumoral single injection with NDV. The results that presented as relative averages \pm standard deviation ($p \leq 0.05$) were calculated using the t-test

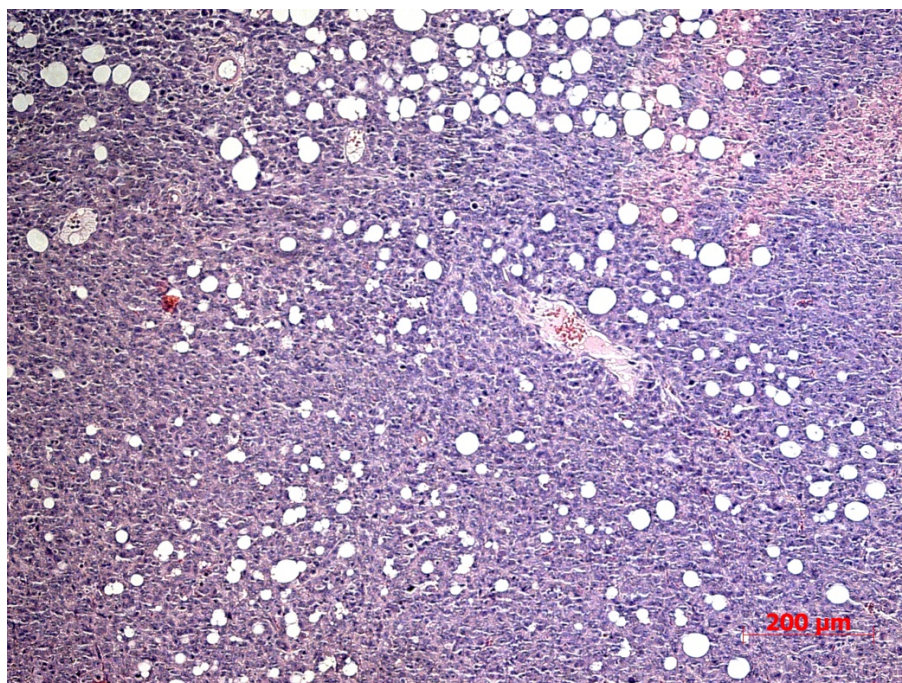


Рисунок 6. Инфильтрация подкожно-жировой клетчатки, очагами в виде сот, в опухолевые узлы карциномы Льюиса, получавшей однократную интратуморальную инъекцию штамма вируса болезни Ньюкасла NDV/Altai/pigeon/777/2010. 14-е сутки после виротерапии, окраска гематоксилином-эозином. Увеличение $\times 10$

Figure 6. Infiltration of subcutaneous fat - foci in the form of honeycombs - into the tumor nodes of Lewis lung carcinoma that received a single intratumoral injection of the Newcastle disease virus strain NDV/Altai/pigeon/777/2010. 14th day after virotherapy – stained with hematoxylin-eosin. $\times 10$ magnification

Возникновение и развитие опухоли во многих аспектах зависят от ее микроокружения (ТМЕ). Метаболическая трансформация является не только признаком рака, но и ключевой целью лечения рака. Из-за влияния раковых клеток на физиологические характеристики ТМЕ, большой интерес вызывает ремоделирование ТМЕ в качестве потенциальной стратегии лечения раковых заболеваний. По всей видимости, адипоциты (клетки, обильно инфильтрирующие ТМЕ) играют ключевую роль в опухолевой прогрессии. Адипоциты считаются важнейшими компонентами ТМЕ, могут мигрировать из ТМЕ непосредственно в опухоль и обратно [11]. В недавних исследованиях было продемонстрировано, что адипоциты, совместно культивируемые с раковыми клетками, подвергались значительным морфологическим и функциональным изменениям: снижалось содержание липидов и маркеров адипоцитов, таких как адипонектин, лептин и белок, связывающий жирные кислоты (FABP)2 [12–14]. Сверхэкспрессия интерлейкина (IL)-6, IL-1 и матриксной металлопротеиназы (MMP)-11 также наблюдали у таких адипоцитов, которые впоследствии стали называть опухоль-ассоциированными адипоцитами (САА). Примечательно, что в опухолевой ткани рост и метастазирование ускоряются в присутствии адипоцитов, например, при раке молочной железы или в анатомических участках, где раковые клетки расположены близко к жировой ткани, в том числе при раке желудка, толстой кишки и яичников [15]. Адипоциты участвуют в очень сложном воспалительном цикле, который регулируется опухолевыми клетками, способствуя развитию опухоли. САА также вызывают лекарственную устойчивость при лечении онкологиче-

ских заболеваний, например, при химиотерапии, радиотерапии, гормональной терапии и иммунотерапии, что может привести к персистенции опухолевых клеток и увеличить риск рецидива опухоли [14]. Помимо всего этого, рост опухолей приводит к усиленной мобилизации липидов жировых депо и, часто по мере прогрессии опухоли возникает гиперлипидемия раковых клеток. Часть липидов ассимилируется опухолью для образования мембран пролиферирующими опухолевыми клетками. В основном, мобилизацию адипоцитов опухолевыми клетками считают проявлением компенсаторной реакции на гипогликемическое влияние опухоли, позволяющую тканям при недостатке глюкозы использовать окисление жирных кислот в качестве дополнительного источника энергии. К тому же адипоциты, вероятно, выполняют каркасную функцию, поддерживая структуру опухоли.

Исходя из данных рисунка 7, заметно снижение количества адипоцитов в толще опухолевой ткани по мере роста опухоли, как в контрольной, так и при однократной инъекции вирусом. На 2-е сутки в группе мышей, подвергшихся виротерапии, количество адипоцитов в поле зрения больше, чем в 2 раза по сравнению с контролем (179 и 73 соответственно). Однако на 4-е сутки картина меняется: в контрольных образцах количество адипоцитов преобладало почти в 2 раза (52 и 101). С 6 по 10 сутки количество адипоцитов резко сокращается в обеих группах, причем в контрольных образцах их кратно меньше, чем при виротерапии (34-5, 23-5, 13-8 на 6, 8 и 10 сутки соответственно). На 14-е сутки количество адипоцитов увеличивается в обеих группах (73 и 21).

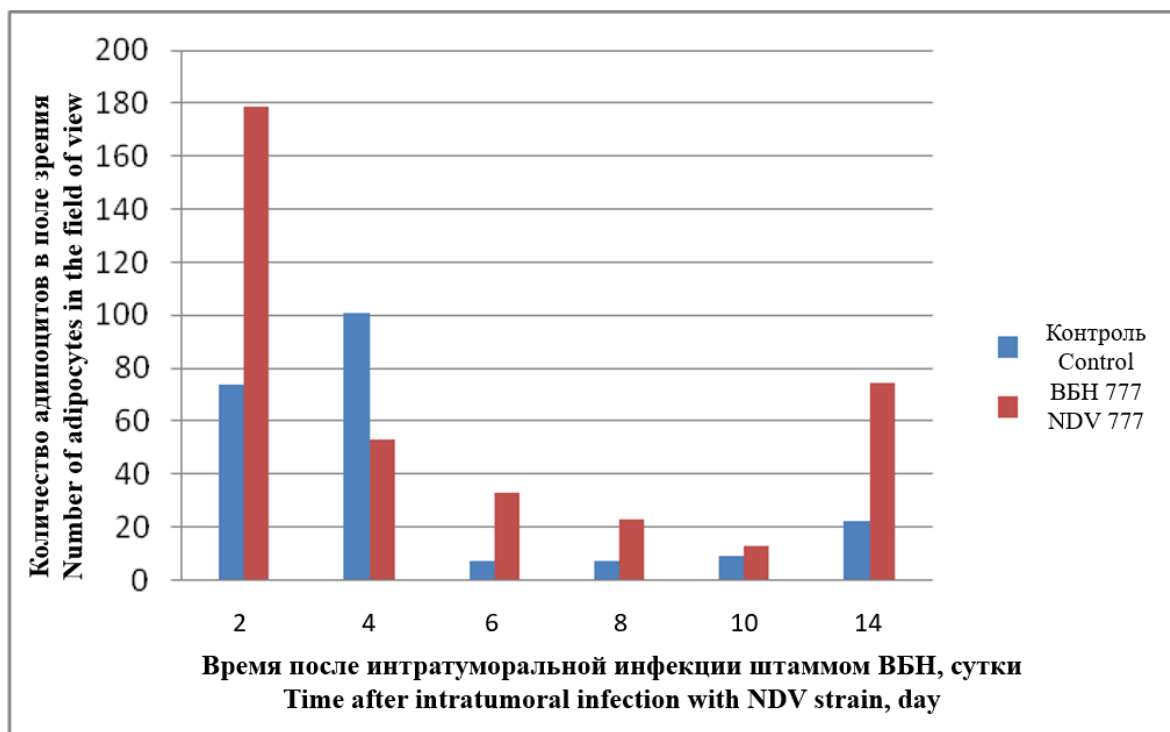


Рисунок 7. Количество инфильтратов подкожно-жировой клетчатки в опухолевой ткани карциномы Льюиса мышей линии C57Bl/6 после интратуморальной инъекции (ВБН 777) и в контрольной группе (без лечения); подсчет фигур проводили с увеличением $\times 20$ в поле зрения с наибольшим количеством инфильтратов

Figure 7. The number of subcutaneous fat infiltrates in the tumor tissue of Lewis lung carcinoma in C57Bl/6 mice after an intratumoral injection (NDV 777) and in the control group (without treatment). Figures were counted $\times 20$ under magnification 20 in the field of view with the largest number of infiltrates

Судя по вышеприведённым данным, в целом наблюдается снижение количества адипоцитов в толще опухолевой ткани как в контрольной группе, так и при виротерапии, причем в группе леченных мышей их, в общем,кратно больше. Это могло произойти по двум причинам. Во-первых, подобный результат может быть связан с тем, что трофика опухолевой ткани при виротерапии нарушена сильнее, в связи с чем туда привлекается большее количество адипоцитов с их жировыми депо в качестве дополнительного источника энергии. Во-вторых, возможно, это также связано с увеличенной площадью некротических изменений в опухоли по сравнению с контролем, из-за чего происходит мобилизация адипоцитов из белой жировой ткани в место локализации опухоли для поддержания ее структуры. По мере роста объема опухолевого узла увеличивается площадь патоморфологических нарушений в опухолевой ткани, вследствие чего снижается количество адипоцитов, мигрирующих в опухоль, поскольку нарушается рост кровеносных сосудов, по которым клетки мигрируют. Вероятно, увеличение количества жировых клеток на 14-е сутки в обеих группах произошло из-за частичного восстановления структуры и трофики опухолевой ткани. Патоморфологических изменений в структуре этих клеток замечено не было (нормальные адипоциты белой жировой ткани, не трансформированные в опухоль-ассоциированные), что намекает на слабую степень взаимодействия между опухолевыми клетками и адипоцитами.

Таким образом, согласно анализу гистологических срезов опухолевых узлов карциномы Льюиса, деструктивные изменения в быстрорастущей опухоли связаны с некротической морфологией в экспериментальной и контрольной группах мышей. Увеличение объемной плотности некроза может быть частично связано с развитием ишемического некротического эффекта вследствие сдавления опухолевой ткани в солидном узле КЛЛ, как описано ранее в модели опухоли Кребса-2 [4]. Однако объемная плотность некроза в опухолевой ткани после внутривенной виротерапии ВБН была значительно выше, чем в опухолевой ткани необработанных животных (показано на рис. 5), при условии, что объем опухолевых узлов в контрольной группе был на 37.5–48.2 % больше во всех точках наблюдения (показано на рис. 3). Более того, известно, атипичные митозы и повышенный уровень митотической активности свойственны для злокачественных опухолей – повышенная митотическая активность может служить свидетельством неблагоприятного прогноза опухолевой прогрессии. В настоящей работе показано, что среднее количество митозов снижено в опухоли карциномы Льюиса после интратуморальной инъекции штаммом ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 по сравнению с контрольной группой мышей во всех точках наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования показывают, что однократные интратуморальные инъекции природным изолятом штамма ВБН NDV/Altai/pigeon/777/2010 мышам C57Bl/6 с подкожным введением КЛЛ оказывают сдерживающее действие на рост опухолевого узла. Этот штамм эффективно снижает жизнеспособность клеток КЛЛ *in vitro* в зависимости от дозы вируса, использованной при заражении.

Наблюдали объемную плотность некрозов в опухолях; в группе без лечения увеличение было менее выраженным. Количество митозов в ткани КЛЛ после интратуморального введения снижается по сравнению с контрольной группой мышей во всех точках наблюдения. Количество адипоцитов уменьшалось как в контрольной группе, так и в группе, леченной данным штаммом ВБН. Исследовательский проект является попыткой углубить понимание дополнительного механизма подавления роста опухоли при виротерапии с помощью ВБН, что приводит к прямому цитотоксическому воздействию на опухолевые клетки. Онколитическая виротерапия на основе штамма ВБН дикого типа может быть эффективной за счет использования как иммунологической активации, так и способности напрямую лизировать опухолевые клетки. Эти результаты позволяют предположить, что штамм природный изолят штамма ВБН обладает противоопухолевыми свойствами и может служить перспективным и эффективным противоопухолевым препаратом.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН № 122110700001-5 и при поддержке гранта РНФ № 24-24-00367.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences No. 122110700001-5 and was supported Russian Science Foundation grant № 24-,24-00367.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brunner Th. The rationale of combined radiotherapy and chemotherapy - Joint action of Castor and Pollux // Best Practice and Research Clinical Gastroenterology. 2016. V. 30. N 4. P. 515–528. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2016.07.002>
2. Tang Ch., Li L., Mo T., Qian Zh., Fan D., Sun X., Yao M., Pan L., Huang Y., Zhong L. Oncolytic viral vectors in the era of diversified cancer therapy: from preclinical to clinical // Clinical and Translational Oncology. 2022. V. 24. N 9. P. 1682–1701. <https://doi.org/10.1007/s12094-022-02830-x>
3. Wu Y.-Y., Sun T.-K., Chen M.-Sh., Munir M., Liu H.-J. Oncolytic viruses-modulated immunogenic cell death, apoptosis and autophagy linking to virotherapy and cancer immune response // Frontiers Cellular Infectional Microbiology. 2023. V. 13. N 1142172. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1142172>
4. Yurchenko K.S., Glushchenko A.V., Gulyaeva M.A., Bi Y., Chen J., Shi W., Adamenko L.S., Shestopalov A.M. Intratumoral virotherapy with wild-type Newcastle disease virus in carcinoma Krebs-2 cancer model // Viruses. 2021. V. 13. N 4. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/v13040552>
5. Kabilov M.R., Alikina T.Y., Yurchenko K.S., Glushchenko A.V., Gunbin K.V., Shestopalov A.M., Gubanova N.V. Complete genome sequences of two Newcastle disease virus strains isolated from a wild duck and a pigeon in Russia // Genome Announcement. 2016. V. 4. N 6. Article id: e01348-16. P. 1–2. <https://doi.org/10.1128/genomeA.01348-16>
6. Baris M.M., Serinan E., Calisir M., Simsek K., Aktas S., Yilmaz O., Kilic Ozdemir S., Secil M. Xenograft Tumor Volume Measurement in Nude Mice: Estimation of 3D Ultrasound Volume Measurements Based on Manual Caliper Measurements // Journal of Basic and Clinical Health Sciences.

2020. V. 4. N 2. P. 90–95.

<https://doi.org/10.30621/jbachs.2020.902>

7. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия.

Руководство. Москва: Медицина, 1990. 384 с.

8. McGinnes L., Pantua H., Reitter J., Morrison T. Newcastle disease virus: propagation, quantification, and storage // *Current Protocols in Microbiology*. 2006. Ch. 15(15). F.2.1-15F.2.18.

<https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc15f02s01>

9. Lei C., Yang J., Hu J., Sun X. On the Calculation of TCID50 for Quantitation of Virus Infectivity // *Virologica Sinica*. 2021. V. 36. N 1. P. 141–144. <https://doi.org/10.1007/s12250-020-00230-5>

10. Kumar P., Nagarajan A., Uchil P.D. Analysis of Cell Viability by the MTT Assay // *Cold Spring Harbor Protocols*. 2018. V. 1. N 6. pdb.prot095505. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot095505>

11. Lazar I., Clement E., Attane C., Muller C., Nieto L. A new role for extracellular vesicles: How small vesicles can feed tumors' big appetite // *Journal of Lipid Research*. 2018. V. 59. N 10. P. 1793–1804. <https://doi.org/10.1194/jlr.R083725>

12. Dirat B., Bochet L., Dabek M., Daviaud D., Dauvillier S., Majed B., Wang Y.Y., Meulle A., Salles B., Le Gonidec S. Cancer-associated adipocytes exhibit an activated phenotype and contribute to breast cancer invasion // *Cancer Research*. 2011. V. 71. N 7. P. 2455–2465. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-10-3323>

13. Vaupel H., Schmidberger A., Mayer A. The Warburg effect: Essential part of metabolic reprogramming and central contributor to cancer progression // *International Journal of Radiation Biology*. 2019. V. 95. N 7. P. 912–919. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1589653>

14. Hoxhaj G., Manning B.D. The PI3K-AKT network at the interface of oncogenic signalling and cancer metabolism // *Nature Reviews Cancer*. 2020. V. 20. N 2. P. 74–88. <https://doi.org/10.1038/s41568-019-0216-7>

15. Nieman K.M., Romero I.L., Van Houten B., Lengyel E. Adipose tissue and adipocytes support tumorigenesis and metastasis // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids*. 2013. V. 1831. N 10. P. 1533–1541. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2013.02.010>

REFERENCES

1. Brunner Th. The rationale of combined radiotherapy and chemotherapy - Joint action of Castor and Pollux. *Best Practice and Research Clinical Gastroenterology*, 2016, vol. 30, no. 4, pp. 515–528. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2016.07.002>
2. Tang Ch., Li L., Mo T., Qian Zh., Fan D., Sun X., Yao M., Pan L., Huang Y., Zhong L. Oncolytic viral vectors in the era of diversified cancer therapy: from preclinical to clinical. *Clinical and Translational Oncology*, 2022, vol. 24, no. 9, pp. 1682–1701. <https://doi.org/10.1007/s12094-022-02830-x>
3. Wu Y.-Y., Sun T.-K., Chen M.-Sh., Munir M., Liu H.-J. Oncolytic viruses-modulated immunogenic cell death, apoptosis and autophagy linking to virotherapy and cancer immune response. *Frontiers Cellular Infectious Microbiology*, 2023, vol. 13, no. 1142172. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1142172>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий И. Каркавин написал манускрипт. Ксения С. Юрченко разработала дизайн исследования. Юрий И. Каркавин, Любовь С. Адаменко, Ксения С. Юрченко и Александра В. Глушенко провели эксперимент. Юрий И. Каркавин и Ксения С. Юрченко обработали и интерпретировали результаты исследования. Александра В. Глушенко рецензировал и редактировал рукопись. Все авторы в равной степени несут

4. Yurchenko K.S., Glushchenko A.V., Gulyaeva M.A., Bi Y., Chen J., Shi W., Adamenko L.S., Shestopalov A.M. Intratumoral virotherapy with wild-type Newcastle disease virus in carcinoma Krebs-2 cancer model. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 1–16. <https://doi.org/10.3390/v13040552>

5. Kabilov M.R., Alikina T.Y., Yurchenko K.S., Glushchenko A.V., Gunbin K.V., Shestopalov A.M., Gubanova N.V. Complete genome sequences of two Newcastle disease virus strains isolated from a wild duck and a pigeon in Russia. *Genome Announcement*, 2016, vol. 4, no. 6, article id: e01348-16, pp. 1–2. <https://doi.org/10.1128/genomeA.01348-16>

6. Baris M.M., Serinan E., Calisir M., Simsek K., Aktas S., Yilmaz O., Kilic Ozdemir S., Secil M. Xenograft Tumor Volume Measurement in Nude Mice: Estimation of 3D Ultrasound Volume Measurements Based on Manual Caliper Measurements. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 90–95. <https://doi.org/10.30621/jbachs.2020.902>

7. Автандилов Г.Г. *Медицинская морфометрия. Руководство* [Medical morphometry. Guidance]. Moscow, Meditsina Publ., 1990, 384 p. (In Russian)

8. McGinnes L., Pantua H., Reitter J., Morrison T. Newcastle disease virus: propagation, quantification, and storage. *Current Protocols in Microbiology*, 2006, ch.15(15), F.2.1-15F.2.18. <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc15f02s01>

9. Lei C., Yang J., Hu J., Sun X. On the Calculation of TCID50 for Quantitation of Virus Infectivity. *Virologica Sinica*, 2021, vol. 36, no. 1, pp. 141–144. <https://doi.org/10.1007/s12250-020-00230-5>

10. Kumar P., Nagarajan A., Uchil P.D. Analysis of Cell Viability by the MTT Assay. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2018, vol. 1, no. 6, pdb.prot095505. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot095505>

11. Lazar I., Clement E., Attane C., Muller C., Nieto L. A new role for extracellular vesicles: How small vesicles can feed tumors' big appetite. *Journal of Lipid Research*, 2018, vol. 59, no. 10, pp. 1793–1804. <https://doi.org/10.1194/jlr.R083725>

12. Dirat B., Bochet L., Dabek M., Daviaud D., Dauvillier S., Majed B., Wang Y.Y., Meulle A., Salles B., Le Gonidec S. Cancer-associated adipocytes exhibit an activated phenotype and contribute to breast cancer invasion. *Cancer Research*, 2011, vol. 71, no. 7, pp. 2455–2465. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-10-3323>

13. Vaupel H., Schmidberger A., Mayer A. The Warburg effect: Essential part of metabolic reprogramming and central contributor to cancer progression. *International Journal of Radiation Biology*, 2019, vol. 95, no. 7, pp. 912–919. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1589653>

14. Hoxhaj G., Manning B.D. The PI3K-AKT network at the interface of oncogenic signalling and cancer metabolism. *Nature Reviews Cancer*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 74–88. <https://doi.org/10.1038/s41568-019-0216-7>

15. Nieman K.M., Romero I.L., Van Houten B., Lengyel E. Adipose tissue and adipocytes support tumorigenesis and metastasis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids*, 2013, vol. 1831, no. 10, pp. 1533–1541. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2013.02.010>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yuriy I. Karkavin wrote the manuscript. Kseniya S. Yurchenko designed the study. Yuriy I. Karkavin, Lyubov S. Adamenko, Kseniya S. Yurchenko and Alexandra V. Glushchenko conducted the experiment. Yuriy I. Karkavin and Kseniya S. Yurchenko processed and interpreted the results of the study. Alexandra V. Glushchenko reviewed and edited the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Юрий И. Каркавин / Yuriy I. Karkavin <https://orcid.org/0000-0001-8320-6298>

Любовь С. Адаменко / Lyubov S. Adamenko <https://orcid.org/0000-0001-3622>

Ксения С. Юрченко / Kseniya S. Yurchenko <https://orcid.org/0000-0002-0679-8493>

Александра В. Глущенко / Alexandra V. Glushchenko <https://orcid.org/0000-0002-5784-0073>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 578.76

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-5



Патоморфологические изменения в тканях легкого сирийских хомяков при экспериментальном заражении SARS-CoV-2

Лидия В. Шестопалова¹, Ван Ли¹, Анастасия Ю. Филиппова^{1,2}, Марина С. Федотова^{1,2}, Юлия В. Кононова², Марина А. Гуляева^{1,2}

¹Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия

²Федеральный Исследовательский Центр Фундаментальной и Трансляционной Медицины, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Лидия В. Шестопалова, доктор биологических наук, профессор; Новосибирский государственный университет; 630090 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Пирогова, д. 2.
Тел. +79059308065
Email lidia_v@list.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6619-2135>

Формат цитирования

Шестопалова Л.В., Ли В., Филиппова А.Ю., Федотова М.С., Кононова Ю.В., Гуляева М.А. Патоморфологические изменения в тканях легкого сирийских хомяков при экспериментальном заражении SARS-CoV-2 // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 55-62. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-5

Получена 22 июня 2024 г.

Прошла рецензирование 15 июля 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

Новая коронавирусная инфекция COVID-19, вызываемая вирусом SARS-CoV-2 – опасное респираторное заболевание. Целью исследования явилось изучение патоморфологических изменений в тканях легкого сирийских хомяков при инфицировании SARS-CoV-2, что необходимо для подбора адекватной терапии и профилактики данного заболевания.

Сирийских хомяков категории SPF, инфицировали штаммом SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020) в дозе 5×10^5 TCID₅₀ вирусных частиц /животное. Из эксперимента животных выводили на 3, 6, 10, 14 и 21 сутки после инфицирования, извлекали легкие. Репликация вируса в легких определялась методом ОТ-ПЦР в режиме реального времени с использованием коммерческих наборов. Часть органа стандартно обрабатывалась для гистологического исследования. Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программного обеспечения Statistics for Windows 10.

Во всех экспериментальных группах животных были выявлены специфические патологические изменения, характерные для течения воспалительного процесса. Степень выраженности патологических изменений и объем поражений легочных тканей варьировал в зависимости от этапа заболевания. Наиболее тяжелые поражения легких отмечены на 6–10 сутки, к 21 суткам наблюдался процесс восстановления.

Исследование показало, что патологические изменения в организме, вызванные экспериментальным заражением сирийских хомяков вирусом SARS-CoV-2, многогранны и сложны. В легких случаях наблюдаются отек легких и застойные явления, а в тяжелых случаях могут наблюдаться ателектазы и даже угроза для жизни. Наиболее тяжелые поражения отмечены на 6–10 сутки, к 21 суткам наблюдался процесс восстановления структуры органа.

Ключевые слова

COVID-19, сирийские хомяки, легкие, патогенез, воспаление.

Pathomorphological changes in the lung tissues of Syrian hamsters during experimental infection with SARS-CoV-2

Lidia V. Shestopalova¹, Wang Lee¹, Anastasia Yu. Filippova^{1,2}, Marina S. Fedotova^{1,2}, Yulia V. Kononova² and Marina A. Gulyaeva^{1,2}

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

²Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Lidia V. Shestopalova, PhD in Biology, Professor, Novosibirsk State University; 2 Pirogova St, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia 630090. Tel. +79059308065
Email lidia_v@list.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6619-2135>

How to cite this article

Shestopalova L.V., Lee W., Filippova A.Yu., Fedotova M.S., Kononova Yu.V., Gulyaeva M.A. Pathomorphological changes in the lung tissues of Syrian hamsters during experimental infection with SARS-CoV-2. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):55-62. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-5

Received 22 June 2024

Revised 15 July 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

The new coronavirus infection caused by SARS-CoV-2 is a dangerous respiratory disease. The aim of the investigation was to study the pathomorphological changes in lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 as is necessary for adequate therapy and prevention of the disease.

Syrian hamsters of the SPF category were infected intranasally with a dose of 5×10^5 TCID₅₀ SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020). Animals were euthanised on days 3, 6, 10, 14 and 21 after infection and the lungs were collected. To determine virus replication real-time RT-PCR was used. The lungs was used for histological examination. Statistics was performed using Statistics for Windows 10 software.

Specific pathological lesions characterising the inflammatory process were detected in all groups of animals. The severity of pathological changes and the volume of lung tissue lesions varied depending on the stage of the disease. The most severe lesions were observed on days 6–10. By day 21, the process of organ structure restoration was noticed.

The study showed that pathological changes in the Syrian hamster's lungs caused by experimental infection with the SARS-CoV-2 were multifaceted and complex. In mild cases, congestion and infiltration are observed, and in severe cases, atelectasis and pulmonary edema were life-threatening. The most severe lesions in lungs were noted on days 6–10. By day 21, the process of restoration was observed.

Key Words

COVID-19, Syrian hamsters, lungs, pathogenesis, inflammation.

ВВЕДЕНИЕ

Новая коронавирусная инфекция COVID-19 (*Corona Virus Disease 2019*), вызываемая вирусом SARS-CoV-2 является потенциально опасным заболеванием, которое может протекать как в форме лёгкой острой респираторной вирусной инфекции, так и в тяжёлой форме с поражением нижних дыхательных путей. Это одна из крупнейших респираторных эпидемий 21 века, чрезвычайно заразная и разрушительная, поразившая более 180 млн человек во всем мире, из которых скончались около 4 млн. Хотя летальность относительно низкая (2,1 %), скорость распространения заболевания высокая и это привело к объявлению пандемии, создающей огромные проблемы для глобальной медицины и экономики [1].

Данная инфекция является полиорганный, однако, основным органом – мишенью являются легкие, в которые вирус может проникать разными путями, в том числе с помощью Spike- протеина через ангиотензинпревращающий фермент 2. У большинства заболевших людей наблюдаются легкие симптомы COVID-19, такие как лихорадка, кашель, боль в горле, усталость и болезненность в мышцах. В тяжелых случаях развивалась полиорганная недостаточность, острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС), вирусная пневмония, что может привести к тяжелым последствиям или летальному исходу [2]. С целью подбора адекватной терапии и профилактики данного заболевания существует настоятельная необходимость в изучении патоморфологических изменений органов респираторной системы, возникающие в результате поражения вирусом.

В связи с этим целью исследования явилось изучение патоморфологических изменений в тканях легкого сирийских хомяков при инфицировании SARS-CoV-2.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все работы с животными проводили в соответствии с этическими нормами обращения с лабораторными животными и Приказом Минздрава России от 23 августа 2010 г. «Об утверждении правил лабораторной практики», а также в соответствии с протоколом исследования, утверждённым биоэтическим комитетом Федерального исследовательского центра Фундаментальной и трансляционной медицины Российской Академии Наук (ФИЦ ФТМ).

Для работы был взят штамм SARS-CoV-2 (штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020), выделенный от пациента в Новосибирской области во время пандемии в 2020 году. Все работы с живым вирусом проводились сертифицированным персоналом НИИ Вирусологии ФИЦ ФТМ на базе Искитимской межрегиональной ветеринарной лаборатории, по договору с ФИЦ ФТМ. Отобранные органы в формалине и инактивированный гомогенат легких в лизирующем буфере для ПЦР доставляли в лабораторию НИИ Вирусологии ФИЦ ФТМ.

Эксперименты были выполнены на нелинейных сирийских хомяках категории SPF, массой тела 100 ± 25 г., которые, согласно литературным данным, могут быть успешно использованы для моделирования данной патологии [3; 4]. Самцы сирийских хомяков были получены из Центра коллективного пользования «SPF-виварий»

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук».

Для моделирования патологии животных заражали под наркозом интраназально капельно вирусосодержащей жидкостью суммарно 100 мкл (50 мкл в каждую ноздрю) в дозе 5×10^5 TCID₅₀ вирусных частиц/животное. Из них были сформированы 6 групп (по 5 животных в каждой группе): группу № 1 выводили из эксперимента на 3 сутки после инфицирования (п.и.), группу №2 – на 6 сутки, группу №3 – на 10 сутки, группу №4 – на 14 сутки, группу №5 – на 21 сутки, группа №6 – контрольные животные, которым закапывали физиологический раствор. После выведения животных из эксперимента у них извлекали легкие. Часть органа использовалась для приготовления гомогенатов для изучения динамики присутствия вируса в легких хомяков, другая часть стандартно обрабатывалась для гистологического исследования.

Репликация вируса в легких определялась методом ОТ-ПЦР в режиме реального времени с использованием набора RealBest Extraction 100 (ОАО «Вектор-Бест», Россия). Наличие РНК SARS-CoV-2 определяли с помощью набора RealBest SARS-CoV-2 RNA (ОАО «Вектор-Бест», Россия). Выделение РНК проводили с использованием набора «РИБО-сорб» («АмплиСенс», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Амплификацию проводили в приборе Rotor-Gene 6000. Результат амплификации считали достоверным только в случае прохождения положительных и отрицательных контролей амплификации и отрицательного контроля выделения РНК. Результаты интерпретировали на основании отсутствия или наличия пересечения кривой флуоресценции с установленной на соответствующем уровне пороговой линией.

Для оценки патоморфологического состояния легкого хомяков в экспериментальных и контрольной группах было проведено гистологическое исследование фрагментов органа. Срезы были приготовлены по стандартной методике. Биологический материал, взятый от животных, фиксировали в 4 % растворе нейтрального формалина, далее материал обезвоживали и заливали в парафин. С помощью ротационного микротомы изготавливали срезы толщиной 4–5 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином.

Проводили визуальную оценку характера патоморфологических изменений в ткани легких, а также полуколичественную оценку площади патологически измененных участков. Состояние легких хомяков оценивали, анализируя следующие показатели: состояние кровеносных сосудов, наличие, характер и локализацию воспалительного инфильтрата, структуру альвеолярных перегородок и альвеол, состояние бронхиального дерева (десквамация эпителия, клеточный детрит/слизь), наличие/отсутствие некрозов.

Полуколичественную оценку степени выраженности патологических изменений проводили в поле зрения под микроскопом (не менее 20 полей зрения/животное) в баллах от 0 до 5, где: 0 – отсутствие патологии; 1 – минимальные повреждения; 2 – незначительные повреждения; 3 – умеренные повреждения;

4 – выраженные повреждения; 5 – тяжелые повреждения.

Анализ гистологических препаратов проводили при помощи светооптического микроскопа Carl Zeiss AxioStar Plus, используя увеличения 100, 200, 400, 1000. Микрофотографирование осуществляли цифровой фотокамерой Carl Zeiss AxioCam ICc 1 с использованием программного обеспечения AxioVision 4.8.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программного обеспечения Statistics for Windows 10. Для всех количественных данных вычисляли групповое среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку среднего (SEM). Различия определены при уровне значимости $p \leq 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка вирусной репликации в легких в динамике методом ПЦР в режиме реального времени показала, что вирус детектируется на 3, 6, 10 сутки. На 14 сутки вирус в легких был обнаружен у двух животных из пяти. На 21-е сутки вирус в легких не определялся.

Патоморфологическое изучение образцов легкого сирийских хомяков выявило отличительные особенности в состоянии органа у животных разных экспериментальных групп по сравнению с контролем.

На третьи сутки под влиянием вируса SARS-CoV-2 в подслизистой оболочке бронхов и перибронхиально отмечается отёк (рис. 1 А, Б). Стенки кровеносных сосудов повреждены, вследствие чего наблюдаются в интерстиции геморрагии в виде мелких фокусов и отёк. Было зафиксировано небольшое уплотнение легочной ткани, накопление эритроцитов в альвеолах, кровенаполненность мелких кровеносных сосудов (рис. 1 В). Отмечено небольшое экссудативное повреждение альвеол, что является свидетельством начального этапа воспаления в лёгких. В целом, на третьи сутки после инфицирования состояние легких у животных можно оценить как среднетяжелое. Характер поражений указывает на развитие интерстициальной пневмонии. Результаты полуколичественной оценки

состояния легкого достоверно отличаются от группы контроля (табл. 1).

На шестые сутки после инфицирования вирусом SARS-CoV-2 в легких животных (рис. 2 А, Б) выявлены отек слизистой оболочки и десквамация эпителия мелких и средних бронхов, а также терминальных бронхиол, часть эпителиоцитов находятся в состоянии некроза. Перибронхиально и в интерстиции легочных ацинусов увеличивается количество фокусов кровоизлияния, усиливается лейкоцитарная инфильтрация (рис. 2 В). В кровеносных сосудах отмечается сдвиг эритроцитов. Патоморфологическая картина свидетельствует об ухудшении состояния ткани легкого на 6-е сутки заболевания, о чем свидетельствуют и результаты полуколичественной оценки состояния органа (табл. 1).

На десятые сутки после инфицирования сирийских хомяков вирусом SARS-CoV-2 в легком был зарегистрирован ярко выраженный ателектаз, в структурах бронхиального дерева наблюдали очаги некроза (рис. 3 А, Б). Одновременно с этим отмечаются признаки фиброза – вокруг бронхиол разрастается волокнистая строма в виде коллагеновых волокон (рис. 3 В). В просвете альвеол обнаруживается экссудация лейкоцитов, десквамация альвеолярного эпителия, а также прозрачные мембраны различной толщины. Наблюдается значительное утолщение альвеолярных перегородок, инфильтрация лейкоцитов и разрушение стенок кровеносных сосудов, а также наличие тромбоза кровеносных сосудов. Почти безвоздушная часть альвеол чередуется с компенсаторной острой эмфиземой. Большинство альвеолоцитов находятся в состоянии некроза: не просматриваются очертания клеток, просветленная цитоплазма. Патоморфологические изменения, наблюдаемые в легком на 10-е сутки, свидетельствует о развитии тяжелой пневмонии, но появление коллагеновых волокон в периваскулярном и перибронхиальном пространствах дают основание полагать, что, наряду с процессами деструкции, начинается пролиферативная фаза, связанная с репарацией органа.

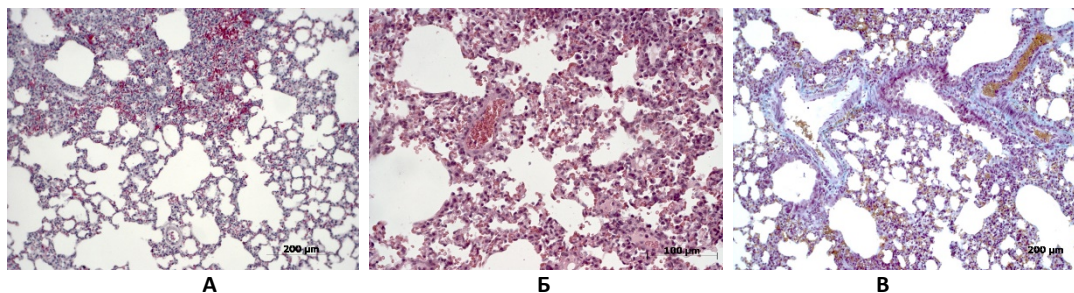


Рисунок 1. Патоморфологические изменения в лёгких сирийских хомяков на третьи сутки после заражения вирусом SARS-CoV-2:

А – геморрагии в интерстиции. Б – уплотнение легочной ткани. В – отёк подслизистой оболочки.

Окраска: А, Б – гематоксилином и эозином, В – по Маллори. Увеличение: А, В – 100, Б – 200

Figure 1. Pathological changes in the lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 on 3 d.p.i.:

А – hemorrhages in the interstitium. Б – compaction of the lung tissue. В – edema of the submucosal membrane.

Staining: А, Б – hematoxylin and eosin, В – according to Mallory. Magnification: А, В – 100, Б – 200

Изменения ткани органа на 14-е сутки характеризуются прогрессирующим в нижние отделы легкого воспалительным процессом, в результате чего выявляются периальвеолярный отёк, интраальвеолярные кровоизлияния, некроз альвеолоцитов

(рис. 4 А, Б). Вокруг структур бронхиального дерева отмечается увеличение массы коллагеновых волокон (рис. 4 В). Стенки кровеносных сосудов, зачастую, повреждены, сосуды кровенаполнены, в интерстиции отмечаются более обширные кровоизлияния по

сравнению с предыдущим сроком наблюдения. Утолщаются альвеолярные перегородки и сужается просвет альвеол. В просвете альвеол были обнаружены лейкоцитарный экссудат и десквамированный альвеолярный эпителий. Значительная часть интерстициальной ткани находится в состоянии отека. Однако, область поражения легких значительно уменьшается, увеличивается количество фиброзной ткани.

На 21-е сутки после инфицирования вирусом SARS-CoV-2 в легких сирийских хомяков (рис. 5 А, Б) признаки острого воспаления сохраняются, но количество геморрагий уменьшается, отмечается васкулит и плотные периваскулярные лейкоцитарные муфты (рис. 5 В). Но в альвеолах, наряду с деструктивным воспалительным процессом, наблюдались признаки, указывающий на процесс репарации, что было подтверждено наличием фибробластов и коллагеновых волокон.

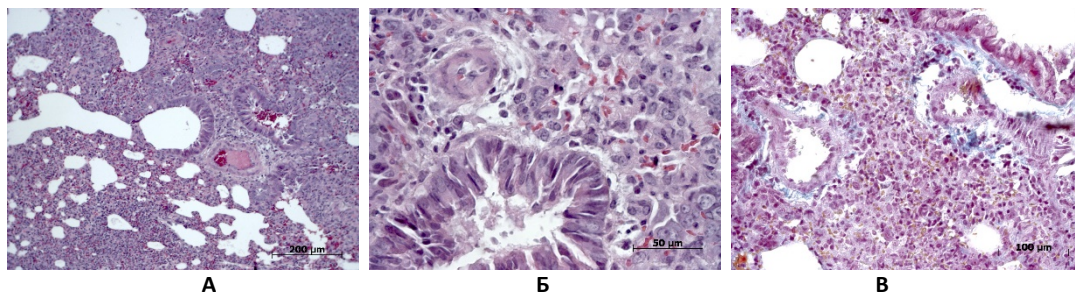


Рисунок 2. Патоморфологические изменения в лёгких сирийских хомяков на шестые сутки после заражения вирусом SARS-CoV-2.

А, В – перибронхиальный отёк, лейкоцитарная инфильтрация, Б – эпителиальная десквамация. Окраска: А, Б – гематоксилином и эозином, В – по Маллори. Увеличение: А – 100, Б – 400, В – 200

Figure 2. Pathological changes in the lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 on 6 d.p.i.:

А, В – peribronchial edema, leukocyte infiltration, Б – epithelial desquamation.

Staining: А, Б – hematoxylin and eosin, В – Mallory. Magnification: А – 100, Б – 400, В – 200

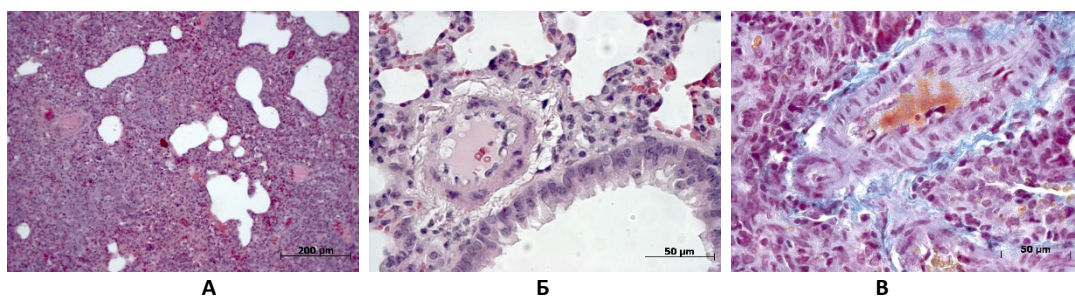


Рисунок 3. Патоморфологические изменения в лёгких сирийских хомяков на десятые сутки после заражения вирусом SARS-CoV-2:

А – ателектаз. Б – некроз. В – перибронхиальный фиброз. Окраска: А, Б – гематоксилином и эозином, В – по Маллори. Увеличение: А – 100, Б – 400, В – 400

Figure 3. Pathological changes in the lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 on 10 d.p.i.:

А – atelectasis. Б – necrosis. В – peribronchial fibrosis. Staining: А, Б – hematoxylin and eosin,

В – according to Mallory. Magnification: А – 100, Б – 400, В – 400

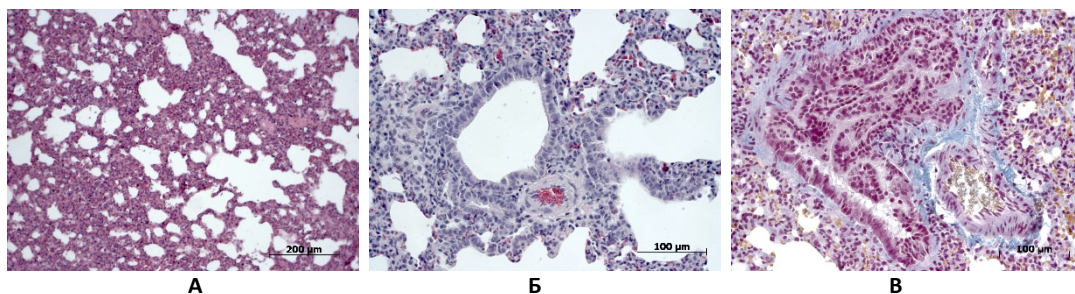


Рисунок 4. Патоморфологические изменения в лёгких сирийских хомяков на 14-е сутки после заражения вирусом SARS-CoV-2:

А – периальвеолярный отёк. Б – отёк подслизистой оболочки и некроз. В – увеличение массы коллагеновых волокон, утолщение альвеолярных перегородок. Окраска: А, Б – гематоксилином и эозином, В – по Маллори. Увеличение: А – 100, Б – 200, В – 200

Figure 4. Pathological changes in the lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 on 14 d.p.i.:

А – perialveolar edema. Б – submucosal edema and necrosis. В – increased collagen fiber mass, thickening of alveolar septa. Staining: А, Б – hematoxylin and eosin, В – according to Mallory.

Magnification: А – 100, Б – 200, В – 200

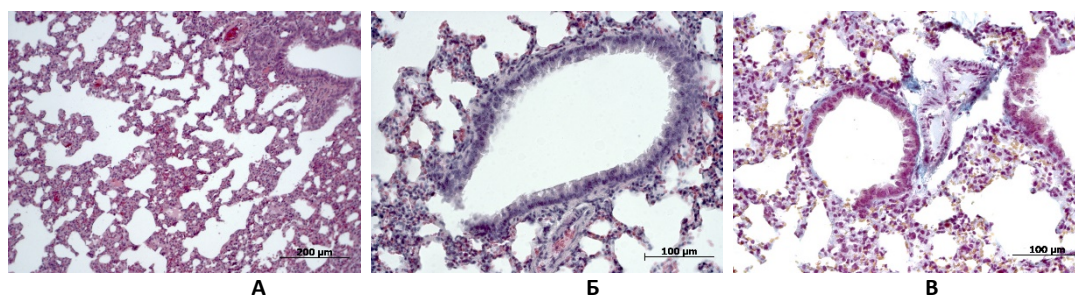


Рисунок 5. Патоморфологические изменения в лёгких сирийских хомяков на 21-е сутки после заражения вирусом SARS-CoV-2: А – отёк и кровоизлияние в интерстиции. Б – эпителиальная десквамация. В – перибронхиальный отёк. Окраска: А, Б – гематоксилином и эозином, В – по Маллори. Увеличение: А – 100, Б – 200, В – 200

Figure 5. Pathological changes in the lungs of Syrian hamsters infected with SARS-CoV-2 on 14 d.p.i.: А – edema and hemorrhage in the interstitium. Б – epithelial desquamation. В – peribronchovascular edema. Staining: А, Б – hematoxylin and eosin, В – according to Mallory. Magnification: А – 100, Б – 200, В – 200

В ходе исследования был использован метод полуколичественной оценки и анализа патологических морфологических различий в легочной ткани сирийских

хомяков в разные периоды после заражения вирусом, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Степень выраженности воспаления в легких у сирийских хомяков в динамике течения патогенеза, (баллы 0–5)

Table 1. Degree of inflammation in Syrian hamsters' lungs in the dynamics of pathogenesis (score 0–5)

№ обследованной группы No. of the examined group	Среднее арифметическое с ошибкой среднего по группе Arithmetic mean with group average error (M±m)
1. Группа № 1 (3 сутки п.и.) / Group No. 1 (3 d.p.i)	3,18±0,150 * **
2. Группа № 2 (6 3 сутки п.и.) / Group No. 2 (6 d.p.i)	3,85±0,101 *
3. Группа № 3 (10 сутки п.и.) / Group No. 3 (10 d.p.i)	3,05±0,142 * **
4. Группа № 4 (14 сутки п.и.) / Group No. 4 (14 d.p.i)	2,65±0,134 * **
5. Группа №5 (21 сутки п.и.) / Group No. 5 (21 d.p.i)	2,35±0,121 * **
6. Группа № 6 (контроль) / Group No. 6 (the control)	1,83±0,143 **

Примечание: * – достоверность отличий экспериментальных групп от контрольной группы животных;

** – достоверность отличий группы на пике инфекции (согласно данным титрования на культуре клеток и наибольшему проявлению патоморфологических изменений) (группа №2) от других экспериментальных групп.

Уровень значимости $p \leq 0,05$

Note: * – reliability of differences between experimental groups and the control group of animals;

** – reliability of differences between the group at the peak of infection (according to titration data on cell culture and the greatest manifestations of pathomorphological changes) (group No. 2) and other experimental groups.

Significance level $p \leq 0,05$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

COVID-19 – системное инфекционное заболевание, характеризующееся, прежде всего, поражением органов дыхания и в тяжелых случаях сопровождающееся развитием острого респираторного дистресс-синдрома, нарушением свертываемости крови, обширными гемorragиями и развитием полиорганной недостаточности [5]. В данном исследовании были изучены патоморфологические изменения легочных тканей в динамике после заражения вирусом SARS-CoV-2 у сирийских хомяков. Во всех группах животных, кроме контрольной, были выявлены специфические патологические изменения, характерные для течения воспалительного процесса: утолщение альвеолярных перегородок, гемorragии и лейкоцитарная инфильтрация в интерстиции, преимущественно моноцитарно-лимфоцитарного генеза, некроз и десквамация эпителиоцитов. Степень выраженности патологических изменений и объем поражений легочных тканей варьировал в зависимости от этапа заболевания.

Уже на ранних стадиях заболевания (на 3-и сутки) наблюдался отёк легких и застойные явления, что согласуется с данными Bussani и др. [6], а также признаки начала воспалительного процесса в бронхиальном дереве. Наибольшие патоморфологические изменения визуализируются на 6 сутки. Развитие воспалительного процесса прослеживается до конца периода наблюдений, однако уже на 10-е сутки наряду с процессами деструкции наблюдали картины, свидетельствующие о текущих репаративных процессах и статистически значимому снижению общей степени распространенности и выраженности воспалительного процесса в легких, в сравнении с группой животных № 2. Состояние тканей улучшилось на 14-е сутки, хотя и выявлены признаки нарушения гемодинамики, периваскулярные отеки, утолщение межальвеолярных перегородок. Воздушность легких более выражена, чем на более ранних сроках, местами визуализируются участки ателектаза и эмфиземы. Воспалительный процесс вступает в пролиферативную фазу. К 21 суткам наблюдаются все признаки восстановления организационной структуры.

Результаты настоящего исследования согласуются с данными патологических изменений в легких человека, инфицированных вирусом SARS-CoV-2 [7–10].

Таким образом, наше исследование показало, что патологические изменения в организме, вызванные экспериментальным заражением сирийских хомяков вирусом SARS-CoV-2, многогранны и сложны. Симптомы легочной вирусной инфекции были обнаружены в разные периоды инфицирования. В легких случаях наблюдаются отек легких и застойные явления, а в тяжелых случаях могут наблюдаться ателектазы и даже угроза для жизни. Наиболее тяжелые поражения отмечены на 6–10 сутки, к 21 суткам наблюдался процесс восстановления структуры органа.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-00005

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the RSF according to the research project No 23-64-00005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. COVID-19 Map — Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. Accessed February 9, 2021. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
2. Wang D., Hu B., Hu C., Zhu F., Liu X., Zhang J., Wang B., Xiang H., Cheng Z., Xiong Y., Zhao Y., Li Y., Wang X., Peng Z. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China // *JAMA*. 2020. V. 323(11). P. 1061–1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585.
3. Chan J.F., Zhang A.J., Yuan S. et al. Simulation of the Clinical and Pathological Manifestations of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in a Golden Syrian Hamster Model: Implications for Disease Pathogenesis and Transmissibility // *Clinical Infectious Diseases : an Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*. 2020. V. 71(9). P. 2428–2446. doi: 10.1093/cid/ciaa325
4. Bi Z., Hong W., Yang J., Lu S., Peng X. Animal models for SARS-CoV-2 infection and pathology // *MedComm*. 2021. V. 2(4). P. 548–568. doi: 10.1002/mco2.98
5. Gupta U., Prakash A., Sachdeva S., Pangtey G.S., Khosla A., Aggarwal R., Sud R., Margekar S.L. COVID-19 and Tuberculosis: A Meeting of Two Pandemics! // *J Assoc Physicians India*. 2020. V. 68(12). P. 69–72.
6. Bussani R., Zentilin L., Correa R., Colliva A., Silvestri F., Zacchigna S., Collesi C., Giacca M. Persistent SARS-CoV-2 infection in patients seemingly recovered from COVID-19 // *J Pathol*. 2023. V. 259(3), P. 254–263. doi: 10.1002/path.6035
7. Lee J.H., Koh J., Jeon Y.K., Goo J.M., Yoon S.H. An Integrated Radiologic-Pathologic Understanding of COVID-19 Pneumonia // *Radiology*. 2023. V. 306(2). Article ID: e222600. doi: 10.1148/radiol.222600
8. Омарова Ж.Р., Першина Е.С., Самсонова М.В., Щекоичин Д.Ю., Перешивайлов С.О., Черняев А.Л., Бережная Э.Э., Паршин В.В., Туманов В.П. Прицельная морфологическая характеристика легких при COVID-19 на основании компьютерной томографии // *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2022. N 1. С. 22–28.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лидия В. Шестопалова проанализировала данные, написала рукопись, методологию. Ван Ли провела поиск литературы, занималась непосредственной подготовкой образцов для гистологии. Марина С. Федотова проанализировала литературные данные, для

9. Ходош Э.М., Ивахно И.В., Ефремова О.А., Оболонкова Н.И., Голивец Т.П., Хамнагадаев И.И. Клинические и патоморфологические паттерны диффузного альвеолярного поражения, обусловленного COVID-19, у пациентов, нуждающихся в респираторной поддержке // *Актуальные проблемы медицины*. 2022. Т. 45. N 1. С. 39–54. DOI: 10.52575/2687-0940-2022-45-1-39-54

10. Сагидуллин Р.Х., Халиков А.А., Назмиева А.Р., Кузнецов К.О., Картоева Х.В. Патологоанатомическая картина COVID-19 // *Судебная медицина*. 2022. Т. 8. N 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.17816/fm421>

REFERENCES

1. COVID-19 Map — Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. Accessed February 9, 2021. Accessed: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
2. Wang D., Hu B., Hu C., Zhu F., Liu X., Zhang J., Wang B., Xiang H., Cheng Z., Xiong Y., Zhao Y., Li Y., Wang X., Peng Z. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 2020, vol. 323(11), pp. 1061–1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585
3. Chan J.F., Zhang A.J., Yuan S. et al. Simulation of the Clinical and Pathological Manifestations of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in a Golden Syrian Hamster Model: Implications for Disease Pathogenesis and Transmissibility. *Clinical Infectious Diseases : an Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 2020, vol. 71(9), pp. 2428–2446. doi: 10.1093/cid/ciaa325
4. Bi Z., Hong W., Yang J., Lu S., Peng X. Animal models for SARS-CoV-2 infection and pathology. *MedComm*, 2021, vol. 2(4), pp. 548–568. doi: 10.1002/mco2.98
5. Gupta U., Prakash A., Sachdeva S., Pangtey G.S., Khosla A., Aggarwal R., Sud R., Margekar S.L. COVID-19 and Tuberculosis: A Meeting of Two Pandemics! *J Assoc Physicians India*. 2020, vol. 68(12), pp. 69–72.
6. Bussani R., Zentilin L., Correa R., Colliva A., Silvestri F., Zacchigna S., Collesi C., Giacca M. Persistent SARS-CoV-2 infection in patients seemingly recovered from COVID-19. *J Pathol*, 2023, vol. 259(3), pp. 254–263. doi: 10.1002/path.6035
7. Lee J.H., Koh J., Jeon Y.K., Goo J.M., Yoon S.H. An Integrated Radiologic-Pathologic Understanding of COVID-19 Pneumonia. *Radiology*, 2023, vol. 306(2), article id: e222600. doi: 10.1148/radiol.222600
8. Omarova Zh.R., Pershina E.S., Samsonova M.V., Shchekochikhin D.Yu., Pereshivaylov S.O., Chernyaev A.L., Berezhnaya E.E., Parshin V.V., Tumanov V.P. Targeted morphological characteristics of the lungs in COVID-19 based on computed tomography. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal [Volograd scientific and medical journal]*. 2022, no. 1, pp. 22–28. (In Russian)
9. Khodosh E.M., Ivakhno I.V., Efremova O.A., Obolonkova N.I., Golivets T.P., Khamnagadaev I.I. Clinical and pathomorphological patterns of diffuse alveolar damage caused by COVID-19, in patients requiring respiratory support. *Current problems of medicine*, 2022, vol. 45, no. 1, pp. 39–54. (In Russian) DOI: 10.52575/2687-0940-2022-45-1-39-54
10. Sagidullin R.Kh., Khalikov A.A., Nazmиеva A.R., Kuznetsov K.O., Kartoeva H.V. Pathological picture of COVID-19. *Forensic medicine*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 41–50. (In Russian) <https://doi.org/10.17816/fm421>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Lidia V. Shestopalova prepared the manuscript, undertook data analysis and formulated methodology. Wang Lee conducted a literature search and was directly involved in the preparation of samples for histology. Marina S. Fedotova analysed the literature data for histological

проведения гистологических исследований. Анастасия Ю. Филиппова провела поиск литературы, работу с гистологическими образцами и сравнение полученных данных с литературными. Юлия В. Кононова работала с вирусом. Марина А. Гуляева разработала концепцию статьи, отредактировала 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.

studies. Anastasia Yu. Filippova conducted a literature search, worked with histological samples and compared the obtained data with the literature data. Yulia V. Kononova applied virological methods and worked with the virus. Marina A. Gulyaeva developed the concept of the article and edited 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

Лидия В. Шестопалова / Lidia V. Shestopalova <https://orcid.org/0000-0002-6619-2135>

Анастасия Ю. Филиппова / Anastasia Yu. Filippova <https://orcid.org/0000-0002-7403-3089>

Ван Ли / Wang Lee <https://orcid.org/0009-0003-0086-6859>

Марина С. Федотова / Marina S. Fedotova <https://orcid.org/0000-0002-5364-9159>

Юлия В. Кононова / Yulia V. Kononova <https://orcid.org/0000-0002-3677-3668>

Марина А. Гуляева / Marina A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Оригинальная статья / Original article

УДК 598.2:591.5(571.52)

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-6



Видовой состав, распределение птиц в районе аэропорта «Кызыл» (Республика Тыва) и их влияние на орнитологическую обстановку

Татьяна П. Арчимаева¹, Долаана К. Куксина², Александр Н. Куксин¹, Арияна Т. Саая¹¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения

Российской Академии наук, Кызыл, Россия

²Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия

Контактное лицо

Татьяна П. Арчимаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория Биогеоэкологии, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН; 667001 Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а. Тел. +79293143511

Email heavenlybird@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-4200-5155>

Формат цитирования

Арчимаева Т.П., Куксина Д.К., Куксин А.Н., Саая А.Т. Видовой состав, распределение птиц в районе аэропорта «Кызыл» (Республика Тыва) и их влияние на орнитологическую обстановку // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 63-74. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-6

Получена 15 февраля 2024 г.

Прошла рецензирование 16 мая 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: изучение и выявление видового состава и фактического нахождения птиц на приаэродромной территории аэродрома «Кызыл» и в воздушном пространстве над ней в течение года и оценка напряженности орнитологической обстановки для обеспечения безопасности полетов.

Изучение орнитофауны в пределах приаэродромной территории радиусом 15 км проводилось в течение календарного года с применением метода комплексного маршрутного учета и стационарных наблюдений на взлетно-посадочной полосе. Статистическая обработка полевых материалов проводилась с помощью программы «Microsoft Excel»

Всего в пределах приаэродромной территории выявлено достаточно высокое видовое разнообразие 76 видов в зоне I – R=2,5 км и 199 видов в зоне II – R=15 км. Рассчитана плотность населения птиц в баллах, выявлены статус пребывания, сезонные колебания численности и видового разнообразия орнитофауны, напряженность орнитологической обстановки.

Несмотря на высокое видовое разнообразие и значительные колебания численности птиц, орнитологическая напряженность в зоне II в течение года характеризуется как «спокойная» и достигает верхнего предела уровня «удовлетворительная» эпизодически в отдельные дни конца лета – начала осени. Местом повышенной концентрации птиц в пределах зоны II является городской полигон ТБО. Решение о переносе свалки за пределы радиуса 50 км от ВПП, недопущение гнездования самолетоопасных видов птиц в зоне II и применение визуальных репеллентов позволят поддерживать низкий уровень орнитологической напряженности в течение года.

Ключевые слова

Аэродром, видовой состав орнитоценозов, плотность населения, статус вида, сезонная динамика населения птиц, напряженность орнитологической обстановки.

Species composition and distribution of birds in the area of Kyzyl airport (Republic of Tyva, Russia) and their impact on the ornithological situation

Tatyana P. Archimayeva¹, Dolaana K. Kuksina², Aleksandr N. Kuksin¹ and Ariyana T. Saaya¹

¹Tuvanian Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russia

²Tuvan State University, Kyzyl, Russia

Principal contact

Tatyana P. Archimayeva, Ph.D. Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biogeocoecology, Tuva Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 117a International St, Kyzyl, Republic of Tuva, Russia 667001.
Tel. +79293143511
Email heavenlybird@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4200-5155>

How to cite this article

Archimayeva T.P., Kuksina D.K., Kuksin A.N., Saaya A.T. Species composition and distribution of birds in the area of Kyzyl airport (Republic of Tyva, Russia) and their impact on the ornithological situation. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):63-74. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-6

Received 15 February 2024

Revised 16 May 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. Study and identification of species composition and actual location of birds on the territory of the Kyzyl airport and in the airspace above it throughout the year and assessment of the intensity of the ornithological situation in order to ensure flight safety.

The study of avifauna within the airport area within a radius of 15 km was carried out throughout a calendar year using the method of integrated route accounting and stationary observations on the runway. Statistical processing of the field materials was carried out using the Microsoft Excel program.

In total, a fairly high species diversity was revealed within the airport territory – 76 species in zone I – R = 2,5 km and 199 species in zone II – R = 15 km. The population density of birds points was calculated in points, the status of stay, seasonal fluctuations in the number and species diversity of avifauna and the intensity of the ornithological situation were revealed.

Despite the rather high species diversity and significant fluctuations in the number of birds, ornithological intensity in zone II during the year is ‘calm’ and reaches the upper limit of the ‘satisfactory’ level occasionally on certain days of late summer – early autumn. A place of increased concentration of birds within airport area II is an urban landfill. The decision to move the landfill beyond a 50 km radius from the runway, the prevention of nesting of aircraft-dangerous bird species within zone II and the use of visual repellents will allow maintenance of a low level of ornithological intensity throughout the year.

Key Words

Aerodrome, ornithocenosis species composition, population density, species status, seasonal bird population dynamics, intensity of ornithological situation.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие авиации в XX в и интенсивный рост количества полетов в конце XX – начале XXI вв. обусловили возникновение ряда серьезных проблем по обеспечению безопасности полетов. Одна из них связана с предотвращением столкновений воздушных судов и птиц, особенно во время взлета и посадки, происходящих в диапазоне высот, как правило, с максимальным обилием птиц. В гражданской авиации нашей страны ежегодно происходит свыше 1,5 тыс. столкновений с птицами. Сталкиваются суда с различными по размерам и по виду птицами. Последствия этих столкновений бывают различными, порою они заканчиваются сильными разрушениями и повреждениями, имеются человеческие жертвы. Это определяет необходимость сбора наиболее полной информации о птицах на самом аэродроме и приаэродромной территории. Орнитологическое обследование с этой целью предусматривает изучение и выявление видового состава и фактического нахождения птиц на определенной территории и в воздушном пространстве над ней в каком-либо отрезке времени, установление вероятности возникновения

сложной орнитологической обстановки [1–4]. В настоящей работе приводятся результаты изучения орнитофауны, ее сезонной и суточной динамики, а также оценки орнитологической обстановки аэродрома Кызыла Республики Тыва.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение орнитофауны аэропорта «Кызыл», расположенного в пределах города Кызыла – столицы Республики Тыва и прилегающей к нему территории проведено с августа 2019 по сентябрь 2020 гг. с применением общепринятых методов изучения орнитофауны без ограничения полосы. При уточнении видового состава птиц учитывались данные оригинальных наблюдений и др. исследователей за 1999–2020 гг. на территории г. Кызыла и в пойме р. Верхний Енисей [5–7]. Напряженность орнитологической обстановки рассчитывалась по методике, предложенной В.А. Юркиным (ИСИЭЖ СО РАН) и М.А. Грабовским [8]. Показатели напряженности орнитологической обстановки (ОО) приняты в следующих пределах (табл. 1).

Таблица 1. Критерии оценки напряженности орнитологической обстановки**Table 1.** Criteria for assessing the intensity of the ornithological situation

Характеристика напряженности ОО Characteristics of intensity OS	Спокойная Calm	Удовлетворительная Satisfactory	Умеренно-напряженная Moderate Intense	Чрезвычайно напряженная Extremely	Критическая Intense critical
Интенсивность перемещений птиц, кг/час·км ² Intensity of bird movements, kg/hour*km ²	0–5	5–20, отдельные значения до 40 5–20, individuals values up to 40	20–60, отдельные значения до 100 20–60, individuals values up to 100	60–100, отдельные значения до 300 60–100, individuals values up to 300	>100

Аэродром «Кызыл» расположен в восточной части Улуг-Хемской котловины к югу от г. Кызыла. Для удобства обследования вся приаэродромная территория была поделена на зоны; I – R=0–2,5 км (территория аэродрома и ее окрестности) и II – R=2,5–15 км (приаэродромная территория) (рис. 1). Площадь обследованной территории около 700 кв.км.

В зоне I расположен аэропорт «Кызыл»: искусственная взлетно-посадочная полоса (ИВПП) со всем комплексом служебных строений и примыкающими к ним участками озеленения, засаженными соснами, тополями, ильмами и дикими яблонями. На застроенной территории преобладают видо-синантропы и полусинантропы. Участки древесной растительности привлекают на гнездование многих дневных и ночных хищников и врановых, в силу своих размеров являющихся наиболее опасными для воздушного транспорта. Остальная территория, отчужденная под аэропорт, представляет собой огороженную забором степь. Ее главное отличие от прилегающих к ней за ограждением участков степи и залежей в недоступности для свободно пасущегося скота. Следствием этого фактора является зарастание степи внутри ограждения густыми кустарниками, служащими укрытием для множества гнездящихся здесь птиц, от мелких воробьеобразных до журавлей. В нишах и под крышами зданий гнездятся некоторые виды – воздушорей и воробьи.

Зона II. Рельеф долины Верхнего Енисея в пределах приаэродромной территории слабохолмисто-равнинный. Средние абсолютные отметки колеблются в пределах 630–900 м. С востока на запад-юго-запад зону пересекают реки Каа-Хем (Малый Енисей) и, после слияния его с Бий-Хемом (Большим Енисеем) – Верхний Енисей или Улуг-Хем. В долине реки выделяются пойма, первая и вторая надпойменные террасы, по руслу располагаются 2 крупных и множество мелких островов. Ширина речной долины колеблется от 250 м в пределах г. Кызыла до 2,5 км на западной окраине приаэродромной территории, ширина русла колеблется от 100 до 400 м.

Правый берег высокий, представляет собой первую надпойменную террасу, высотой от 5–10 до 70 м над урезом воды. По правому берегу местами к самой воде подходят отроги гор, на таких участках берега крутые, с выходами коренных пород, под которыми формируются мощные осыпи. Левый берег пологий. По берегам рек узкой прерывистой лентой тянется пойменный лес из тополя лавролистного и ив, такие же леса с обширными лугами покрывают острова. Река является местом остановки пролетных водоплавающих и околоводных видов птиц, однако численность их здесь из-за высокого уровня беспокойства обычно невысока, гнездятся немногочисленные водоплавающие в основном на островах, в последние годы чаще стали встречаться на кормежке большие бакланы, образующие иногда стаи до сотни

птиц. Пойменные леса привлекают на гнездование дендрофилов. В пойме реки нерегулярно гнездятся несколько пар грачей. В тополевик, расположенный в пойме Малого Енисея (восточный сектор зоны II) в теплое время года слетаются на ночевку коршуны,

образуя крупные скопления, часть из них в пойменных лесах гнездится, с наибольшей плотностью – на территории городского парка. Осенью здесь же останавливаются крупные стаи кочующих черных ворон.

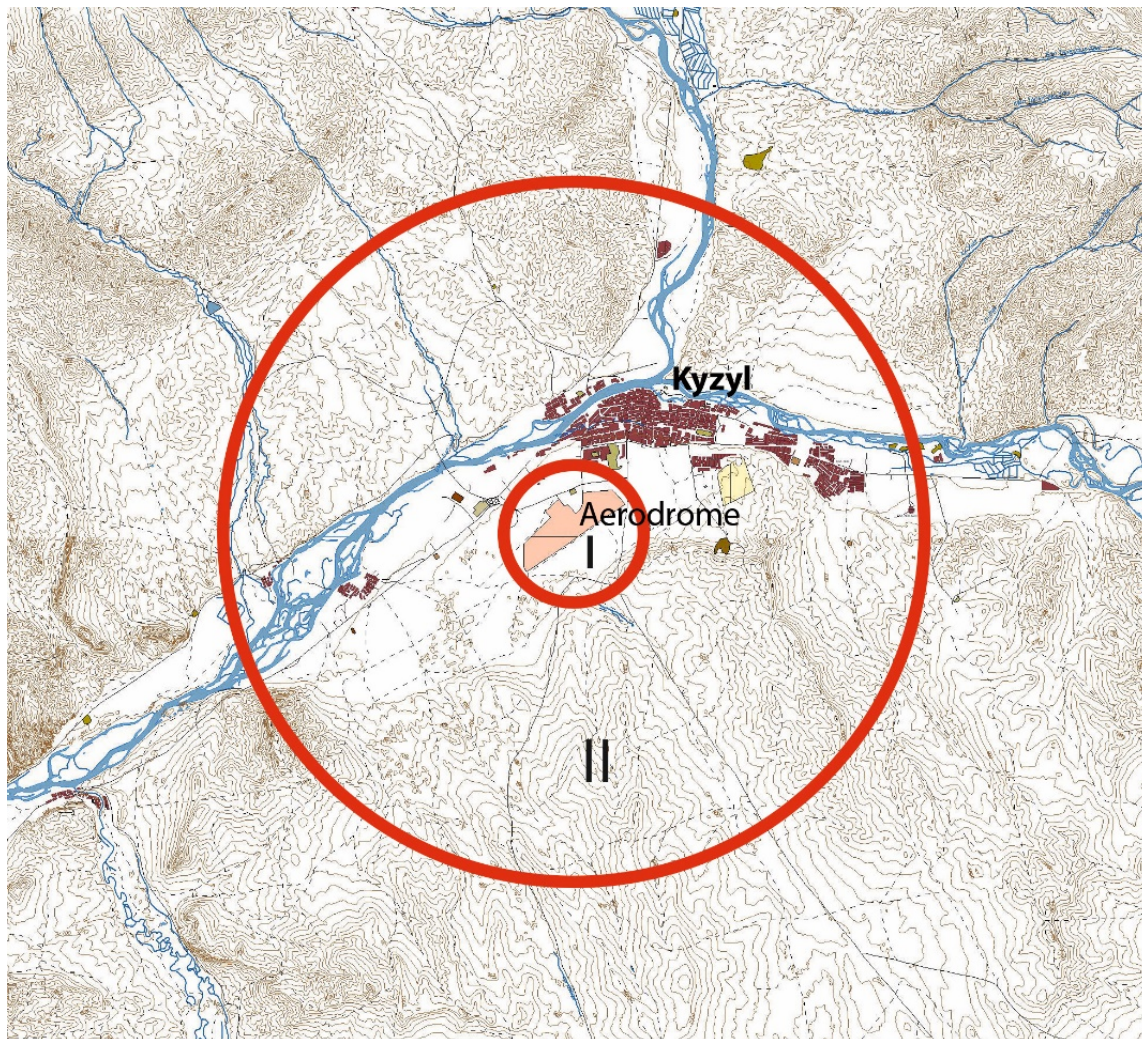


Рисунок 1. Зонирование приаэродромной территории аэродрома «Кызыл»: I – R=2,5 км, II – R=15 км
Figure 1. Zoning of the territory of Kyzyl airport: I – R=2,5 km, II – R=15 km

В основном местность в пределах приаэродромной территории, за исключением узкой поймы, открытая, степная. В южной части зоны расположены многолетние залежи с участками песков, оголившихся в результате ветровой эрозии. Кое-где сохранились остатки полезащитных лесополос из тополя лавролистного и вяза мелколистного. Плотность птичьего населения за пределами населенных пунктов низкая, сухие степи и залежи населены жаворонками, коньками и некоторыми другими мелкими воробьеобразными, из более крупных видов здесь местами гнездится бородатая куропатка, красавка и на редких отдельных деревьях – дневные хищные и врановые.

На надпойменных террасах преимущественно левого берега Малого и Верхнего Енисеев и по правобережью Большого располагаются селитебные ландшафты: город Кызыл, пригородные и дачные поселки. Город с пригородами занимает площадь около 200 кв. км. Общая протяженность селитебной территории с запада на восток вдоль реки – 27 км,

максимальная ширина 3,4 км. В пределах города имеются участки насаждений лиственных и хвойных пород, в основном, тополь, вяз, сосна, ель и лиственница, используемые врановыми для гнездования и ночевки в зимний период. В городских ландшафтах доминируют оседлые синантропные виды: полевой и домовый воробьи, сизый голубь, в теплое время года в число доминантов входит маскированная трясогузка.

Особое внимание при обследовании приаэродромной территории радиусом 15 км было уделено городскому полигону ТБО, являющемуся местом наибольшей концентрации птиц во все сезоны года. Свалка размещена всего в 5 км от восточного конца ВПП. Здесь круглогодично встречаются до 26 видов птиц, численность которых достигает максимальных значений до 1,5 тысяч зимой и в конце лета, когда в предотлетные скопления собираются черные коршуны и др. перелетные виды [9].

К югу от аэродрома на расстоянии около 35 км располагается группа соленых озер, являющаяся

местом гнездования и остановки на миграциях птиц различных экологических групп, однако, значимость их для мигрирующих птиц существенно снизилась. Так, в работе Н.В. Карповой и др. [10] отмечается: «в последние десятилетия XX века произошло сокращение численности у 86 % гусеобразных, 30 % ржанкообразных и у 28,6 % воробьеобразных. Отмечено исчезновение крупных предмиграционных агрегаций таких видов, как гуменник, скворец обыкновенный, бледная ласточка». На оз. Хадын располагается единственная в котловине крупная колония монгольских чаек, в которой гнездится до 500–700 пар ежегодно. Эти чайки широко разлетаются по котловине в поисках корма, во второй половине лета на свалке их численность возрастает до 200 особей, пара десятков чаек, следующих на кормежку в пойму Енисея, регулярно останавливаются в ночное время на западном конце ВПП.

В осенний и весенний периоды через Улуг-Хемскую котловину наблюдается диффузный пролет мигрирующих птиц, следующих центрально-азиатским пролетным путем. Основной поток крупных мигрантов (лебеди, гуси, утки и др.) пересекает котловину вне пределов приаэродромной территории, огибая селитебную зону с запада и, в меньшей мере, – с востока. Через зону I птицы летят преимущественно в направлении С–Ю рассеянным потоком, пересекая ВПП и пути подходов при взлете-посадке судов, что незначительно влияет на напряженность орнитологической обстановки.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий список авифауны приаэродромной территории радиусом 15 км, составленный по результатам обследования в 2019–2020 гг. с использованием накопленной за ряд лет базы данных и ранее опубликованных исследований, включает 199 видов из 16 отрядов, что составляет 68,4 % от списка птиц Улуг-Хемской котловины и 48,6 % от видового состава птиц Тувы. Наибольшую долю составляют оседлые, перелетные гнездящиеся и вероятно гнездящиеся виды – 99 (49,7 %), 60 видов (30,2 %) встречаются в периоды сезонных миграций, к залетным нами отнесены 15 видов, для которых известны единичные или очень редкие встречи в основном в сезоны миграций, весной и, намного реже, осенью, 13 видов встречаются в пределах обследованной территории только зимой.

В зоне I за период обследования встречено еще меньше птиц – только 76 видов из 12 отрядов. Две трети списка (51 вид) птиц относятся к отряду воробьеобразных, 7 видов – ястребообразных, остальные отряды представляют 1–4 вида.

Характер пребывания птиц на территории Улуг-Хемской котловины и в районе аэропорта не всегда совпадают (табл. 2). Ядро фауны территории аэродрома и его окрестностей составляют оседлые и гнездящиеся перелетные виды птиц – 38 (50 %). На кормежку из прилегающих территорий залетает 11 (14,5 %) видов. Большая часть видов в пределах аэропорта отмечена в период сезонных миграций, особенно во время весенних перемещений – 17 (22,4 %). Только в зимний период встречены 8 (10,5 %).

Таблица 2. Видовой список птиц и статус пребывания в пределах приаэродромной территории аэропорта «Кызыл»
Table 2. Species list of birds and status of stay within the territory of Kyzyl airport during spring, summer, autumn, winter

№	Вид / Species	Статус вида Status of species		Обилие птиц по сезонам года Bird abundance by season							
		Зона I / Zone I				Зона II / Zone II					
		Зона I / Zone I	Зона II / Zone II	Весна / Spring	Лето / Summer	Осень / Autumn	Зима / Winter	Весна / Spring	Лето / Summer	Осень / Autumn	Зима / Winter
Отряд КУРООБРАЗНЫЕ GALLIFORMES											
1.	Бородатая куропатка <i>Perdix dauurica</i>	R	R	c	rr	c	cc	rr	rr	rr	c
2.	Перепел <i>Coturnix coturnix</i>	–	B	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
Отряд ГУСЕОБРАЗНЫЕ ANSERIFORMES											
3.	Лебедь-кликун <i>Cygnus cygnus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
4.	Серый гусь <i>Anser anser</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
5.	Огарь <i>Tadorna ferruginea</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
6.	Пеганка <i>Tadorna tadorna</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
7.	Связь <i>Anas penelopa</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	–	–
8.	Серая утка <i>Anas strepera</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
9.	Чирок-свистунок <i>Anas crecca</i>	–	b	–	–	–	–	rr	rrr	rrr	–
10.	Кряква <i>Anas platyrhynchos</i>	–	B	–	–	–	–	r	rr	c	–
11.	Шилохвость <i>Anas acuta</i>	–	M	–	–	–	–	–	–	rrr	–
12.	Чирок-трескун <i>Anas querquedula</i>	–	b	–	–	–	–	c	rrr	rrr	–
13.	Широконоска <i>Anas clypeata</i>	–	B	–	–	–	–	c	rrr	c	–
14.	Красноголовый нырок <i>Aythya ferina</i>	–	M	–	–	–	–	r	rr	rr	–
15.	Хохлатая чернеть <i>Aythya fuligula</i>	–	M	–	–	–	–	c	–	rrr	–
16.	Гоголь <i>Vusephala clangula</i>	–	M	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
17.	Большой крохаль <i>Mergus merganser</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	–

Отряд ВЕСЛОНОГИЕ PELECANIFORMES											
18.	Большой баклан <i>Phalacrocorax carbo</i>	–	M	–	–	–	–	rr	r	rr	–
Отряд АИСТООБРАЗНЫЕ CICONIIFORMES											
19.	Большая белая цапля <i>Casmerodius albus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
20.	Большая выпь <i>Botaurus stellaris</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
21.	Серая цапля <i>Ardea cinerea</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
22.	Чёрный аист <i>Ciconia nigra</i>	–	m	–	–	–	–	rr	–	–	–
Отряд СОКОЛООБРАЗНЫЕ FALCONIFORMES											
23.	Скопа <i>Pandion haliaetus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
24.	Степная пустельга <i>Falco naumanni</i>	s	b	rrr	–	rrr	–	rrr	rrr	rrr	–
25.	Пустельга <i>Falco tinnunculus</i>	B	B	rr	c	c	–	rr	rr	rr	–
26.	Кобчик <i>Falco vespertinus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
27.	Дербник <i>Falco columbarius</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	rrr
28.	Чеглок <i>Falco subbuteo</i>	s	b	–	rrr	–	–	rr	rrr	rrr	–
29.	Балобан <i>Falco cherrug</i>	s	b	rrr	rrr	rrr	–	rrr	rrr	rrr	rrr
30.	Кречет <i>Falco rusticolus</i>	–	w	–	–	–	–	–	–	rrr	rrr
31.	Сапсан <i>Falco peregrinus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
Отряд ЯСТРЕБООБРАЗНЫЕ ACCIPITRIFORMES											
32.	Чёрный коршун <i>Milvus migrans</i>	b	B	c	c	rr	–	r	c	c	–
33.	Чёрный гриф <i>Aegypius monachus</i>	–	s	–	–	–	–	–	rrr	–	–
34.	Полевой лунь <i>Circus cyaneus</i>	m	b	–	–	rr	–	–	–	rrr	–
35.	Перепелятник <i>Accipiter nisus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
36.	Тетеревятник <i>Accipiter gentilis</i>	w	b	–	–	rr	rrr	rrr	–	rrr	rrr
37.	Канюк <i>Buteo buteo</i>	s	b	–	rrr	rrr	–	–	–	rrr	–
38.	Мохноногий курганник <i>Buteo hemilasius</i>	b	B	rr	rr	rr	rr	rrr	rrr	rrr	rrr
39.	Зимняк <i>Buteo lagopus</i>	–	w	–	–	–	–	–	–	rrr	rrr
40.	Степной орел <i>Aquila nipalensis [rapax]</i>	s	b	rrr	rrr	rrr	–	rrr	rrr	rrr	–
41.	Могильник <i>Aquila heliaca</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
42.	Орел-карлик <i>Hieraaetus pennatus</i>	S	b	rrr	rrr	rrr	–	rrr	rrr	rrr	–
Отряд ЖУРАВЛЕОБРАЗНЫЕ GRUIIFORMES											
43.	Красавка <i>Anthropoides virgo</i>	b	B	rr	rr	–	–	rrr	rrr	rrr	–
44.	Серый журавль <i>Grus grus</i>	–	M	–	–	–	–	–	rrr	rrr	–
Отряд РЖАНКООБРАЗНЫЕ CHARADRIIFORMES											
45.	Чибис <i>Vanellus vanellus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
46.	Малый зуек <i>Charadrius dubius</i>	–	m	–	–	–	–	rr	rr	rrr	–
47.	Вальдшнеп <i>Scolopax rusticola</i>	–	m	–	–	–	–	–	–	rrr	–
48.	Горный дупель <i>Gallinago solitaria</i>	–	w	–	–	–	–	–	–	–	rrr
49.	Азиатский бекас <i>Gallinago stenura</i>	–	m	–	–	–	–	RR	–	rrr	–
50.	Лесной дупель <i>Gallinago megala</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
51.	Бекас <i>Gallinago gallinago</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
52.	Фифи <i>Tringa glareola</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
53.	Черныш <i>Tringa ochropus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
54.	Перевозчик <i>Actitis hypoleucos</i>	m	B	–	rrr	–	–	rr	rr	rr	–
55.	Белохостый песочник <i>Calidris temminckii</i>	–	M	–	–	–	–	–	rrr	–	–
56.	Длиннопалый песочник <i>Calidris subminuta</i>	m	M	–	rrr	–	–	rrr	rrr	rrr	–
57.	Турухтан <i>Philomachus pugnax</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rr	–
58.	Бургомистр <i>Larus hyperboreus</i>	–	m	–	–	–	–	–	–	rrr	–
59.	Сизая чайка <i>Larus canus</i>	–	M,s	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
60.	Монгольская чайка <i>Larus vegae mongolicus</i>	M	B	–	c	–	–	r	r	rr	–
61.	Озёрная чайка <i>Larus ridibundus</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
62.	Речная крачка <i>Sterna hirundo</i>	–	M	–	–	–	–	–	rrr	rrr	–
Отряд РЯБКООБРАЗНЫЕ PTEROCLIFORMES											
63.	Саджа <i>Syrnhaptus paradoxus</i>	m	M,s	rrr	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
Отряд ГОЛУБЕОБРАЗНЫЕ COLUMBIFORMES											
64.	Сизый голубь <i>Columba livia</i>	R	R	c	cc	cc	c	c	c	c	r
65.	Скальный голубь <i>Columba rupestris</i>	–	r	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	rrr
66.	Клинтух <i>Columba oenas</i>	–	r	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
67.	Большая горлица <i>Streptopelia orientalis</i>	–	M,s	–	–	–	–	rrr	rr	rrr	–

Отряд КУКУШКООБРАЗНЫЕ CUCULIFORMES											
68.	Кукушка <i>Cuculus canorus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
69.	Глухая кукушка <i>Cuculus (saturates) optatus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
Отряд СОВООБРАЗНЫЕ STRIGIFORMES											
70.	Сплюшка <i>Otus scops</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rrr	rr	–
71.	Белая сова <i>Nyctea scandiaca</i>	–	W	–	–	–	–	–	–	rrr	rrr
72.	Филин <i>Bubo bubo</i>	s	b	rrr	rrr	rrr	–	rrr	rrr	rrr	rrr
73.	Длиннохвостая неясыть <i>Strix uralensis</i>	s	b	rrr	rrr	–	–	rrr	rrr	rrr	rrr
74.	Домовый сыч <i>Athene noctua</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rrr	rrr	–
75.	Ястребиная сова <i>Surnia ulula</i>	–	m	–	–	–	–	–	–	rrr	–
76.	Ушастая сова <i>Asio otus</i>	B	B	rr	c	–	–	rr	rr	rrr	rrr
77.	Болотная сова <i>Asio flammeus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	–	–	–
Отряд СТРИЖЕОБРАЗНЫЕ APODIFORMES											
78.	Черный стриж <i>Apus apus</i>	s	B	rr	rr	–	–	rr	rrr	–	–
79.	Белопоясный стриж <i>Apus pacificus</i>	B	B	rr	rr	–	–	r	r	–	–
Отряд ПТИЦЫ-НОСОРОГИ BUCEROTIFORMES											
80.	Удод <i>Upupa epops</i>	B	B	rr	c	rr	–	r	r	rr	–
Отряд ДЯТЛООБРАЗНЫЕ PICIFORMES											
81.	Вертишейка <i>Jynx torquilla</i>	b	B	–	–	rrr	–	rr	rrr	rrr	–
82.	Малый пестрый дятел <i>Dendrocopos minor</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rrr	rr	rr
83.	Белоспинный дятел <i>Dendrocopos leucotos</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	rr
84.	Большой пестрый дятел <i>Dendrocopos major</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	rr
85.	Трехпалый дятел <i>Picoides tridactylus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
86.	Желна <i>Dryocopus martius</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	rrr
87.	Седой дятел <i>Picus canus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
Отряд ВОРОБЬЕОБРАЗНЫЕ PASSERIFORMES											
88.	Монгольский жаворонок <i>Melanocorypha mongolica</i>	–	B	–	–	–	–	rrr	–	–	rrr
89.	Рогатый жаворонок <i>Eremophila alpestris</i>	B	B	cc	cc	cc	rr	r	rr	r	rrr
90.	Малый жаворонок <i>Calandrella brachydactyla</i>	B	B	rr	rrr	rr	–	rrr	rrr	rrr	–
91.	Полевой жаворонок <i>Alauda arvensis</i>	B	B	c	c	c	–	rr	r	rr	–
92.	Береговушка <i>Riparia riparia</i>	–	b	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
93.	Бледная береговушка <i>Riparia diluta [riparia]</i>	B	B	c	cc	–	–	rr	rr	rr	–
94.	Деревенская ласточка <i>Hirundo rustica</i>	B	B	c	c	rr	–	r	rr	rrr	–
95.	Воронок <i>Delichon urbica</i>	–	B	–	–	–	–	r	r	r	–
96.	Скальная ласточка <i>Ptyonoprogne rupestris</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
97.	Степной конек <i>Anthus richardi</i>	M	B	–	–	rr	–	rrr	–	rrr	–
98.	Конек Годлевского <i>Anthus godlewskii</i>	b	b	rrr	rr	–	–	rrr	rrr	rrr	–
99.	Полевой конек <i>Anthus campestris</i>	B	B	rr	rr	–	–	rr	rr	–	–
100.	Лесной конёк <i>Anthus trivialis</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
101.	Пятнистый конек <i>Anthus hodgsoni</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
102.	Горный конёк <i>Anthus spinoletta</i>	–	M	–	–	–	–	–	–	rrr	–
103.	Желтая трясогузка <i>Motacilla flava</i>	M	B	–	–	rrr	–	r	r	rrr	–
104.	Желтоголовая трясогузка <i>Motacilla citreola</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
105.	Горная трясогузка <i>Motacilla cinerea</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
106.	Белая трясогузка <i>Motacilla alba</i>	–	b	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
107.	Маскированная трясогузка <i>Motacilla a. personata</i>	B	B	c	c	cc	–	c	c	r	–
108.	Свиристель <i>Bombycilla garrulus</i>	W	W	rr	–	–	rr	r	–	r	r
109.	Оляпка <i>Cinclus cinclus</i>	–	W	–	–	–	–	rrr	–	–	rr
110.	Сибирская завирушка <i>Prunella montanella</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
111.	Бледная завирушка <i>Prunella fulvescens</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
112.	Оливковый дрозд <i>Turdus obscurus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
113.	Краснозобый дрозд <i>Turdus ruficollis</i>	–	M, w	–	–	–	–	rr	–	rr	rrr
114.	Чернозобый дрозд <i>Turdus atrogularis</i>	M	M, w	rrr	–	–	–	rrr	–	rrr	rrr
115.	Рябинник <i>Turdus pilaris</i>	–	R	–	–	–	–	rr	rr	rr	rr
116.	Белобровик <i>Turdus iliacus</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rrr	–
117.	Певчий дрозд <i>Turdus philomelos</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–

118.	Деряба <i>Turdus viscivorus</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
119.	Пёстрый дрозд <i>Zoothera varia</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
120.	Горихвостка-лысушка <i>Phoenicurus phoenicurus</i>	b	B	r	rr	–	–	r	r	r	–
121.	Горихвостка-чернушка <i>Phoenicurus ochruros</i>	B	B	rr	rr	–	–	r	rr	rrr	–
122.	Красноспинная горихвостка <i>Phoenicurus erythronotus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
123.	Сибирская горихвостка <i>Ph. auroreus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
124.	Краснобрюхая горихвостка <i>Phoenicurus erythrogaster</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	–
125.	Соловей-красношейка <i>Luscinia calliope</i>	–	B	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
126.	Варакушка <i>Luscinia svecica</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rrr	rrr	–
127.	Синехвостка <i>Tarsiger cyanurus</i>	–	m	–	–	–	–	–	–	rrr	–
128.	Черноголовый чекан <i>Saxicola maurus</i>	B	B	rr	rr	rr	–	rr	rrr	rrr	–
129.	Каменка <i>Oenanthe oenanthe</i>	B	B	rr	c	rr	–	r	r	rr	–
130.	Каменка-пleshанка <i>Oenanthe pleschanka</i>	–	B	–	–	–	–	rrr	rr	rrr	–
131.	Каменка-плясунья <i>Oenanthe isabellina</i>	b	B	rrr	–	–	–	rrr	–	–	–
132.	Серая мухоловка <i>Muscicapa striata</i>	b	B	rr	rrr	–	–	rr	rr	rr	–
133.	Сибирская мухоловка <i>Muscicapa sibirica</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
134.	Ширококлювая мухоловка <i>Muscicapa dauurica</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
135.	Малая мухоловка <i>Ficedula parva</i>	–	b	–	–	–	–	rr	–	–	–
136.	Обыкновенный сверчок <i>Locustella naevia</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
137.	Пятнистый сверчок <i>Locustella lanseolata</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
138.	Индийская камышевка <i>Acrocephalus agricola</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	–	–	–
139.	Северная бормотушка <i>Iduna caligata</i>	B	B	c	c	–	–	rr	rr	rr	–
140.	Пеночка-теньковка <i>Phylloscopus collybita</i>	b	B	rr	rr	rr	–	r	rr	rr	–
141.	Пеночка-таловка <i>Phylloscopus borealis</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rrr	–
142.	Зеленая пеночка <i>Phylloscopus trochiloides</i>	M	B	rrr	–	–	–	rr	rr	–	–
143.	Пеночка-зарничка <i>Phylloscopus inornatus</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rr	–
144.	Тускляя зарничка <i>Phylloscopus humei</i>	M	B	rr	rr	rr	–	rrr	rrr	rrr	–
145.	Корольковая пеночка <i>Phylloscopus proregulus</i>	–	M	–	–	–	–	rrr	–	–	–
146.	Буряя пеночка <i>Phylloscopus fuscatus</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rrr	–
147.	Серая славка <i>Sylvia communis</i>	M	b	rrr	rr	rr	–	rr	rr	rrr	–
148.	Славка-мельничек <i>Sylvia curruca</i>	b	B	rrr	c	rr	–	rr	rr	rr	–
149.	Ополовник <i>Aegithalos caudatus</i>	s	B	–	–	–	rr	rrr	rrr	rr	rr
150.	Пухляк <i>Poecile montanus</i>	s	R	rr	–	–	rr	r	rr	r	r
151.	Московка <i>Parus ater</i>	–	M	–	–	–	–	rr	rr	rr	rr
152.	Князек <i>Cyanistes cyanus</i>	w	b	–	–	rr	–	rr	rr	rr	rr
153.	Большая синица <i>Parus major</i>	R	R	rr	rrr	rr	rr	r	r	r	r
154.	Поползень <i>Sitta europaea</i>	R	R	–	–	rr	–	r	rr	rr	r
155.	Пищуха <i>Certhia familiaris</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
156.	Сибирский жулан <i>Lanius cristatus</i>	b	B	rrr	rr	rr	–	rrr	rr	rrr	–
157.	Буланый жулан <i>Lanius isabellinus</i>	B	B	rr	rr	–	–	rr	rrr	rr	–
158.	Серый сорокопуд <i>Lanius excubitor</i>	–	w	–	–	–	–	–	–	–	rrr
159.	Иволга <i>Oriolus oriolus</i>	–	s	–	–	–	–	rrr	–	–	–
160.	Сорока <i>Pica pica</i>	R	R	c	c	c	rr	r	r	r	r
161.	Кедровка <i>Nucifraga caryocatactes</i>	–	s,w	–	–	–	–	rrr	rrr	–	rrr
162.	Галка <i>Corvus monedula</i>	–	B	–	–	–	–	r	rr	r	rrr
163.	Даурская галка <i>Corvus dauuricus</i>	–	b	–	–	–	–	rr	rr	rr	rrr
164.	Грач <i>Corvus frugilegus</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
165.	Восточная чёрная ворона <i>Corvus orientalis</i>	R	R	c	rr	c	c	r	r	r	r
166.	Ворон <i>Corvus corax</i>	R	R	rr	rr	rr	rr	r	rr	rr	r
167.	Розовый скворец <i>Pastor roseus</i>	m	b	rrr	–	–	–	rrr	–	–	–
168.	Скворец <i>Sturnus vulgaris</i>	M	B	–	rr	–	–	r	r	r	–
169.	Полевой воробей <i>Passer montanus</i>	R	R	cc	cc	cc	cc	c	c	c	c
170.	Каменный воробей <i>Petronia petronia</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
171.	Снежный воробей <i>Montifringilla nivalis</i>	–	w	–	–	–	–	–	–	–	rrr
172.	Домовый воробей <i>Passer domesticus</i>	R	R	cc	cc	cc	cc	c	c	c	c

173.	Зяблик <i>Fringilla coelebs</i>	–	B	–	–	–	–	rr	rr	rr	–
174.	Юрок <i>Fringilla montifringilla</i>	–	M	–	–	–	–	rr	–	rrr	–
175.	Зеленушка <i>Chloris chloris</i>	–	s	–	–	–	–	rrr	–	–	–
176.	Коноплянка <i>Linaria cannabina</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	–	–
177.	Чиж <i>Spinus spinus</i>	–	m	–	–	–	–	–	–	rrr	–
178.	Щегол <i>Carduelis carduelis</i>	M	M	rr	–	rrr	–	rrr	–	rrr	–
179.	Седоголовый щегол <i>Carduelis caniceps</i>	M	B	c	rr	rr	–	r	r	r	–
180.	Обыкновенная чечётка <i>Acanthis flammea</i>	W	W	rr	–	c	c	r	–	r	r
181.	Урагус <i>Carpodacus sibiricus</i>	W	b	rr	–	r	c	rr	rrr	rr	rr
182.	Чечевица <i>Carpodacus erythrinus</i>	M	B	rr	rrr	rr	–	rr	rr	rr	–
183.	Сибирская чечевица <i>Carpodacus roseus</i>	–	b	–	–	–	–	rr	–	rrr	–
184.	Большая чечевица <i>Carpodacus rubicilla</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	–	rrr
185.	Щур <i>Pinicola enucleator</i>	–	s	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
186.	Клест-еловик <i>Loxia curvirostra</i>	–	s	–	–	–	–	–	rrr	–	rrr
187.	Снегирь <i>Pyrrhula pyrrhula</i>	W	W	rr	–	rr	c	rr	–	rr	r
188.	Серый снегирь <i>Pyrrhula p. cineracea</i>	W	W	–	–	rrr	rrr	–	–	rrr	rr
189.	Дубонос <i>Coccothraustes coccothraustes</i>	–	b	–	–	–	–	rr	rrr	rr	rrr
190.	Обыкновенная овсянка <i>Emberiza citrinella</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
191.	Белошапочная овсянка <i>Emberiza leucosephala</i>	–	b	–	–	–	–	rrr	rrr	rrr	–
192.	Красноухая овсянка <i>Emberiza cioides</i>	m	B	–	–	rr	–	rrr	rrr	rrr	rrr
193.	Садовая овсянка <i>Emberiza hortulana</i>	b	B	–	rr	–	–	–	rrr	–	–
194.	Камышовая овсянка <i>Emberiza schoeniclus</i>	M	b	–	rrr	–	–	–	rrr	–	–
195.	Дубровник <i>Ocyris aureolus</i>	–	b	–	–	–	–	–	rrr	–	–
196.	Овсянка-крошка <i>Ocyris pusillus</i>	m	m	–	–	rr	–	rrr	–	rrr	–
197.	Овсянка-ремез <i>Ocyris rusticus</i>	–	m	–	–	–	–	rrr	–	rrr	–
198.	Лапландский подорожник <i>Calcarius lapponicus</i>	M	M	c	–	c	–	rr	–	c	–
199.	Пуночка <i>Plectrophenax nivalis</i>	w	w	rrr	–	–	rrr	rr	–	–	rrr
Всего видов / Total species		76	199	57	51	47	19	175	121	146	50

Примечание: Статус: R — Оседлый вид; B — Вид в норме гнездится; b — Для вида на данной территории известно единичное (нерегулярное) гнездование, или гнездование в недавнем прошлом; W — Вид в норме зимует; w — Вид зимует нерегулярно или в небольшом числе; S — Вид в норме встречается летом вне гнездовой части ареала; s — Вид встречается летом нерегулярно или в небольшом числе; M — Вид в норме мигрирует на данной территории; m — Вид нерегулярно отмечают на миграциях; V — Регулярно или периодически залётный вид, для региона известно как минимум несколько залётов; v — Для вида известны лишь единичные залёты.

Обилие (ос/км²): rrr — очень редкий (<0,01), rr — редкий (0,1–1), r — малочисленный (1,1–10), c — обычный (11–100), cc — многочисленный (101–1000).

Жирным выделены виды птиц, включенные в Красные книги РФ и РТ

Note: Status: R — Resident; B — Breeder; b — Sporadic breeder; W — Winter visitor; w — Sporadic winter visitor;

S — Summer visitor; s — Sporadic summer visitor; M — Migrant; m — Sporadic migrant; V — Vagrant; v — Rare vagrant.

Abundance (individuals/km²): rrr — very rare (<0.01), rr — rare (0.1–1), r — scarce (1.1–10), c — common (11–100), cc — numerous (101–1000).

Bird species included in the Red Data Books of the Russian Federation and the Republic of Tuva are highlighted in bold

В каждой из зон для каждого сезона характерен свой определенный состав орнитоценоза. Круглогодично встречались на аэродроме и вблизи него только 10 оседлых видов: *бородатая куропатка*, *мохноногий курганник*, *сизый голубь*, *большая синица*, *поползень*, *сорока*, *восточная черная ворона*, *ворон*, *домовый* и *полевой воробы*.

Зимой в зоне I из 19 отмеченных видов, наиболее многочисленными являлись полевой и домовый воробы, сизый голубь и бородатая куропатка. Также постоянно присутствовали здесь сорока, черная ворона и ворон, последние посещали эту зону транзитно, перемещаясь на кормежку в сторону свалки и обратно к местам ночевки в пойме реки. Остальные мелкие семяноядные виды в небольшом количестве периодически залетали сюда на кормежку, питаясь семенами сорных растений.

Весной число видов в зоне I возросло до годового максимума, в основном, за счет пролетающих через зону, но гнездящихся в Улуг-Хемской котловине

видов. Из дальних северных мигрантов здесь отмечены только лапландский подорожник и пуночка. Из массовых отмечен рогатый жаворонок, стаи которого до нескольких сотен птиц посещали очищенные от снега прилегающие к ВПП и стоянкам участки.

После окончания весеннего движения количества видов постепенно снизилось. В конце июля–начале августа в ночное время на западном конце ВПП регулярно останавливались на отдых красавки и монгольские чайки, последние курсируют через территорию аэропорта от мест гнездования на оз. Хадын до реки, где они кормятся в послегнездовой период.

Из всего списка встреченных в районе аэродрома видов к самолетоопасным мы отнесли 21 вид, в основном это дневные и ночные хищники: пустельга, балобан, черный коршун, тетереватник, полевой лунь, мохноногий курганник, степной орел, ушастая сова; воздужорей: черный и белопоясный стрижи, бледная береговушка, деревенская ласточка;

крупные врановые: сорока, ворон, восточная черная ворона; а также бородатая куропатка, сизый голубь и мелкие воробьеобразные, образующие в определенные периоды годового цикла большие плотные стаи: рогатый жаворонок, домовый и полевой воробы.

Плотность населения

Усредненная общая плотность населения территории аэродрома (зона I) в течение года колеблется от 73,83 ос/км² зимой до 537,4 ос/км² — осенью нарастая постепенно (рис. 2).

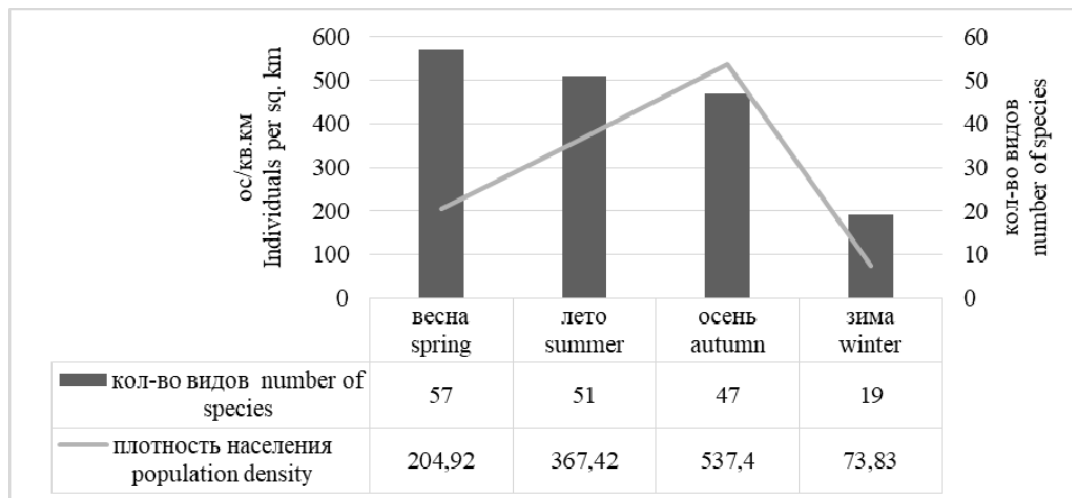


Рисунок 2. Колебания средней плотности населения и количества видов птиц аэродрома «Кызыл» (зона I) по сезонам в течение года (2019–2020 гг.)

Figure 2. Fluctuations in average population density and number of bird species of Kyzyl airport (zone I) by season throughout the year (2019–2020)

Максимальных значений она достигала по утрам в отдельные дни конца сентября–начала октября во время пролета мигрантов и активных полетов на кормежку над аэродромом стай голубей – до 1423,3 ос/км². К концу осени, после окончания пролета плотность населения птиц снова устанавливается на уровне зимнего периода. Минимальные суточные значения общей плотности населения птиц наблюдались в утренние часы зимой – 31,67 ос/км² только за счет высокой численности куропаток. Такие показатели в целом близки значениям плотности населения птиц для окружающих аэропорт степных ценозов Улуг-Хемской котловины в теплое время года, и немного превышают их за счет повышенной доли синантропных видов. Зимой плотность населения птиц степной части территории аэродрома более чем в 3 раза превышает таковую в степях за пределами населенных пунктов (22,3 ос/км²).

Летом постепенное увеличение численности птиц до 367,42 ос/кв.км обеспечивают многочисленные выводки молодых каменок, жаворонков, коньков, полевых воробьев, стрижей и ласточек. Наибольшую опасность для полетов представляют в этот период местные отгнездившиеся крупные птицы: молодые вóроны, черные ворóны, сороки, болтающиеся по всей территории зоны I и еще не адаптировавшиеся к специфике жизни рядом с работающим аэродромом, а также коршуны, красавки и монгольские чайки, в предотлетный период кочующие в этом районе. В 2020 г. на территории аэродрома пыталась гнездиться пара журавлей-красавок, устроившая гнездо в 300 м от ВПП под глиссадой. Гнездование оказалось неуспешным, но пара до самого отлета регулярно прогуливалась по ВПП и рулежным дорожкам, создавая опасность столкновения.

В осенний период кроме появления пролетных видов численность населения повышается за счет живущих в городе сизых голубей, 2–3 сотни которых

слетаются в аэропорт для кормежки на участках вокруг ВПП, РД и стоянок, где растет птичья гречишка (*Polygonum aviculare*) и другие привлекательные для них кормовые растения. Активные передвижения их стай в районе ВПП значительно повышают напряженность орнитологической обстановки.

Зимой 2019–2020 гг. наибольшей численности в пределах зоны I достигают полевой и домовый воробы, в антропогенных ландшафтах котловины их численность постоянно высока и колеблется по годам незначительно. Обычна бородатая куропатка, но для этого вида характерны многолетние флуктуации численности, и в отдельные годы она не встречается не только в пределах приаэродромной территории, но и в котловине в целом. В 2019–2020 гг. высокая численность куропаток наблюдалась в котловине повсеместно, с сентября по март их стаи постоянно паслись вокруг ВПП, особенно много куропаток держалось между рулежными дорожками и стоянками судов, птиц не пугали ни работающие двигатели самолетов и вертолетов, ни постоянно присутствующие здесь работники. Привлекали их сюда очищенные от снега участки газонов с бурьянистой растительностью или с уплотненным колесами автомашин и людьми снегом, где птицы находили корм.

Годовая динамика напряженности орнитологической обстановки

В зависимости от изменения видового состава и колебаний численности птиц, находящихся на территории аэродрома и вблизи него в течение года, напряженность орнитологической ситуации также имеет различные значения: большую часть годового цикла 2019–2020 гг. она характеризовалась как «спокойная» лишь немного повышаясь в марте и середине лета до нижнего предела характеристики «удовлетворительная» (рис. 3).

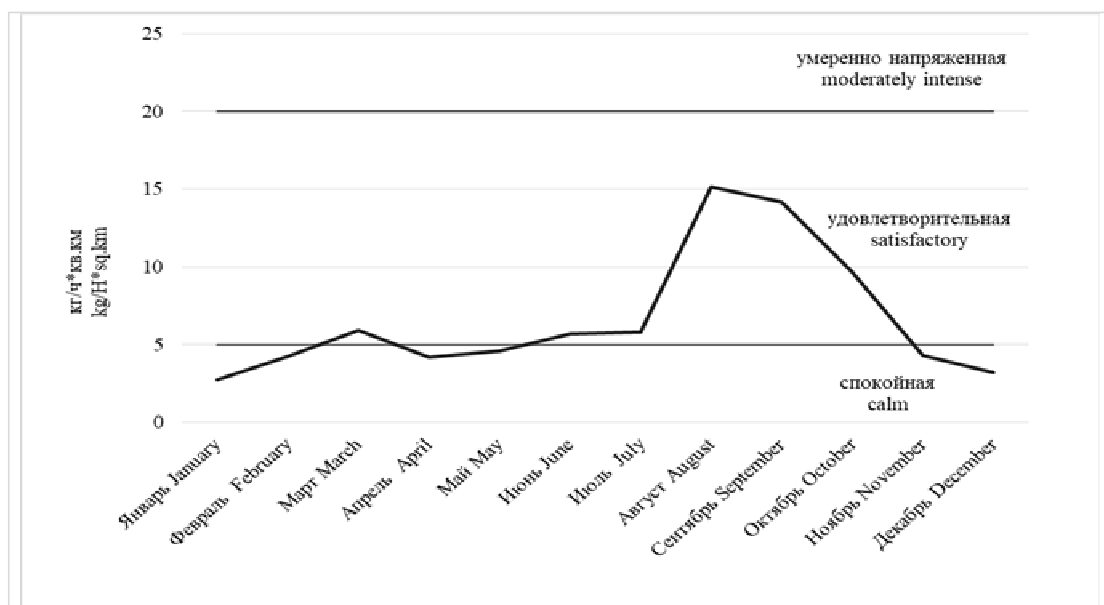


Рисунок 3. Колебания напряженности орнитологической обстановки на аэродроме Кызыла и вблизи него в течение года

Figure 3. Fluctuations in the intensity of the ornithological situation at and near the Kyzyl airfield during the year

Наиболее высокий уровень напряженности отмечен в августе, сентябре и первой половине октября, когда он достигал верхней границы интервала «удовлетворительная». На протяжении всего теплого времени года постоянный высокий вклад в показатели НОО вносят *черный коршун, врановые, красавка и монгольская чайка*, в холодное время – *врановые и бородастая куропатка*. Остальные виды влияют на подъем НОО в отдельные короткие периоды, дни, и даже часы, особенно во время миграций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Видовой состав и распределение птиц в пределах приаэродромной территории аэропорта «Кызыл» обусловлены комплексом естественных условий и особенностями антропогенной трансформации местности, создающими многообразие мест обитания.

Несмотря на достаточно высокое видовое разнообразие и значительные колебания численности птиц орнитологическая напряженность в зоне I в течение года достигает верхнего предела показателей уровня «удовлетворительная» эпизодически в отдельные дни конца лета – начала осени, но, как правило, не превышает его. Наиболее опасным местом повышенной концентрации птиц в пределах приаэродромной территории является свалка бытового мусора, где плотность населения птиц во все времена года очень высока.

Решение о переносе свалки за пределы радиуса 50 км от ВПП и применение некоторых других мер, в первую очередь недопущение гнездования самолетоопасных видов птиц в пределах зоны I и применение визуальных репеллентов позволят поддерживать низкий уровень орнитологической напряженности в течение года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якоби В.Э. Биологические основы предотвращения столкновения самолетов с птицами. 1974. 168 с.

2. Колесниченко Ю.М. Орнитологическая безопасность полетов: проблемы и пути решения // Проблемы безопасности полетов. 2007. N 12. С. 26–34.

3. Кухта А.Е., Большакова Н.П., Мацюра А.В. Концептуальные подходы к орнитологическому обеспечению безопасности полётов воздушных судов // Вестник ТувГУ: естественные и сельскохозяйственные науки, 2015. С. 96–105.

4. Баранов А.А., Курносенко Д.В. Рекомендации для уменьшения вероятности возникновения авиационных инцидентов, вызванных столкновениями с птицами (Аэропорт «Черемшанка», аэроузла «Красноярск») // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона. Кызыл, 2019. С. 96–98.

5. Арчимаева Т.П., Забелин В.И. Орнитофауна города Кызыла (Республика Тыва) // Байкальский зоологический журнал. 2020. N 4 (27). С. 32–44.

6. Арчимаева Т.П., Галацевич Н.Ф. Дополнения к орнитофауне г. Кызыла, Республика Тыва (по материалам 2020 г.) // Байкальский зоологический журнал. 2021. N 2 (30). С. 113–116.

7. Sandakova S.L., Kuksina D.K.O., Sevelei Sh.S., Matveeva O.A., Tushkin A.A., Tushkina A.F., Tarazanova I.S. The fauna and nature of birds stay of residential landscapes of northern part of Central Asia // EurAsian Journal of BioSciences. 2018. V. 12. N 1. P. 105–112.

8. Юдкин В.А. Грабовский М.А. Количественный метод оценки орнитологической обстановки на аэродроме // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21. N 04. С. 48–59.

9. Арчимаева Т.П., Куksин А.Н., Саая А.Т., Куksина Д.К. Видовой состав и сезонная динамика численности птиц на свалке города Кызыла и их возможное влияние на деятельность аэропорта // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. N 3. С. 25–33. DOI: 10.17816/snv-2021-10-3-103

10. Карпова Н.В., Савченко А.П., Емельянов В.И., Монгуш А.В., Даваа А.М. К оценке современного состояния памятника природы «Озеро Хадын» // Взаимодействие науки, экономики и общества как фактор развития региона: Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой году науки и технологий, Кызыл, 21–22 октября, 2021. С. 68–70.

REFERENCES

1. Yakobi V.E. *Biologicheskie osnovy predotvrashcheniya stolknoveniya samoletov s ptitsami* [The biological basis for preventing aircraft from colliding with birds]. Moscow, 1974, 168 p. (In Russian)
2. Kolesnichenko Yu.M. Ornithological Flight Safety: Problems and Solutions. *Problemy bezopasnosti poletov* [Flight safety issues]. 2012, no. 12, pp. 26–34. (In Russian)
3. Kukhta A.E., Bol'shakova N.P., Matsyura A.V. Conceptual Approaches to Ornithological Safety of Aircraft Flights. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta: estestvennye i sel'skokhozyaistvennye nauki* [Bulletin of Tuva State University: Natural and Agricultural Sciences]. 2015, pp. 96–105. (In Russian)
4. Baranov A.A., Kurnosenko D.V. Recommendations to Reduce the Likelihood of Aviation Incidents Caused by Collisions with Birds (Cheremshanka Airport, Krasnoyarsk Airhub). In: *Bioraznoobrazie i sokhranenie genofonda flory, fauny i narodonaseleniya Tsentral'no-Aziatskogo regiona* [Biodiversity and conservation of the gene pool of flora, fauna and population of the Central Asian region]. Kyzyl, 2019, pp. 96–98. (In Russian)
5. Archimaeva T.P., Zabelin V.I. Avifauna of the City of Kyzyl (Republic of Tuva). *Baikal'skii zoologicheskii zhurnal* [Baikal Zoological Journal]. 2020, no. 4 (27), pp. 32–44. (In Russian)
6. Archimaeva T.P., Galatsevich N.F. Additions to the avifauna of Kyzyl, Republic of Tuva (based on 2020 materials). *Baikal'skii zoologicheskii zhurnal* [Baikal Zoological Journal]. 2021, no. 2 (30), pp. 113–116. (In Russian)
7. Sandakova S. L., Kuksina D. K. O., Sevelei Sh. S., Matveeva O.A., Toushkin A.A., Toushkina A.F., Tarazonova I.S. The fauna and nature of birds stay of residential landscapes of northern part of Central Asia. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 105–112.
8. Yudkin V.A., Grabovskii M.A. A quantitative method for assessing the ornithological situation at the airfield. *Nauchnyy Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Scientific Bulletin of the Moscow State University of Civil Aviation]. 2018, vol. 21, no. 04, pp. 48–59. (In Russian)
9. Archimaeva T.P., Kuksin A.N., Saaya A.T., Kuksina D.K. Fauna and seasonal dynamics of the number of birds at the solid waste landfill and their impact on the activities of the airport of Kyzyl city. *Samara Scientific Bulletin*, 2021, vol. 10, no. 3, pp. 25–33. (In Russian) DOI: 10.17816/snv2021103103
10. Karpova N.V., Savchenko A.P., Emel'yanov V.I., Mongush A.V., Davaa A.M. K otsenke sovremennogo sostoyaniya pamyatnika prirody «Ozero Khadyn» [To assess the modern state of the nature monument "Lake Khadyn"]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Vzaimodeistvie nauki, ekonomiki i obshchestva kak faktor razvitiya regiona, Kyzyl, 21–22 oktyabrya* [Proceedings of International Scientific and Practical Conference «Interaction of science, economics and society as a factor in the development of the region, Kyzyl, 21–22 October 2021]. Kyzyl, 2021, pp. 68–70. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Куксин и Арияна Т. Саая участвовали в проведении маршрутных и стационарных учетов птиц. Долаана К. Куksина и Татьяна П. Арчимаяева проводили сбор полевого материала, анализ и статистическую обработку материала. Татьяна П. Арчимаяева написала 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

Alexander N. Kuksin and Ariyana T. Saaya participated in various route and stationary bird counts. Dolaana K. Kuksina and Tatyana P. Archimayeva were engaged in collecting field material, analysing and statistically processing the material. Tatyana P. Archimayeva wrote the article. All 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

Татьяна П. Арчимаяева / Tatyana P. Archimayeva <https://orcid.org/0000-0002-4200-5155>

Долаана К. Куksина / Dolaana K. Kuksina <https://orcid.org/0000-0002-4071-9883>

Александр Н. Куксин / Alexander N. Kuksin <https://orcid.org/0000-0003-2541-419X>

Арияна Т. Саая / Ariyana T. Saaya <https://orcid.org/0000-0002-6209-9988>

Оригинальная статья / Original article

УДК 632.937

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-7



Видовое разнообразие вредителей подотряда клопов (Heteroptera) в агроценозах Лазаревского района г. Сочи

Евгения В. Кашутина, Людмила Н. Бугаева, Татьяна Н. Игнатъева

Лазаревская опытная станция защиты растений – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Сочи, Россия

Контактное лицо

Евгения В. Кашутина, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лазаревская опытная станция защиты растений – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 354200 Россия, г. Сочи, ул. Сочинское шоссе, 77. Тел. +79054753513

Email kashutinaev@mail.ruORCID <http://orcid.org/0000-0002-6179-2019>

Формат цитирования

Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Игнатъева Т.Н. Видовое разнообразие вредителей подотряда клопов (Heteroptera) в агроценозах Лазаревского района г. Сочи // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 75-82. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-7

Получена 22 мая 2024 г.

Прошла рецензирование 29 июня 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

Цель: изучение видового разнообразия вредителей подотряда клопов (Heteroptera) в агроценозах Лазаревского района г. Сочи.

Материалом послужили результаты фитосанитарного мониторинга агробиоценозов Лазаревского района г. Сочи. С целью проведения фитосанитарного обследования нами были определены модельные участки в агроценозах района. Предметами обследований стали сельскохозяйственные территории мелких сельхозпроизводителей и частные подворья жителей региона. Для обследований применялся рекогносцировочный способ. Фитомониторинг проводился в период активной вегетации растений, с апреля по сентябрь, а также в осенне-зимний период покоя. Периодичность обследований – еженедельно в вегетационный период, в период покоя – 2 раза в месяц. Даты учетов фитофагов в вегетационный период определяли появлением первых особей после зимовки. Идентификация особей, выявленных в ходе маршрутных фитосанитарных обследований, проводилась в лабораториях станции по общепринятым методикам.

В работе приведены данные о распространении, численности и плотности популяций вредителей подотряда клопов (Heteroptera) на территории Лазаревского района города Сочи Краснодарского края. В результате исследований выявлен видовой состав наиболее распространенных видов клопов. Отмечены наиболее вредоносные: щитник ягодный *Dolycoris baccarum* Linnaeus, 1758; щитник разукрашенный *Eurydema ornata* Linnaeus, 1758; Незара зеленая *Nezara viridula* Linnaeus, 1758; щитник линейчатый *Graphosoma lineatum* Linnaeus, 1758; коричнево-мраморный клоп *Halyomorpha halys* Stål, 1855; дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say, 1832; платановая кружевница *Corythucha ciliata* Say; грушевая кружевница *Stephanitis pyri* Fabricius; липовый клоп *Oxycarenus lavatae* Fabricius, 1787.

В результате проведенных исследований выявлено увеличение общей численности популяций клопов, расширение трофических связей, повышение агрессивности, изменение статуса отдельных видов вредителей.

Ключевые слова

Инвазивные виды, клопы, встречаемость, щитники, кружевницы, фитофаги, липовый клоп, трофические связи, плотность популяции.

Species diversity of pests of the suborder of shield bugs (Heteroptera) in agrocenoses of the Lazarevsky district of Sochi, Krasnodar Territory, Russia

Evgeniya V. Kashutina, Ludmila N. Bugaeva and Tatyana N. Ignatieva

Lazarevskaya Experimental Plant Protection Station, Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Sochi, Russia

Principal contact

Evgeniya V. Kashutina, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Lazarevskaya Experimental Plant Protection Station, Federal Research Centre for Biological Plant Protection; 77 Sochinskoe Sh., Sochi, Russia 354200.

Tel. +79054753513

Email kashutinaev@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6179-2019>

How to cite this article

Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Ignatieva T.N. Species diversity of pests of the suborder of shield bugs (Heteroptera) in agrocenoses of the Lazarevsky district of Sochi, Krasnodar Territory, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):75-82. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-7

Received 22 May 2024

Revised 29 June 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

Aim. The aim of the work was to study the species diversity of pests of the suborder of shield bugs (Heteroptera) in agrocenoses of the Lazarevsky district of Sochi.

This paper presents data on the distribution, abundance and density of Heteroptera pest populations in this location. Heteroptera were gathered twice a month during the growing season (April to October) and weekly in the autumn-winter period (November to March). The choice of registration date during the growing season was determined by the appearance of the first phytophagous individuals after wintering. Identification of the identified phytophages was carried out in the laboratories of the station according to generally accepted methods.

The paper presents data on the distribution, abundance and density of pest populations of the suborder of shield bugs (Heteroptera) in the Lazarevsky district of Sochi, Krasnodar Territory. As a result of this research, the species composition of the most common species of bedbugs in this area has been revealed. The most harmful species noted were: berry shield *Dolycoris baccarum* Linnaeus, 1758; ornate shield *Eurydema ornata* Linnaeus, 1758; Green shield *Nezara viridula* Linnaeus, 1758; ruled shield *Graphosoma lineatum* Linnaeus, 1758; brown-marbled bug *Halyomorpha halys* Stål, 1855; oak lace-maker *Corythucha arcuata* Say, 1832; sycamore lace-maker *Corythucha ciliata* Say; pear lace-maker *Stephanitis pyri* Fabricius and linden bug *Oxycarenus lavatae* Fabricius, 1787.

As a result of the research undertaken, an increase in the total number of bedbug populations, an expansion of trophic connections, an increase in aggressiveness and a change in the status of individual pest species were revealed.

Key Words

Invasive species, bedbugs, occurrence, scapulars, laceworms, phytophages, linden bug, trophic relationships, population density.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация антропогенных нагрузок, процесс неконтролируемого применения препаратов, мода на экзотическое озеленение вкупе с глобальными изменениями климата привели к повсеместным существенным изменениям в биоценозах, в том числе Лазаревского района г. Сочи. Стремительно ухудшается фитосанитарное состояние растительного мира региона. Меняется видовой состав энтомофауны, биота исследуемой территории пополняется инвазивными видами, проявляющими зачастую крайнюю агрессивность по отношению к новой для себя среде обитания. Формируется тенденция к изменению комплекса вредителей растений, существенному изменению видового состава и численности популяций фитофагов.

Heteroptera – одна из наиболее успешно адаптированных групп на Земле, и ее можно наблюдать практически в любой среде обитания. В последние годы на территории Лазаревского района города Сочи увеличилось количество растительноядных насекомых подотряда клопов (Heteroptera), множество видов которого являются инвазивными для местной флоры. Среди них встречаются представители таких семейств, как: клопы-щитники (Heteroptera: Pentatomidae), клопы-кружевницы (Heteroptera: Tingidae) [1]. Питание клопов соками растения приводит к хлорозу, дефолиации, ухудшению процесса фотосинтеза, что в свою очередь способствует преждевременному листопаду. До настоящего времени недооценена степень опасности повреждений клопами ценных ландшафтообразующих, декоративных и сельскохозяйственных видов растений, таких как платан, дубы, липы, плодовые, орехоплодные, ягодные, овощные и многие другие.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на территории агроценозов Лазаревского района г. Сочи Краснодарского края. Фитосанитарные обследования проводили на модельных участках, определенных с учетом различных микрогеографических и микроклиматических зон. В период вегетации растений маршрутные фитосанитарные обследования проводили с периодичностью 1 раз в неделю. В осенне-зимний период покоя – 2 раза в месяц. Даты учетов определяли по появлению первых особей фитофагов после окончания их зимовки. Учет и исследование фитофагов проводили визуальным методом, методом сбора насекомых в местах их обитания на модельных участках, идентификации, подсчета и исследования состояния вредителей в лабораториях станции.

Для фитосанитарного обследования применяли рекогносцировочный способ, оценивая визуально возраст и общее состояние растений-хозяев вредителей, условия их произрастания. Путем подсчета на модельных участках определяли плотность вредителей на 1 кв. м. Сбор подвижных форм фитофагов проводили при помощи фотоэлектров (RU 110930; RU 126568). В процессе проводимых исследований учитывали вредителей всех стадий развития. Идентификация фитофагов проводилась в лабораториях станции согласно общепринятым методикам [2].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Клопы щитники один из наиболее часто встречающихся подотряд клопов в Лазаревском районе. Название подотряда было присвоено благодаря крупному щитку треугольной формы, расположенному на дорсальной поверхности брюшка. Также у этого подотряда имеются пахучие железы, которые необходимы для защиты насекомого от хищников [3]. С начала XXI века отмечено увеличение численности клопов-щитников на территории Черноморского побережья Краснодарского края, а также нанесение значительного ущерба овощным, фруктовым, ягодным и декоративным культурам.

Наиболее распространенные виды щитников в неотропиках: зеленобрюхие клопы (*Diceraeus furcatus* Fabricius, 1775) и *D. melacanthus* Dallas; неотропический бурый раковинный клоп (*Euschistus heros* Fabricius, 1798); бурокрылый клоп (*Edessa mediatubunda* Fabricius, 1794); южный зеленый клоп (*Nezara viridula* Linnaeus, 1758); рисовые клопы (*Oebalus poecilus* Dallas, 1881 и *O. ypsilon* De Geer, 1773); красноклеточный клоп (*Piezodorus guildinii* Westwood, 1837); рисовый клоп (*Tibraca limbativentris* Stal, 1860); красноплечий клоп (*Thyanta perditor* Fabricius, 1794) [4].

Результаты мониторинга субтропических агробиоценозов Лазаревского района, показали, что наиболее вредоносными являются виды: щитник ягодный *Dolycoris baccarum* Linnaeus, 1758 вредит на ягодных, плодовых, овощных, декоративных культурах, в настоящее время встречаемость низкая, плотность популяции 0,7 экз/м². Этим же культурам вредит щитник разукрашенный *Eurydema ornata* Linnaeus, 1758, при плотности популяции в среднем 0,8 экз/м², встречаемость его также низкая. Зонтичным культурам наносит вред щитник линейчатый *Graphosoma lineatum* Linnaeus, 1758, при низкой встречаемости плотность популяции составляет 3 экз/м² (табл. 1).

Широкое распространение клопов-щитников, предположительно, возникает из-за увеличения интенсивности грузо- и пассажироперевозок, включая возможность импорта заселенных вредителями растений. Благодаря глобальным изменениям климата многие насекомые-инвайдера получают возможность без ущерба популяции приспосабливаться к новой среде обитания в короткие сроки. Необходимо также учитывать, что клопы способны выживать как при низких, так и при высоких температурах воздуха в течение длительного периода, что позволяет им с легкостью адаптироваться в регионах инвазии.

Наибольшую вредоносность в условиях агроценозов Лазаревского района показали клопы-щитники: *Nezara viridula* Linnaeus, 1758, и *Halyomorpha halys* Stal, 1885 [5–8].

Незара очень плодовита и быстро адаптируется к новым условиям среды, что способствует быстрому расширению ее ареала. Это усугубляется способностью данного вида переносить патогенные микроорганизмы, делая ее опасным вредителем.

Еще одним экономически важным фитофагом является *Halyomorpha halys* (Stal, 1885), который уже 10 лет (с 2014 года) наносит значительный ущерб фермерским угодьям, плодовым садам и другим экономически значимым культурам. Список повреждаемых данным инвазивным клопом растений включает в себя более 100 видов древесно-кустарниковой расти-

тельности (таких как лавровишня, шелковица, бук, липа, лещина, ясень, катальпа, жимолость, бересклет, ежевика). Повсеместно обнаруживаются следы питания клопа на широком спектре травянистой растительности растений (дурнишник, бодяк, ежевник, паслен сладко-горький и другие). Большие скопления этого фитофага были замечены на особо охраняемых территориях Сочинского национального парка и Кавказского государственного природного биосферного заповедника, где использование пестицидов запрещено в соответствии с законодательством [9]. В разных частях их вторичного ареала этот полифаг демонстрирует тенденцию к расширению трофических связей. Высокая плотность коричнево-мраморного клопа была нами отмечена на обширных территориях ООПТ Сочинского национального парка и Кавказского государственного биосферного заповедника. Сложность контролирования численности вредителя на данных территориях обусловлена законодательным запретом на использование пестицидов.

Сотрудниками Лазаревской ОСЗР – филиала ФГБНУ ФНЦБЗР в ходе маршрутного фитосанитарного обследования территории п. Лазаревское впервые в

данном регионе были обнаружены колонии нового для России вредителя – клопа *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787.

Русского названия вредитель пока не имеет. Условно он называется липовый или средиземноморский клоп. По имеющимся данным, этот вид клопов широко распространен в Европе и Северной Африке, однако на территории нашей страны был впервые выявлен только в 2020 году в г. Краснодар. В том же году вредитель был обнаружен в Крыму, в Нижнегорском районе [10].

В поселке Лазаревское г. Сочи. колонии клопа *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787 были обнаружены в 2022 году на двух молодых деревьях липы в количестве 97 и 140 особей на растение, клоп *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787 чаще всего встречается на *Tilia cordata* (Липа сердцевидная или липа мелколистная). По разным данным, вредитель питается соками листьев липы и древесными соками из расщелин ствола. 10 апреля было отмечено начало движения клопов по растениям. К концу сезона вредитель обнаружен на 7 растениях в радиусе 50 м, численность популяции составила около 1300 особей.



Рисунок 1. Клоп *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787

Figure 1. *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787

Репродуктивный потенциал данного инвазивного фитофага огромен – общая численность клопов на одном дереве может достигать 100 тыс. особей. При таком размере популяции *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787 способен нанести существенный вред растениям-хозяевам.

Климатические условия южных регионов России и Северного Кавказа вкупе с высокой численностью произрастающих в данных регионах нескольких видов лип позволяют предположить дальнейшую инвазию, увеличение численности и вредоносности фитофага *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787. Исследования по фитосанитарному контролю и изучению популяции данного вредителя на территории Лазаревского района г. Сочи будут продолжены.

Широко распространены клопы – Tingidae, или клопы-кружевницы, – семейство растительноядных настоящих клопов, насчитывающее примерно 2600 идентифицированных видов в 318 родах, классифицированных в два, иногда в три подсемейства, среди которых крупнейшее подсемейство Tinginae насчи-

тывает около 2500 видов [11]. Среди клопов-кружевниц на территории Краснодарского края отмечены 4 высокоинвазивных вида, такие как: грушевая *Stephanitis pyri* Fabricius, 1775, тополевая *Monosteira uncostata* Mulsant & Rey, 1852, платановая *Corythucha ciliata* Say, 1832 и дубовая *C. arcuata* Say, 1832 [12].

Клоп дубовая кружевница питается листьями белых дубов в своем естественном ареале. В Европе он был впервые обнаружен в северной Италии в 2000 году. В последние годы быстро распространился, и в нескольких европейских странах наблюдались популяционные вспышки [13]. На территории России обнаружен в июне 2015 г. в Краснодарском крае, а уже в 2016 году были выявлены значительные повреждения дубрав [14]. Исходя из того, что кружевница дубовая за такой короткий срок смогла причинить огромный вред посадкам дуба, можно сделать вывод, что она очень быстро расселяется и акклиматизируется в новом для нее ареале. Помимо дубов, вид, являясь полифагом, может наносить вред деревьям других пород, таких как каштан, белая акация, яблоня.

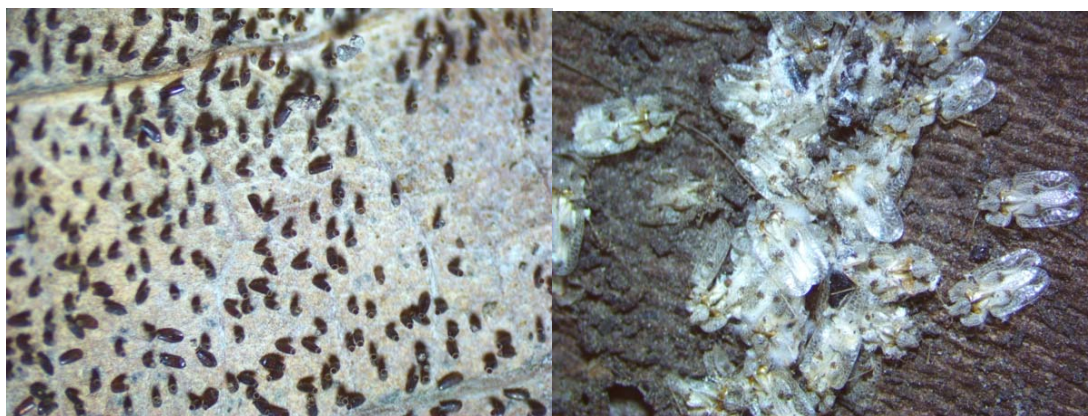


Рисунок 2. Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say)
Figure 2. *Corythucha arcuata* (Say)

В середине 1990-х годов в России появился новый вредитель на платанах – платановая кружевница (*Corythucha ciliata* Say). На территории Краснодарского края она была выявлена в Новороссийске, Крымске, Геленджике, Новомихайловском, Туапсе, Лазаревском, Сочи, Хосте, Адлере и других населенных пунктах [15].

Платановая кружевница успешно устанавливает новые отношения в пищевой цепи, не причиняя вреда своей популяции, и обладает способностью адаптироваться как к новым климатическим условиям, так и к их изменениям [16]. Она известна как вредитель платана (*Platanus* sp.), развила адаптивные способности к другим видам и часто наблюдается на березах (*Betula* sp.). В августе, когда температура высокая, насекомое становится агрессивным, наблюдается хаотичное бегство и влечение к человеческой коже, вплоть до укусов. У людей проявлялись легкие симптомы аллергии. Также часто в сентябре и октябре (в предзимний период) их наблюдали на других растениях (хвойных) [17]. Причина их присутствия на

хвойных деревьях неизвестна, но, скорее всего, они переселяются на растения с отстающей корой в поисках мест перезимовки.

Местом постоянного обитания грушевого клопа или грушевой кружевницы (*Stephanitis pyri* Fabricius) в нашей стране являются южные регионы Европейской части России [18]. Широкое распространение грушевой кружевницы обусловлено в том числе широкими трофическими связями клопа, следы активного питания которого обнаружены как на наиболее распространенных плодовых культурах (яблоня, груша, черешня и др.), так и на декоративных и лесных породах (дуб, вяз, жимолость и др.). Плотность популяции грушевой кружевницы в зоне влажных субтропиков России высокая, до 536 особей на кв. м., при высокой встречаемости вредителя.

В зоне влажных субтропиков встречаемости фитофага высокая, плотность популяции составляет 536 особей на квадратный метр (табл. 1).

Таблица 1. Наиболее распространенные и вредоносные виды подотряда клопов (Heteroptera) в агроценозах Лазаревского района г. Сочи

Table 1. The most common and harmful species of the suborder of bedbugs (Heteroptera) in the agrocenoses of the Lazarevsky district of Sochi

Вид View	Повреждаемые растения Damaged plants	Встречаемость Occurrence	Плотность популяции (экз./м ²) Population density (specimens/m ²)
Щитник ягодный <i>Dolycoris baccarum</i> Linnaeus, 1758 Berry shield <i>Dolycoris baccarum</i> Linnaeus, 1758	Ягодные, плодовые, овощные, декоративные культуры Berry, fruit, vegetable, ornamental crops	Низкая Low	0,7
Щитник разукрашенный <i>Eurydema ornata</i> Linnaeus, 1758 Ornate shield <i>Eurydema ornata</i> Linnaeus, 1758	Ягодные, плодовые, овощные, декоративные и др. культуры Berry, fruit, vegetable, decorative, etc. culture	Низкая Low	0,8
Незара зеленая <i>Nezara viridula</i> Linnaeus, 1758 Green shield <i>Nezara viridula</i> Linnaeus, 1758	150 видов из 30 семейств двудольных растений и некоторых однодольных 150 species from 30 families of dicotyledonous plants and some monocotyledons	Низкая Low	1,0
Щитник линейчатый <i>Graphosoma lineatum</i> Linnaeus, 1758 Ruled shield <i>Graphosoma lineatum</i> Linnaeus, 1758	Зонтичные культуры Umbrella crops	Низкая Low	3,0

Коричнево-мраморный клоп <i>Halyomorpha halys</i> Stal, 1855 Brown-marbled bug <i>Halyomorpha halys</i> Stål, 1855	Более чем 100 видов растений из 49 семейств More than 100 plant species from 49 families	Очень высокая Very high	46
Клоп дубовая кружевница <i>Corythucha arcuata</i> Say, 1832 Oak lace-maker <i>Corythucha arcuata</i> Say, 1832	Дуб, каштан, белая акация, яблоня, (малина, шиповник, ежевика) Oak, chestnut, white acacia, apple tree, (raspberry, rosehip, blackberry)	Высокая High	78
Платановая кружевница <i>Corythucha ciliata</i> Say, 1832 Sycamore lace-maker <i>Corythucha ciliata</i> Say, 1832	Платан, береза Sycamore, birch	Высокая High	530
Грушевая кружевница <i>Stephanitis pyri</i> Fabricius, 1775 Pear lace-maker <i>Stephanitis pyri</i> Fabricius, 1775	Яблоня, груша, липа, лещина, дуб, вяз, жимолость Apple, pear, linden, hazel, oak, elm, honeysuckle	Высокая High	536
Липовый клоп <i>Oxycarenus lavaterae</i> Fabricius, 1787 Linden bug <i>Oxycarenus lavaterae</i> Fabricius, 1787	Липа Linden tree	Высокая High	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено видовое разнообразие вредителей подотряда клопов в агробиоценозах Лазаревского района г. Сочи. Выделены наиболее распространенные и вредоносные виды (щитник ягодный *Dolycoris baccarum* Linnaeus, 1758; щитник разукрашенный *Eurydema ornata* Linnaeus, 1758; Незара зеленая *Nezara viridula* Linnaeus, 1758; щитник линейчатый *Graphosoma lineatum* Linnaeus, 1758; коричнево-мраморный клоп *Halyomorpha halys* Stål, 1855; дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say, 1832; платановая кружевница *Corythucha ciliata* Say; грушевая кружевница *Stephanitis pyri* Fabricius; липовый клоп *Oxycarenus lavaterae* Fabricius, 1787), определена средняя плотность популяций, трофические связи. Отмечено увеличение общей численности клопов, повышение агрессивности и изменение статуса отдельных видов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0003.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out 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 No. FGRN-2022-0003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушнева Н.А., Долгов В.В. Видовой состав растительноядных клопов в посевах подсолнечника в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края // Масличные культуры. 2021. N4(188). С. 82–86. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-4-188-82-86>
2. Маршаков В.Г., Пукиная Г.А. Методические рекомендации по разработке экспресс-метода учета численности вредителей на основе плана последовательного (ступенчатого) анализа. Ленинград: РАСХН, ВИЗР, 1987, 33 с.

3. Lima B.S.A., Martinez L.C. et al. Interaction between predatory and phytophagous stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) promoted by secretion of scent glands // *Chemoecology*. 2021. V. 31. P. 209–219. <https://doi.org/10.1007/s00049-021-00341-9>
4. Panizzi A.R., Lucini T.L. The overlooked role of weed plants affecting pest stink bug (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) bioecology in the Neotropics // *Arthropod-Plant Interactions*. 2022. V. 16. P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09879-5>
5. Musolin D.L., Kirichenko N.L., Karpun N.N. Invasive Insect Pests and Urban Trees in Russia: Origin, Pathways, Damage, and Management // *Forests*. 2022. N 13(4). Article id: 521. <https://doi.org/10.3390/f13040521>
6. Жунисбай Р.Т., Динасилов А.С., Исламова Р.А. Коричнево-мраморный клоп – новый инвайдер на территории Республики Казахстан // *Защита и карантин растений*. 2019. N 10. С. 38–39.
7. Снесарева Е.Г., Пушня М.В., Родионова Е.Ю. Инвазивные виды клопов-пентатомид (Heteroptera, Pentatomidae) в Центральной зоне Краснодарского края // *Материалы Международной научной конференции "Биосфера и человек"*, Майкоп, 24–25 октября, 2019. С. 122–124.
8. Карпун Н.Н., Борисов Б.А., Журавлева Е.Н., Борисова И.П., Надыкта В.Д., Мусолин Д.Л. Расширение ареалов и повышение вредоносности растительноядных клопов-щитников (Heteroptera: Pentatomidae) (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. N 3. С. 542–554. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.542rus>
9. Борисов Б.А., Карпун Н.Н., Борисова И.П. Об усилении негативной роли растительноядных клопов-щитников (Heteroptera: Pentatomidae) // *Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах* (XI Чтения памяти О.А. Катаева): *Материалы Всероссийской конференции с международным участием*, Санкт-Петербург, 24–27 ноября, 2020. С. 96–97
10. Замотайлов А.С., Белый А.И. Новые находки липового семенного (мальвового) клопа в Краснодарском крае и Республике Адыгея // *Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии: Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022 г.*, Краснодар, 12 мая, 2023. С. 102–104.
11. Golub N.V. et al. Comparative Cytogenetics of Lace Bugs (Tingidae, Heteroptera): New Data and a Brief Overview //

- Insects. 2022. V. 13. N 7. p. 608.
<https://doi.org/10.3390/insects13070608>
12. Балахнина И.В., Голуб В.Б. Трофические связи вредных видов клопов-кружков (Heteroptera: Tingidae), установленные в Краснодарском крае в 2019 г. // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–27 ноября, 2020. С. 68–69.
13. Csóka G. et al. Spread and potential host range of the invasive oak lace bug [Corythucha arcuata (Say, 1832)–Heteroptera: Tingidae] in Eurasia // *Agricultural and forest entomology*. 2020. V. 22. N 1. P. 61–74.
<https://doi.org/10.1111/afe.12362>
14. Гниненко Ю.И., Чернова У.А., Налепин В.П. Дубовый клоп-кружковница: этапы формирования вторичного ареала в России // Инновации в сохранении и устойчивом развитии лесных экосистем: Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 20-летию создания Государственного национального природного парка «Бурабай», пос. Бурабай, 02–05 сентября, 2020. Т. 1. С. 66–68.
15. Голуб В.Б., Калинин В.М., Котенев Е.С. Американский интродуцент – клоп-платановая коритуха // Защита и карантин растений. 2008. N 3. С. 54–55.
16. Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Хетагурова Е.В., Игнатъева Т.Н. Ключевые факторы успешной адаптации вредителя *Corythucha ciliata* Say в условиях северных субтропиков Черноморского побережья // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18(4). С. 31–41.
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-31-41>
17. Grozea I., Stef R., Virteiu A.M. et al. The aggressive behaviour of the *Corythucha ciliata* at the environmental changes of the last years // *Research Journal of Agricultural Science*. 2020. V. 52. N 1. P. 128–133.
18. Гниненко Ю.И., Налепин В.П. Грушевая кружковница *Stephanitis pyri* Fabricius 1775 (Hemiptera-Heteroptera, Tingidae) – вспышка массового размножения // Лесохозяйственная информация. 2023. N 3. С. 77–84.
<https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.03.05>
- REFERENCES**
1. Bushneva N.A., Dolgov V.V. Species of herbivorous bugs in sunflower crops in the central agro-climatic zone of the Krasnodar region. *Oil crops*, 2021, no. 4 (188), pp. 82–86. (In Russian) <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-4-188-82-86>
2. Marshakov V.G., Pushkinskaya G.A. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke ekspress-metoda ucheta chislennosti vreditel'ei na osnove plana posledovatel'nogo (stupenchatogo) analiza* [Methodological recommendations for the development of an express method for accounting for the number of pests based on a sequential (stepwise) analysis plan]. Leningrad, RASKHN, VIZR Publ., 1987, 33 p. (In Russian)
3. Lima B.S.A., Martinez L.C. et al. Interaction between predatory and phytophagous stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) promoted by secretion of scent glands. *Chemoecology*, 2021, vol. 31, pp. 209–219.
<https://doi.org/10.1007/s00049-021-00341-9>
4. Panizzi A.R., Lucini T.L. The overlooked role of weed plants affecting pest stink bug (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) bioecology in the Neotropics. *Arthropod-Plant Interactions*, 2022, vol. 16, pp. 1–14.
<https://doi.org/10.1007/s11829-021-09879-5>
5. Musolin D.L., Kirichenko N.L., Karpun N.N. Invasive Insect Pests and Urban Trees in Russia: Origin, Pathways, Damage, and Management. *Forests*, 2022, no. 13(4), article id: 521.
<https://doi.org/10.3390/f13040521>
6. Zhunisbai R.T., Dinasilov A.S., Islamova R.A. Brown marmorated stink bug (Halyomorpha Halys) - a new invader in the territory of the Republic of Kazakhstan. Zashita i karantin rastenij [Protection and quarantine of plants]. 2019, no. 10, pp. 38–39. (In Russian)
7. Sneseva E.G., Pushnya M.V., Rodionova E.Y. Invazivnye vidy klopov-pentatomid (Heteroptera, Pentatomidae) v Tsentral'noi zone Krasnodarskogo kraja [Invasive species of blood-Pentatomides (Heteroptera, Pentatomidae) in the Central zone of Krasnodar region]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Biosfera i chelovek", Maikop, 24–25 oktyabrya* [Proceedings of the scientific International Conference "Biosphere and man" Proceedings of the International Scientific Conference, Maikop, October 24–25, 2019]. Maikop, 2019, pp. 122–124. (In Russian)
8. Karpun N.N., Borisov B.A., Zhuravleva E.N., Borisova I.P., Nadykta V.D., Musolin D.L. Range expansion and increasing damage potential of phytophagous shield bugs (Heteroptera: Pentatomidae) (review). *Agricultural Biology*, 2022, no. 57(3), pp. 542–554. (In Russian)
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.542rus>
9. Borisov B.A., Karpun N.N., Borisova I.P. Ob usilenii negativnoi roli rastitel'noyadnykh klopov-shchitnikov (Heteroptera: Pentatomidae) [On the strengthening of the negative role of herbivorous shield bugs (Heteroptera: Pentatomidae)]. *Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ikh rol' v lesnykh ekosistemakh (XI Chteniya pamyati O.A. Kataeva): Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 24–27 noyabrya, 2020* [Dendrobiont invertebrates and fungi and their role in forest ecosystems (XI Readings in memory of O.A. Kataev). Proceedings of the All-Russian Conference with International participation, St. Petersburg, November 24–27, 2020]. St. Petersburg, 2020, pp. 96–97. (In Russian)
10. Zamotailov A.S., Belyi A.I. Ob Novye nakhodki lipovogo semennogo (mal'vovogo) klopa v Krasnodarskom krae i Respublike Adygeya [New finds of the lime seed (mallow) bug in the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea]. *Tochki nauchnogo rosta: na starte desyatilet'ya nauki i tekhnologii: Materialy ezhegodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii prepodavatelei po itogam NIR za 2022 g., Krasnodar, 12 maya, 2023* [Points of scientific growth: at the start of the decade of science and technology: Materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research in 2022, Krasnodar, May 12, 2023]. Krasnodar, 2023, pp. 102–104. (In Russian)
11. Golub N.V. et al. Comparative Cytogenetics of Lace Bugs (Tingidae, Heteroptera): New Data and a Brief Overview. *Insects*, 2022, vol. 13, no. 7, p. 608.
<https://doi.org/10.3390/insects13070608>
12. Balakhnina I.V., Golub V.B. Troficheskie svyazi vrednykh vidov klopov-kruzhevnic (Heteroptera: Tingidae), ustanovlennyye v Krasnodarskom krae v 2019 g. [Trophic relationships of the harmful species of lace bugs (Heteroptera: Tingidae) recorded in Krasnodar Territory, Russia, in 2019]. *Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ikh rol' v lesnykh ekosistemakh (XI Chteniya pamyati O.A. Kataeva): Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 24–27 noyabrya, 2020* [Dendrobiont invertebrates and fungi and their role in forest ecosystems (XI Readings in memory of O.A. Kataev) Proceedings of the All-Russian Conference with International participation], St. Petersburg, November 24–27, 2020] St. Petersburg, 2020, pp. 68–69. (In Russian)
13. Csóka G. et al. Spread and potential host range of the invasive oak lace bug [*Corythucha arcuata* (Say, 1832) – Heteroptera: Tingidae] in Eurasia. *Agricultural and forest entomology*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 61–74.
<https://doi.org/10.1111/afe.12362>

14. Gninenko Yu. I., Chernova U.A., Nalepin V.P. Dubovyi klop-kruzhevnitsa: etapy formirovaniya vtorichnogo areala v Rossii [Oak lace bug: stages of secondary habitat formation in Russia]. *Innovatsii v sokhranenii i ustoychivom razvitii lesnykh ekosistem: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, priurochennoi k 20-letiyu sozdaniya Gosudarstvennogo natsional'nogo prirodnogo parka «Burabai», pos. Burabai, 02–05 sentyabrya, 2020* [Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the creation of the State National Natural Park "Burabai", village Burabai, September 02-05, 2020]. Burabai, 2020, vol. 1, pp. 66–68. (In Russian)
15. Golub V.B., Kalinkin V.M., Kotenev E.S. American introduced bug-sycamore measles. *Zashchita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants]. 2008, no. 3, pp. 54–55. (In Russian)
16. Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Khetagurova E.V., Ignatieva T.N. Key factors in the successful adaptation of the pest *Corythucha ciliata* Say in the northern subtropics of the Black Sea coast. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 31–41. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-4-31-41>
17. Grozea I., Stef R., Virteiu A.M. et al. The aggressive behaviour of the *Corythucha ciliata* at the environmental changes of the last years. *Research Journal of Agricultural Science*. 2020, vol. 52, no. 1, pp. 128–133.
18. Gninenko Yu.I., Nalepin V.P. Pear lace-maker *Stephanitis pyri* Fabricius 1775 (Hemiptera–Heteroptera, Tingidae) – outbreak of mass reproduction. *Lesohozyajstvennaya informatsiya*, 2023, no. 3, pp. 77–84. (In Russian) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.03.05>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Евгения В. Кашутина, Людмила Н. Бугаева, Татьяна Н. Игнатъева собрали материал в ходе фитосанитарных обследований, провели исследования, обработали и проанализировали экспериментальные данные. 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

Evgeniya V. Kashutina, Ludmila N. Bugaeva and Tatyana N. Ignateva collected material during phytosanitary examinations and conducted studies, processed and analysed experimental data. 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

Евгения В. Кашутина / Evgeniya V. Kashutina <http://orcid.org/0000-0002-6179-2019>

Людмила Н. Бугаева / Ludmila N. Bugaeva <http://orcid.org/0000-0002-2159-9652>

Татьяна Н. Игнатъева / Tatyana N. Ignateva <http://orcid.org/0000-0002-0595-2882>

Обзорная статья / Review article

УДК 579.64

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-8



Составы биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур – современное состояние и перспективы (обзор)

Анна И. Хомяк, Анжела М. Асатурова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия

Контактное лицо

Анна И. Хомяк, научный сотрудник ФГБНУ
ФНЦБЗР; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о-39.
Тел. +79673115810
Email HomyakAI87@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Формат цитирования

Хомяк А.И., Асатурова А.М. Составы биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур – современное состояние и перспективы (обзор) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 83-96.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-8

Получена 5 апреля 2024 г.

Прошла рецензирование 24 мая 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: обобщить и проанализировать доступную информацию об исследованиях в области составов биопестицидов, которые направлены на усиление их эффективности, и оценить перспективы развития данного направления, для определения влияния компонентов на эффективность биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур.

В данной обзорной статье на основе системного анализа приведены результаты исследований компонентов, входящих в составы биопестицидов на основе микроорганизмов. Отмечено, что выбор компонентов биопестицидов необходимо осуществлять согласно требованиям, предъявляемым к продукции, рекомендованной для применения в системах экологического и органического земледелия. Указано, что выбор оптимальной рецептуры связан как с особенностями штаммов-продуцентов, их трофических потребностей и устойчивости по отношению к биотическим и абиотическим факторам, так и с особенностями технологии применения биопестицида (обработка семян, внесение в грунт или обработка растений в процессе вегетации), а также типом применяемой аппаратуры.

Знание основных требований, предъявляемых к препаративным формам биопестицидам, позволит поддерживать жизнеспособность и биологическую активность микробных агентов при хранении биопестицидов, учитывая чувствительность штаммов-продуцентов к условиям окружающей среды. Подбор оптимальных носителей, прилипателей, стабилизаторов, загустителей и синергистов с учетом технологии применения биопестицида и патогена-мишени будет способствовать разработке и появлению на рынке новых биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур от болезней.

Ключевые слова

Биопестицид, препаративная форма, срок хранения, консервант, прилипатель, носитель.

Composition of biopesticides for crop protection – current state and prospects (review)

Anna I. Homyak and Anzhela M. Asaturova

Federal Scientific Centre of Biological Plant Protection», Krasnodar, Russia

Principal contact

Anna I. Homyak, researcher FSBSI FSCBPP;
350039 Russia, Krasnodar, o/o-39.
Tel. +79673115810
Email HomyakAI87@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

How to cite this article

Homyak A.I., Asaturova A.M. Composition of biopesticides for crop protection – current state and prospects (review). *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):83-96. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-8

Received 5 April 2024

Revised 24 May 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. To summarise and analyse available information on research into biopesticide compositions aimed at enhancing their effectiveness and to assess prospects for the development of this field so as to determine the influence of components on the effectiveness of biopesticides for agricultural crop protection.

This review article presents the results of studies of components included in the compositions of microorganism-based biopesticides based on a system analysis. It is noted that the selection of biopesticide components must be carried out in accordance with the requirements for products recommended for use in ecological and organic farming systems. It is indicated that the choice of optimal formulation is associated with the characteristics of the producer strains, their trophic needs and resistance to biotic and abiotic factors and with the characteristics of the biopesticide application technology (seed treatment, application to the soil or treatment of plants during vegetation), as well as the type of equipment used.

Knowledge of the basic requirements for biopesticide formulations will help maintain the viability and biological activity of microbial agents during storage of biopesticides, taking into account the sensitivity of producer strains to environmental conditions. Selection of optimal carriers, adhesives, stabilisers, thickeners and synergists, taking into account the technology of application of the biopesticide and the target pathogen, will facilitate the development and appearance on the market of new biopesticides for protecting agricultural crops from diseases.

Key Words

Biopesticide, preparative form, shelf life, preservative, adhesive, carrier.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время потребность сельского хозяйства в средствах защиты растений увеличивается с каждым годом. Современное развитие биотехнологии способствовало появлению нового поколения высокоэффективных многофункциональных биопестицидов, применяющихся в различных отраслях сельскохозяйственного производства [1; 2]. Использование для создания таких препаратов природных штаммов микроорганизмов обеспечивает им высокую экологическую безопасность. Прогресс в производстве и применении биопестицидов, во многом, связан с разработкой высокотехнологичных, сохраняющих долгое время исходные свойства, препаративных форм [3–5].

Поддержание стабильности биопестицида (жизнеспособность микроорганизмов) во время хранения является основным требованием для последующей работы, но это сложнее, чем поддержание стабильности химического пестицида. Дополнительной проблемой является стабилизация продукта, который соответствует сертификации в качестве органического, что ограничивает перечень ингредиентов, которые могут быть использованы в рецептуре [6]. Различные ингредиенты, присутствующие в биопестицидах, могут регистрироваться по-разному, а некоторые даже не регистрируются, поскольку считаются «инертными» добавками. Однако исследования показали, что эти «инертные» компоненты могут быть токсичными, с многочисленными негативными последствиями для здоровья человека и окружающей среды [7]. Например, в прошлом в качестве консерванта в препаратах на основе *B. thuringiensis* использовался ксилитол, но его отрицательное воздействие на окружающую среду впоследствии привело к снятию этого компонента [8]. Агентства по регистрации, такие как US Environmental Protection Agency (US EPA) регулируют включение определенных ингредиентов в составе биопестицидов, оказывающих минимальный риск или не имеющих риска [9]. Но ситуация осложняется тем, что идентификация этих «инертных» дополнительных ингредиентов в биопестицидных препаратах часто не разглашается, поскольку они считаются конфиденциальной коммерческой информацией [10].

Кроме того, в области пестицидных составов существует запутанная терминология адъювантов. Термин «адъювант» может относиться как к компоненту состава биопестицида, так и к отдельному препарату, вносимому в распылительный бак. Выбор адъювантов, входящих в состав биопестицида, не случаен, поскольку определяется составом зарегистрированного продукта. Его компоненты не могут быть изменены без уведомления и пересмотра формулы, что может привести к требованию о перерегистрации биопестицида [11].

В отличие от компонентов препарата адъюванты, смешанные в резервуарах, являются автономными продуктами, которые продаются отдельно от биопестицидов. Эти продукты предназначены для смешивания с одним или несколькими пестицидами. Они обеспечивают такие преимущества, как растекание по распыляемой поверхности, устойчивость к смыванию дождем, замедленная деградация при воздействии солнечного света. Недостатки использования адъюванта в баковой смеси включают в

себя дополнительные материальные расходы и дополнительные этапы в процессе смешивания [10].

ОБСУЖДЕНИЕ

Уникальность каждого микробного агента создает дополнительные сложности при рассмотрении конкурирующих ингредиентов, процессов и составов препарата [12; 13]. Например, биоинсектициды, полученные с использованием гомогенизированных трупов насекомых нуждаются в контроле микробов-загрязнителей в конечном продукте [14]. Культуры, которые являются гидрофобными, требуют тщательного подбора соответствующих поверхностно-активных веществ, легко смешивающихся с водой для распыления [15]. Эти различия между потребностями микроорганизмов демонстрируют необходимость в уникальных рецептурных решениях для разных микробных пестицидов.

С одной стороны, выбор оптимальной рецептурной формы зависит от физиолого-биохимических и экологических особенностей штамма-продуцента, трофических потребностей и устойчивости культуры микроорганизма по отношению к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды [16; 17]. С другой стороны, товарная форма обусловлена экологическими условиями и особенностями технологии применения биопестицида (обработка семян, внесение в грунт или обработка растений в процессе вегетирования), а также типом применяемой аппаратуры. Так, гранулированные биопестициды более удобны для внесения в борозду [18], а смачивающиеся порошки рационально использовать для удержания влаги корневой системой растений [19]. Кроме того, необходимо понимание взаимодействия биоагента с патогеном-мишенью. Энтомопатогенные препараты должны попасть внутрь насекомого-мишени, в то время как биопестициды для контроля грибов действуют при контакте или конкуренции с патогенами. Микробы, применяемые в качестве биостимулятора или биоудобрения для повышения устойчивости растений, проникают в листья растений через устьица [20].

Изменения в физических характеристиках составов биопестицидов, таких как слеживание порошков, отделение жидких компонентов, флокуляция ингредиентов, или оседание взвешенных частиц, часто приводит к плохому нанесению и снижению биологической активности [21; 22]. Эти проблемы могут возникнуть в результате чрезмерной влажности, несовместимых ингредиентов, неправильного распределения частиц по размерам, разной плотности между ингредиентами, микробного загрязнения продукта. Неблагоприятные изменения в физической структуре препарата могут препятствовать правильному применению биопрепаратов, что приводит к неэффективной борьбе с вредителями [23].

Поддержание жизнеспособности микроорганизмов часто считается синонимом стабильности при хранении биопестицидов [24]. Очевидно, что потеря жизнеспособности микроорганизмов приводит к снижению эффективности при применении. Стабильность при хранении может также относиться к физическому состоянию продукта независимо от жизнеспособности микробов [25]. Необходимо учитывать, что бактерии, грибы и нематоды нуждаются

в поддержании минимального уровня метаболизма, чтобы оставаться жизнеспособными. Приемлемое хранение микробных агентов определяется как поддержание более 90% жизнеспособных микробов по сравнению с исходной жизнеспособностью [26].

Для увеличения срока хранения биопрепаратов возможно применение *стабилизаторов и консервантов*. Грибные продукты обычно требуют минимальной концентрации колониеобразующих единиц или жизнеспособных спор. Для грибных конидий масляные составы наиболее предпочтительны для поддержания жизнеспособности, стабильности при хранении и остаточной активности, обеспечивая большую эффективность по сравнению с водными составами [27; 28]. Используемые масла не должны быть токсичными для микроорганизмов, растений, человека и животных. В целом составы на масляной основе подходят для опрыскивания листвы в сухих условиях окружающей среды, поскольку масла обладают защитным эффектом, который продлевает срок хранения микроорганизмов [29]. Примером такой системы может служить состав для поддержания мицелиального гриба *Trichoderma harzianum*, эффективного антагониста для контроля гнили на яблоках, вызываемой грибами р. *Botrytis* [30]. Конидии *Metarhizium rileyi* Nm06, хранящиеся в масле, оставались жизнеспособными и активными в отношении осенней совки *Spodoptera frugiperda* после хранения при 8°C в течение 12 месяцев [31]. Применение кунжутного масла способствовало снижению прорастания конидий *Beauveria bassiana* F-HY006, обладающих инсектицидной активностью в отношении азиатской цитрусовой листоблошки *Diaphorina citri*, с 80,7 до 21,6 % [32]. Система вода-парафиновое масло с добавлением кремнезема, функционализированного амином, способствовала стабилизации биопрепарата на основе *M. brunneum*, что обеспечивало гибель личинок африканской хлопковой листовёртки *Spodoptera littoralis* на 50 % выше по сравнению с контролем [33]. Применение этого состава для биопрепарата на основе *Bacillus thuringiensis aizawai* вызывало гибель 92 % личинок *Spodoptera littoralis* [34].

Низкий угол смачивания между маслом и липофильными поверхностями позволяет лучше распределяться по поверхности листа, дополнительно улучшая дисперсию и облегчая адгезию кутикулы [35]. Кроме того, масла могут обеспечить защиту конидий от УФ-повреждений, теплового стресса и низкой относительной влажности [36; 37].

В составах на водной основе биомасса отделяется и суспандируется в водной среде, которая может содержать один или несколько адъювантов для поддержания стабильности и физической целостности состава в процессе нанесения, а жидкостью-носителем является вода [38]. Для штамма *B. bassiana* Bv062 были предложены два типа жидких составов с маннитом и трегалозой в качестве стабилизаторов, способствующие поддержанию высокого состава конидий в сочетании с инсектицидной активностью в отношении личинок мотылька сахарного тростника *Diatraea saccharalis* после 30 дней хранения при 30°C [39]. Жидкий состав дрожжевого изолята *Hanseniaspora guilliermondii* YBВЗ на основе глицерина был разработан для борьбы с аспергиллезной гнилью на винограде и продемонстрировал лучшие результаты, чем твердые составы [40].

Глицерин и трегалоза сохраняли жизнеспособность при хранении штамма *Pseudomonas fluorescens* Pf1 в герметичной упаковке. После 120 дней хранения при комнатной температуре было обнаружено 10⁸ КОЕ/мл, в то время как в контроле титр препарата постепенно снижался и через 90 дней жизнеспособные клетки не обнаруживались [41].

Влага влияет на биологическую активность биопестицидов несколькими способами. Так, для нематод влага необходима для предотвращения высыхания и обеспечения среды для поиска вредителя [42; 43]. Так, разработка препаративной формы на основе диоксида титана, функционализированного амином для энтомопатогенной нематоды *Steinernema carpocapsae* обеспечивала наиболее стабильную эмульсию с размером капель, подходящих для технологии применения биоинсектицида [44]. Применение таких компонентов, как гели, порошки и гранулы позволяет создавать составы со связанной водой, способствующие лучшему выживанию энтомопатогенных нематод, в отличие от сухих препаратов [45]. Было доказано, добавление вермикулита и полиакриламидного геля обеспечивает выживаемость *Steinernema feltiae* на 80 % выше в течение 241 дня при 15°C по сравнению с твердыми субстратами [46]. Добавление желатина в нанокompозитные шарики с *P. fluorescens* способствовало лучшему набуханию и содержанию влаги, что повышало выживаемость штамма до 91,3 %. Применение этого препарата снижало поражение картофеля *Fusarium solani* на 76 % [47].

Также необходимо определенное количество влаги для прорастания грибных конидий, чтобы инициировать процесс инфицирования. Активность водных составов может уменьшаться, если грибные конидии быстро впитывают воду или начинают метаболическую активность преждевременно, до контакта с вредителем-мишенью [48]. Даже при пониженной температуре споры грибов при достаточной влажности способны к прорастанию, что ведет к их гибели при отсутствии питания [49]. Всхожесть конидий снижается, когда конидии сушат и смешивают с холодной водой. Поэтому возможно, что добавление ингредиентов, способствующих быстрому смачиванию (желательная физическая характеристика смачиваемого порошка) может отрицательно повлиять на конидии при добавлении в распылительный бак. При смешивании с водой для распыления конидии могут стать метаболически активными и подверженными повреждениям при последующем высыхании после нанесения, что приводит к снижению активности [50].

Чрезмерная влажность в виде сильной росы или дождя может смыть биоагенты с поверхности листьев. Одним из способов удержания микроорганизмов на поверхности вегетативных частей растений является добавление *прилипателей* к баковой смеси для применения, тогда как другой способ включает клейкие агенты в состав биопестицидов [51]. Эти агенты обычно состоят из натуральных (углеводные, белковые или другие полимеры) или синтетических химических вещества (этокселированные феноксиалкилы, латексный полимер) [52]. Механизм защиты обеспечивается молекулами, которые являются гидрофобными или полимеризуются с образованием нерастворимого в воде остатка для эффективного захвата микробного

агента [53]. Так, добавление в питательную среду ксантановой камеди и патоки улучшает адгезию клеток *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* к кутикуле еловой листовёртки *Choristoneura fumiferana* на 55 % [54]. Биопрепарат на основе *T. longibrachiatum*, в состав которого был включен полиуретан, обеспечивал биологическую эффективность в отношении *Rhizoctonia solani* на растениях томата на 43 % выше, чем в контроле [55].

Агрохимические прилипатели используются для увеличения эффективности препаратов на целевых видах, обычно за счет улучшения адгезии и/или удерживания препарата на поверхности листа или за счет увеличения проникновения препарата в растение [56]. Микроорганизмы обладают сильной гидрофобностью, образуют крупные частицы в растворах, что затрудняет использование биопестицидов в полевых условиях. На сегодняшний день составы прилипателей развиваются в сторону многофункциональных добавок с характеристиками, которые делают их трудосберегающими, легкоразлагаемыми и низкотоксичными [57]. Комбинация препарата Vertalec (*Akanthomyces dipterigenus*) с прилипателем на основе растительного масла повысила смертность капустной тли *Brevicoryne brassicae* в полевых условиях на 86 % [58]. Совместное применение препарата Sonata (*B. pumilis*) в сочетании с прилипателем Сильвет обеспечивало снижение развития мучнистой росы, вызываемой *Podosphaera aphanis* на растениях клубники до 3 % [59].

В некоторых случаях прилипатели не оказывают на эффективность биопрепаратов положительного эффекта. Так, в исследованиях 2017 года отмечено, что совместное применения биопрепарата Serenade (*B. subtilis* QST713) с прилипателем Сильвет Голд обеспечивало защитный эффект в отношении желтой пятнистости листьев *Puccinia striiformis* на уровне контроля [60].

Основная функция *носителя* – действовать как крошечный контейнер или разбавитель для штаммов-продуцентов микробных пестицидов. Массовая доля носителя может превышать массовую долю активного ингредиента в пестициде [61]. Такие носители, как диатомит, диоксид кремния и бентонит с высокой адсорбционной способностью, можно использовать для производства высококонцентрированных порошков, смачивающихся порошков или гранул [62–63]. Так, применение инкапсулированного препарата *P. fluorescens* в альгинатно-хитиновых микрогранулах, дополненных наночастицами оксида кремния снижало зараженность семян картофеля *F. solani* на 75 % [47]. Применение диатомита в качестве носителя для *B. bassiana* обеспечивало выживаемость конидий гриба при 35°C, и обеспечивало смертность 74,3 % личинок зернового точильщика *Rhyzopertha dominica* [64]. А применение смеси *B. bassiana* и 5 % наночастиц обеспечивало 53,3 % смертности личинок *S. litura*, в то время как смертность после обработки только *B. bassiana* составляла 6,6 % [65]. Совместное применение *P. fluorescens* и диатомита обеспечивало биологическую эффективность в отношении сетчатой пятнистости ярового ячменя на 21,3 % выше, чем препарата Псевдобактерин 2 [66]. Результаты исследований биологической активности *B. thuringiensis* и *B. bassiana*, иммобилизованных на бентонитовом носителе, в отношении личинок *Holotrichia parallela*

показали, что смертность личинок была в два раза выше, чем в варианте с применением порошка на основе *B. thuringiensis* и *B. bassiana* [67].

Такие носители, как тальк, пирофиллит, сепиолит и глинистые материалы с низкой или средней адсорбционной способностью, обычно используются в качестве разбавителей и наполнителей для получения низкоконцентрированных порошков. Их пористая структура позволяет пестицидам высвобождаться в окружающую среду относительно медленно. Иммобилизация *P. synxantha* с использованием талька позволяла получить биофунгицид, стабильный в течение 180 дней хранения и проявляющий высокую колонизирующую активность корневой системы *Buglossoides arvensis* [68]. Протоксин и токсин *B. thuringiensis* быстро адсорбируются сепиолитом, достигая равновесного состояния в течение одного часа. Кроме того, сепиолит защищал токсин от повреждения УФ-облучением [69]. Гранулированный бактериальный препарат на основе монтмориллонита с высоким числом жизнеспособных клеток *P. aureofaciens* показал стабильность клеток при длительном хранении и высокую антифунгальную активность в отношении фитопатогенных грибов в течение 12 месяцев [70].

Микроорганизмы могут быть защищены от вредной коротковолновой световой энергии путем добавления к составам *фотопротекторов*. Воздействие солнечного света остается основным фактором снижения эффективности применения микробных пестицидов на полевых растениях. Многочисленные исследования показали, что солнечный свет приводит к быстрой потере жизнеспособности микробов. Естественный солнечный свет, особенно часть ультрафиолетового излучения УФ-В (280–310 нм) и УФ-А (320–400 нм) в основном отвечают за инактивацию биопрепаратов. УФ-В вызывает прямое повреждение ДНК в виде разрывов цепей и повреждений основания, что может привести к мутациям или нарушениям транскрипции. УФ-А вызывает косвенные повреждения за счет образования радикалов, которые также могут повредить ДНК [71; 72].

Фотопротекторы защищают микроорганизмы следующими способами: 1 – в качестве химического солнцезащитного средства, поглощающего коротковолновую энергию: оптические отбеливатели, химические красители, и поглотители (солнцезащитные средства); 2 – в качестве физического солнцезащитного средства, отражающего световую энергию: глины и диоксид титана [73].

В составы для фотопротекции включают хромофоры и пигменты. Так, установлено, что конго красный делает устойчивыми к УФ-излучению конидии *M. robertsii* [74]. Черный меланин, продуцируемый штаммом дрожжей *Hortaea werneckii* EGYNDA08, защищает штамм *B. thuringiensis* subsp. *aegypti* Bt-C18 от дезактивации солнечным светом и увеличивает его биологическую эффективность в отношении личинок хлопкового листового червя *Spodoptera littoralis* в девять раз [75]. Эти исследования подтверждены данными исследований влияния меланина на фотозащиту штамма *B. thuringiensis* BGC-1, согласно которым смесь биопрепарата с меланином обеспечивает смертность личинки хлопковой совки *Helicoverpa armigera* на уровне 86,6 % при пятичасовом воздействии солнечного света при температуре 43,6°C [76].

Оптические отбеливатели, которые поглощают ультрафиолетовую энергию и преобразуют ее в длину волн безопасного видимого света, могут быть включены в качестве компонентов биопестицида или добавлены в бак для распыления в качестве адъювантов. Кроме того, оптические отбеливатели способны усиливать действие некоторых биопестицидов. В исследованиях 2022 года было установлено, что совместное применение оптического отбеливателя и препарата Лепидоцид (*B. thuringiensis*) обеспечивает смертность личинок червонца непарного *Lycaena dispar* на 36,2 % по сравнению с применением только препарат Лепидоцид [77].

Для масляных составов в качестве солнцезащитных средств обычно используются органические соединения. Так модифицированное соевое масло, известное как соевый экран, защищает жизнеспособность грибных конидий при воздействии естественного и смоделированного солнечного света [78]. Конидиальный препарат *Cordyceps javanica* на масляной основе, стабилизированный кунжутным маслом, сохранял активность и вирулентность в отношении взрослых особей *D. citri* при УФ-В-стрессе до 16 недель [79]. Гуминовые кислоты доказали высокий потенциал защиты от УФ-излучения конидий *B. bassiana* на рапсе, количество конидий в варианте с применением гуминовых кислот превышало контроль в 7,8 раз [80].

В отличие от химических добавок, способных только поглощать УФ-лучи, физические добавки способны отражать и рассеивать УФ-лучи [81]. Так, внесение в препарат на основе *B. thuringiensis* аморфного диоксида кремния обеспечило жизнеспособность 79,7 % спор после воздействия ультрафиолета (УФ-А 385 нм), тогда как жизнеспособность незащищенных спор в этих условиях составила 41,3 % [82]. Иммунизация *T. viride* и *B. bassiana* на гранулах полимочевины способствовала защите от УФ-излучения и выживаемости 90 % клеток [83].

Вязкость является важным свойством биопестицида, влияющим на размер капель и их осаждение на обработанной поверхности. Составы с низкой вязкостью ниже 100 мПа·с имеют тенденцию образовывать мелкие капли и низкое отложение на обработанных поверхностях по сравнению с составами с низкой летучестью и повышенной вязкостью (130–150 мПа·с). Маленькие капли легче сносятся с обрабатываемой поверхности ветром или током воды. Они включают только несколько спор или клеток, или даже не содержат спор, если концентрация микробов недостаточно высока. Кроме того, более крупные капли дольше сохраняют влажную среду, что способствует поддержанию жизнеспособности клеток [84]. Такие загустители, как ксантановая камедь, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), меласса и силикат калия используются в биопестицидных составах. Эти средства считаются безопасными для здоровья человека, животных, окружающей среды [85]. Применение ксантановой камеди и КМЦ способствовало лучшему распределению штамма *P. fluorescens* на поверхности семян перца чили (*Capsicum annuum*), что обеспечивало подавление развития *F. solani* на 41,2 % выше по сравнению с контролем [86]. Полианионы на основе лигнина обеспечивали сохранность спор *T. reesei* IBWF 034-05, активных в отношении *Phaeomonilla chlamydozoa* и *P. minimum* путем последовательного

высвобождения спор на поверхности ствола винограда [87].

Одним из эффективных способов усиления действия биопестицидов является применение синергистов. Они способны усиливать действие композиций на основе микробных биоагентов [88]. Исследования показали, что дазомет и *B. subtilis* NCD-2 продемонстрировали хорошую эффективность борьбы с фузариозным увяданием хризантемы. Применение дазомета значительно снизило активность каталазы и уреазы в почве, в то время как *B. subtilis* NCD-2 продемонстрировал фунгицидную активность в отношении *F. oxysporum* [89]. Синергетический препарат на основе *Trichoderma* spp. и метаболитов *Chaetomium* spp. оказался эффективным биофунгицидом для борьбы с болезнями растений. Нано-элизиторы *Chaetomium* spp. индуцировали иммунитет у растений, а грибы рода *Trichoderma* являются биодеструкторами, продуцирующими целлюлазу, гемицеллюлазу, лигниназу и протеазу [90]. Комбинация тебуконазола и *B. subtilis* H158 была оценена для борьбы с ложной головней риса, вызванной *Ustilaginoidea virens*. Тебуконазол в низких дозах стимулировал рост *B. subtilis*, продлевал период действия *B. subtilis* за счет повышения его прикрепляемости к поверхности растений риса, ускорял образование биопленки для облегчения колонизации, стимулировал индуцированную системную устойчивость риса, а также снижал естественную устойчивость патогена за счет подавления ключевого гена устойчивости грибов к тебуконазолу. Однако при высоких дозах применения тебуконазол оказывал неблагоприятное воздействие на эти факторы и проявлял антагонистическую активность в отношении *B. subtilis* [91].

Комбинация хитозана с другими агентами усиливает синергетический эффект за счет ингибирования прорастания спор и изменения морфогенеза клеточной стенки грибных патогенов [92]. Так, совместное применение хитозана и *T. atroviride* на растениях свеклы стимулировало прорастание семян, запускало защитные реакции и снижало заболеваемость церкоспорозом (*Cercospora beticola*). Хитозан запускал системную устойчивость и обладал биоцидным эффектом, в то время как *T. atroviride* индуцировала гены защиты от стресса у растений свеклы [93]. Композиция на основе *B. subtilis* M-22, *T. viride* T-36 и хитозана обеспечивала защитный эффект до 70 % в системах защиты овощных культур от почвенной фузариозной инфекции [94].

Добавки для стимулирования питания (вкусовая стимуляция) усиливают активность бактериальных агентов. Сахара, аминокислоты и крахмалы, как правило, могут стимулировать питание насекомых. Некоторые соединения могут быть использованы для борьбы с определенными вредителями [95]. Применение *Chromobacterium subtsugae* с добавлением кукурузного сиропа в качестве фагостимулятора снизило заражение осенней красной малины личинками *Drosophila suzukii* Matsuura на 61,1 % по сравнению с необработанной малиной [96]. В исследованиях 2019 года были протестированы приманки для азиатской хлопковой совки *Spodoptera litura* с использованием рисовых, кукурузных и пшеничных отрубей, а также пальмового сахара и воды. Среднее потребление приманки шестидневными

личинками *S. litura* через 48 часов показало преимущество пшеничных отрубей и кукурузных отрубей [97]. Хитозановый гидрогель в качестве фагостимулятора вместе с биоларвицидом на основе *B. thuringiensis* var. *israelensis* продемонстрировал заметно более высокий потенциал приманки по сравнению с целлюлозным, а также эффективно убивал личинок комаров *Aedes albopictus* уже через несколько часов после введения [98].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биопестициды являются ключевыми продуктами для развития устойчивого и эффективного сельского хозяйства. Эффективность биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур зависит не только от характеристики штаммов-продуцентов, но и от дозировки, способа и своевременности внесения. Чтобы добиться эффективности в полевых условиях, необходимо учитывать взаимодействие микробов-антагонистов с поверхностью листьев растений или вредителем-мишенью. Но необходимо учитывать, что в настоящее время большинство компонентов биопестицидов не проходят процедуру регистрации. Необходимо установить стандартные системы введения различных компонентов, используемых для микробных пестицидов. То есть все «инертные» добавки должны подвергаться той же оценке риска, что и активные ингредиенты. Поскольку активными ингредиентами микробных пестицидов являются микроорганизмы, следует учитывать влияние добавок на выживание и размножение микроорганизмов. Особое внимание следует уделить тому, что адъюванты должны обладать большей адсорбционной способностью и более высокими дисперсионными характеристиками. Это позволит улучшить физические и химические свойства биопестицидов и, как следствие, повысить их эффективность в полевых условиях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/22.9 «Оптимизация состава и препаративной формы нового биопрепарата на основе штамма *B. subtilis* BZR 336g для защиты сельскохозяйственных культур». Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific and innovation project Num. NIP-20.1/22.9 project "Optimization of the Composition and Preparative Form of a New Biological Product Based on the *B. subtilis* BZR 336g Strain for Crop Protection. The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азизбекян Р.Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (Обзор) // Биотехнология. 2018. Т. 34. N 5. С. 37–47. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47>
2. Hernandez-Tenorio F., Miranda A.M., Rodríguez C.A., Giraldo-Estrada C., Sáez A.A. Potential Strategies in the

Biopesticide Formulations: A Bibliometric Analysis // *Agronomy*. 2022. N 12. P. 2665. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112665>

3. Mascarin G.M., Jackson M.A., Behle R.W., Kobori N.N., Júnior Í.D. Improved shelf life of dried *Beauveria bassiana* blastospores using convective drying and active packaging processes // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2016. V.100. N 19. P. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7597-2>
4. Маслиенко Л.В., Воронкова А.Х. Элементы лабораторного регламента производства микробиопрепаратов в препаративной форме «смачивающийся порошок» на основе бактерий-антагонистов из рода *Pseudomonas* при поверхностном культивировании на жидкой питательной среде // *Масличные культуры. Научнотехнический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. Т. 1. N 173. С. 87–93.
5. Mishra J., Dutta V., Arora N.K. Biopesticides in India: technology and sustainability linkages // *Biotechnology*. 2020. N 10. P. 210. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02192-7>
6. Damalas C.A., Koutroubas S.D. Current Status and Recent Developments in Biopesticide Use // *Agriculture*. 2018. N 8. P. 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010013>
7. Mesnage R., Bernay B., Seralini G. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity // *Toxicology*. 2013. N 313. P. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.09.006>
8. Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Valéro, J.R. Recent advances in downstream processing and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides // *Process biochemistry*. 2006. V. 41. N 2. P. 323–342.
9. Koul O. Biopesticides: commercial opportunities and challenges. In: *Development and Commercialization of Biopesticides; Costs and benefits*. Amsterdam: Elsevier Inc., AACC International, 2023. P. 1–23.
10. Mesnage R., Antoniou M.N. Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides // *Frontiers in public health*. 2018. N 5. P. 361. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00361>
11. Market and Markets. Agricultural Adjuvants Market by Type (Activator and Utility), Application (Herbicides, Fungicides, and Insecticides), Crop-Type (Cereals and Oilseeds and Fruits and Vegetables), and by Region. *Global Trends and Forecast to 2021*. 2016. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/adjuvant-market-1240.html> (дата обращения: 17.07.2023)
12. Tijjani A., Bashir K.A., Mohammed I., Muhammad A., Gambo A., Musa H. Biopesticides for pests control: A review // *Journal of Biopesticides and Agriculture*. 2016. V. 3. N 1. P. 6–13.
13. Хужаназарова М.К., Муродова С.С. Технология получения биопрепарата на основе ризобактерий, иммобилизованных флокулянтами Гипан // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2022. N 3. С. 34–38. <https://doi.org/10.17513/srbs.1281>
14. Behle R., BIRTHSEL T. Formulations of entomopathogens as bioinsecticides. In: *Mass production of beneficial organisms. USA: Academic Press*, 2023. P. 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00010-5>
15. do Nascimento Silva J., Mascarin G.M., de Castro R.P.V., Castilho L.R., Freire D.M.G. Novel combination of a biosurfactant with entomopathogenic fungi enhances efficacy against *Bemisia whitefly* // *Pest management science*. 2019. V. 75. N 11. P. 2882–2891. <https://doi.org/10.1002/ps.5458>
16. Sachdev S., Singh R.P. Current challenges, constraints and future strategies for development of successful market for biopesticides // *Climate Change and Environmental*

- Sustainability. 2016. V. 4. N 2. P. 129–136. <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2016.00014.4>
17. Павлюшин В.А., Новоикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. N 3. С. 421–438. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.3.421rus>
18. Huff Hartz K.E., Edwards T.M., Lydy M.J. Fate and transport of furrow-applied granular tefluthrin and seed-coated clothianidin insecticides: comparison of field-scale observations and model estimates // Ecotoxicology. 2017. N 26. P. 876–888. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1818-z>
19. Bharti V., Ibrahim S. Biopesticides: Production, formulation and application systems // International Journal of Current Microbiology and Applied Science. 2020. V. 9. N 10. P. 3931–3946. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.453>
20. Preininger C., Sauer U., Bejarano A., Berninger T. Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants // Applied microbiology and biotechnology. 2018. N 102. P. 7265–7282. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9173-4>
21. Rumbos C.I., Athanassiou C.G. Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities? // Journal of Pest Science. 2017. N 90. P. 839–854. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0849-9>
22. de la Cruz Quiroz R., Cruz Maldonado J., Rostró Alanis M. Fungi-based biopesticides: shelf-life preservation technologies used in commercial products // Journal of Pest Science. 2019. N 92. P. 1003–1015. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01117-5>
23. Essiedu J.A., Adepoju F.O., Ivantsova M.N. Benefits and limitations in using biopesticides: A review // In AIP Conference Proceedings. 2020. N 2313. Article id: 080002.
24. Alamprese C., Cappa C., Ratti S., Limbo S., Signorelli M., Fessas D., Lucisano M. Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies // Food chemistry. 2017. N 230. P. 532–539.
25. Keswani C., Sarma B.K., Singh H.B. Synthesis of policy support, quality control, and regulatory management of biopesticides in sustainable agriculture // Agriculturally Important Microorganisms. 2016. P. 3–12. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2576-1_1
26. Zobot G.L., Schaefer Rodrigues F., Polano Ody L., Vinícius Tres M., Herrera, E., Palacin H., Córdova-Ramos J.S., Best I., Olivera-Montenegro L. Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications // Polymers. 2022. N 14. P. 4194. <https://doi.org/10.3390/polym14194194>
27. Oliveira D.G.P., Lopes R.B., Rezende J.M., Delalibera Jr. I., Increased tolerance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* conidia to high temperature provided by oil-based formulations // J. Invertebr Pathol. 2018. N 151. P. 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.012>
28. Lei C.J., Halim N.A., Asib N., Zakaria A., Azmi W.A. Conidial Emulsion Formulation and Thermal Storability of *Metarhizium anisopliae* against Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Dryophthoridae) // Microorganisms. 2022. N 10. P. 1460. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071460>
29. Teixidó N., Usall J., Torres R. Insight into a Successful Development of Biocontrol Agents: Production, Formulation, Packaging, and Shelf Life as Key Aspects // Horticulturae. 2022. N 8. P. 305. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040305>
30. Fraceto L.F., Maruyama C.R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H.B., de Lima R. Trichoderma harzianum-based novel formulations: potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2018. V. 93. N 8. P. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
31. Grijalba E.P., Espinel C., Cuartas P.E., Chaparro M.L., Villamizar L.F., *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions // Fungal Biology. 2018. V. 122. N 11. P. 1069–1076. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.08.010>
32. Awan U. A., Xia S., Meng L., Raza M. F., Zhang Z., Zhang H. Isolation, characterization, culturing, and formulation of a new *Beauveria bassiana* fungus against *Diaphorina citri* // Biological Control. 2021. N 158. Article id: 104586. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104586>
33. Yaakov N., Ananth Mani K., Felfbaum R., Lahat M., Da Costa N., Belausov E., Ment D., Mechrez G. Single Cell Encapsulation via Pickering Emulsion for Biopesticide Applications // ACS Omega. 2018. N 3. P. 14294–14301. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02225>
34. Yaakov N., Kottakota C., Mani K.A., Naftali S.M., Zelinger E., Davidovitz M., Ment D., Mechrez G. Encapsulation of *Bacillus Thuringiensis* in an Inverse Pickering Emulsion for Pest Control Applications. Colloids Surf // B Biointerfaces. 2022. N 213. Article id: 112427. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112427>
35. Birnbaum N., Reingold V., Matveev S., Kottakota C., Davidovitz M., Mani K.A., Feldbaum R., Yaakov N., Mechrez G., Ment D. Not Only a Formulation: The Effects of Pickering Emulsion on the Entomopathogenic Action of *Metarhizium brunneum* // Journal of Fungi. 2021. P. V. 7. N 7. P. 499. <https://doi.org/10.3390/jof7070499>
36. Alves F.M., Bernardo C.C., Paixão F.R.S., Barreto L.P., Luz C., Humber R.A., Fernandes É.K.K. Heat-stressed *Metarhizium anisopliae*: Viability (*in vitro*) and virulence (*in vivo*) assessments against the tick *Rhipicephalus sanguineus* // Parasitology Research. 2017. N 116. P. 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5267-z>
37. Muniz E.R., Paixão F.R.S., Barreto L.P., Luz C., Arruda W., Angelo I.C., Fernandes É.K.K. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* conidia in oil-in-water emulsion against the tick *Rhipicephalus microplus* under heat and dry conditions // BioControl. 2020. N 65. P. 339–351.
38. Upadhyay H., Mirza A., Singh J. Impact of Biopesticides in Sustainable Agriculture // Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture. Microorganisms for Sustainability. Singapore: Springer, 2020. P. 281–296. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3208-5_11
39. Mejía C., Espinel C., Forero M., Ramos F. A., Brandão P. F. B., Villamizar L. Improving ecological fitness of *Beauveria bassiana* conidia to control the sugar cane borer *Diatraea saccharalis* // Biocontrol Science and Technology. 2020. V. 30. N 6. P. 513–530. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1738343>
40. Nandhini M., Harish S., Aiyathan K.E.A., Durgadevi D., Beaulah A. Glycerol-based liquid formulation of the epiphytic yeast *Hanseniaspora guilliermondii* isolate YBB3 with multiple modes of action controls postharvest Aspergillus rot in grapes // The Plant Pathology Journal. 2021. N 103. P. 1253–1264. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00909-y>
41. Nerek E., Sokołowska B. *Pseudomonas* spp. in biological plant protection and growth promotion // AIMS Environmental Science. 2022. V. 9. N 4. P. 493–504. <https://doi.org/10.3934/envirosci.2022029>
42. Saleh M.M.E., Metwally H.M.S., Abonaem M. Commercialization of biopesticides based on entomopathogenic nematodes. In: Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications: Practical Aspects to Deal Biologically with Pests and Stresses Facing Strategic Crops. Singapore: Springer, 2020. P. 253–275. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0_8
43. Hussaini S.S., Rajeshwari R., Rajeshwari R., Appanna V. Potential of Entomopathogenic Nematodes // Biopesticides in Horticultural Crops. 2021. N 17. P. 80–99.
44. Kotliarevski L., Cohen R., Ramakrishnan J., Wu S., Mani K. A. Amar-Feldbaum, R. Mechrez, G. Individual coating of entomopathogenic nematodes with titania (TiO₂)

- nanoparticles based on oil-in-water Pickering emulsion: A new formulation for biopesticides // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022. V. 70. N 42. P. 13518–13527. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04424>
45. Panichikall J., Prathap G., Nair R.A., Krishnankutty R.E. Evaluation of plant probiotic performance of *Pseudomonas* sp. encapsulated in alginate supplemented with salicylic acid and zinc oxide nanoparticles // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. N 166. P. 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.110>
46. Leite L.G., Shapiro-Ilan D.I., Hazir S. Survival of *Steinernema feltiae* in different formulation substrates: Improved longevity in a mixture of gel and vermiculite // *Biological Control*. 2018. N 126. P. 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.05.013>
47. Pour M.M., Saberi-Riseh R., Mohammadinejad R., Hosseini A. Investigating the Formulation of Alginate-Gelatin Encapsulated *Pseudomonas Fluorescens* (VUPF5 and T17-4 Strains) for Controlling *Fusarium Solani* on Potato // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. N 133. P. 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.071>
48. Rodrigues J., Catão A.M.L., dos Santos A.S. Relative humidity impacts development and activity against *Aedes aegypti* adults by granular formulations of *Metarhizium humberi* microsclerotia // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2021. N 105. P. 2725–2736. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11157-6>
49. Маслиенко Л.В., Воронкова А.Х. Элементы лабораторного регламента производства микробиопрепаратов на основе грибных штаммов-продуцентов в препаративной форме "смачивающийся порошок" // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2016. Т. 4. N 168. С. 100–107.
50. Acheampong M.A., Coombes C.A., Moore S.D., Hill M.P. Temperature tolerance and humidity requirements of select entomopathogenic fungal isolates for future use in citrus IPM programmes // *Journal of Invertebrate Pathology*. 2020. N 174. Article id: 107436. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107436>
51. Atanasova-Pancevska N., Kungulovski D. Isolation, characterization and formulation of antagonistic bacteria against fungal plant pathogens // *AGROFOR*. 2018. V. 3. N 3. P. 80–89. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1803080A>
52. Albuquerque P.B.S., de Oliveira W.F., dos Santos Silva P.M., dos Santos Correia M.T., Kennedy J.F., Coelho L.C.B.V. Epiphanies of well-known and newly discovered macromolecular carbohydrates – A review // *International journal of biological macromolecules*. 2020. N 156. P. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.046>
53. Sahai P., Sinha V. B., Dutta R. Bioformulation and nanotechnology in pesticide and fertilizer delivery system for eco-friendly agriculture: a review // *Sci Agric*. 2019. N 3. P. 2–10. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0675>
54. Ndao A., Kumar L.R., Tyagi R.D., Valéro J. Biopesticide and formulation processes based on starch industrial wastewater fortified with soybean medium // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2019. V. 55. N 2. P. 115–126. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1668225>
55. Mahde B.Y., Fayyadh M.A., Al-Luaibi S.S. Evaluation of Biofungicide Formulation of *Trichoderma longibrachiatum* in Controlling of Tomato Seedling Damping-off Caused by *Rhizoctonia solani* // *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 2019. V. 32. N 2. P. 135–149. <https://doi.org/10.37077/25200860.2019.204>
56. Adusei-Fosu K., Rolando C.A., Richardson B. Evaluating the efficacy of potential fungicide-adjuvant combinations for control of myrtle rust in New Zealand // *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2021. V. 128. N 6. P. 1501–1515. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00523-1>
57. Lin F., Mao Y., Zhao F., Idris A.L., Liu Q., Zou S., Guan X., Huang T. Towards Sustainable Green Adjuvants for Microbial Pesticides: Recent Progress, Upcoming Challenges, and Future Perspectives // *Microorganisms*. 2023. N 11. P. 364. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020364>
58. Prince G., Chandler D. Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments // *Insects*. 2020. V. 11. N 1. P. 55.
59. Berrie A., Xu, X. Developing biopesticide-based programmes for managing powdery mildew in protected strawberries in the UK // *Crop Protection*. 2021. N 149. Article id: 105766. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105766>
60. Reiss A., Jørgensen L.N. Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade® ASO (*Bacillus subtilis* strain QST713) // *Crop Protection*. 2017. N 93. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.009>
61. Singh A., Dhiman N., Kar A.K., Singh D., Purohit M.P., Ghosh D., Patnaik S. Advances in controlled release pesticide formulations: Prospects to safer integrated pest management and sustainable agriculture // *Journal of hazardous materials*. 2020. N 385. Article id: 121525. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121525>
62. Максимов И.В., Сорокань А.В., Шеин М.Ю., Хайруллин Р.М. Биологические методы защиты растений от вирусов: проблемы и перспективы (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56. N 6. С. 536–550. <https://doi.org/10.31857/S0555109920060100>
63. Marzban R., Babaei J., Kalantari M., Saberi F. Preparation of wettable powder formulation of *Bacillus thuringiensis* KD2 // *Journal of Applied Biological Sciences*. 2021. V. 15. N 3. P. 285–293.
64. Zaman S., Rasul A., Khan A.G., Ali Q., Anwar T., Faisal M., Qasim M.U. Effect of abiotic factors on the efficacy of *Beauveria bassiana* and diatomaceous earth against *Rhizopertha dominica* (F.): Efficacy of bio-pesticides against *R. dominica* under different abiotic factors // *Journal of Applied Biological Sciences*. 2020. V. 14. N 1. P. 98–112. <https://jabsonline.org/index.php/jabs/article/view/830>
65. An C., Sun C., Li N. Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture // *Journal of Nanobiotechnology*. 2022. N 20. P. 11. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7>
66. Оленин О.А., Зудилин С.Н. Влияние инновационных органических удобрений и биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в лесостепи среднего Поволжья // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. N 4. С. 17–23.
67. Liu Q., Geng L., Liu C., Wang Q., Zhang J., Bai X., Shu C. Study on the Granular Carrier to Enhance the Control Effect of *Bacillus thuringiensis* and *Beauveria bassiana* on Grubs[J] // *Chinese Journal of Biological Control*. 2021. V. 37. N 2. P. 193–200. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.05.003>
68. Novinscak A., Filion M. Long term comparison of talc- and peat-based phytobeneficial *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas synxantha* bioformulations for promoting plant growth // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020. N 4. Article id: 602911. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.602911>
69. Zhou X., Li H., Liu Y., Hao J, Liu H., Lu X. Improvement of stability of insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* against UV-irradiation by adsorption on sepiolite // *Adsorption Science and Technology*. 2018. V. 36. N 56. P. 1233–1245. <https://doi.org/10.1177/0263617418759777>
70. Fomina M., Skorocho I. Microbial Interaction with Clay Minerals and Its Environmental and Biotechnological Implications // *Minerals*. 2020. N 10. P. 861. <https://doi.org/10.3390/min10100861>
71. Vanhaelewyn L., Van Der Straeten D., De Coninck B. Vandenbussche F. Ultraviolet Radiation From a Plant Perspective: The Plant-Microorganism Context // *Frontiers in*

- Plant Science. 2020. N 11. Article id: 597642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597642>
72. Enwemeka C.S., Baker T.L., Bumah V.V. The role of UV and blue light in photo-eradication of microorganisms // Journal of Photochemistry and Photobiology. 2021. N 8. Article id: 100064. <https://doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100064>
73. do Nascimento Jn. D.R., Taberbero A., Cabral Albuquerque E.C.d.M., Vieira de Melo S.A.B. Biopesticide Encapsulation Using Supercritical CO₂: A Comprehensive Review and Potential Applications // Molecules. 2021. N 26. Article id: 4003. <https://doi.org/10.3390/molecules26134003>
74. Licona-Juárez K.C., Bezerra A.V.S., Oliveira I.T., Massingue C.D., Medina H.R., Rangel D.E. Congo red induces trans-priming to UV-B radiation in *Metarhizium robertsii* // Fungal Biology. 2023. N 06. P. 21. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2023.06.005>
75. Saleh H., Abdelrazak A., Elsayed A. Optimizing production of a biopesticide protectant by black yeast // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2018. N 28. P. 72. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0078-4>
76. Kalmath B., Bheemanna M., Prabhuraj A. Evaluation of UV protectants for wettable powder formulation of native *Bacillus thuringiensis* (Berliner) isolate against *Helicoverpa armigera* (Hubner) in the Laboratory // Journal of Biological Control. 2018. V. 32. N 3. P. 179–186. <https://doi.org/10.18311/jbc/2018/21661>
77. Akhanaev Y., Pavlushin S., Polenogova O. The effect of mixtures of *Bacillus thuringiensis*-based insecticide and multiple nucleopolyhedrovirus of *Lymantria dispar* L. in combination with an optical brightener on *L. dispar* larvae // BioControl. 2022. N 67. P. 331–343. <https://doi.org/10.1007/s10526-022-10137-7>
78. Lee J. Y., Woo R. M., Woo S. D. Formulation of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* JN5R1W1 for the control of mosquito adults and evaluation of its novel applicability // Journal of Asia-Pacific Entomology. 2023. V 26. N 2. Article id: 102056. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102056>
79. Awan U.A., Meng L., Xia S., Raza M.F., Zhang Z., Zhang H. Isolation, fermentation, and formulation of entomopathogenic fungi virulent against adults of *Diaphorina citri* // Pest Management Science. 2021. V. 77. N 9. P. 4040–4053. <https://doi.org/10.1002/ps.6429>
80. Kaiser D., Bacher S., Mène-Saffrané L., Grabenweger G. Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation // Pest management science. 2019. V. 75. N 2. P. 556–563. <https://doi.org/10.1002/ps.5209>
81. Feldbaum R.A., Yaakov N., Mani K.A., Yossef E., Metbeev S., Zelinger E., Mechrez G. Single cell encapsulation in a Pickering emulsion stabilized by TiO₂ nanoparticles provides protection against UV radiation for a biopesticide // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2021. N 206. Article id: 111958.
82. Jalali E., Maghsoudi S. Noroozian E. A novel method for biosynthesis of different polymorphs of TiO₂ nanoparticles as a protector for *Bacillus thuringiensis* from Ultra Violet // Scientific Reports. 2020. N 10. P. 426. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57407-6>
83. Жемчужина Н.С., Фокин А.О., Елизарова С.А., Горелов П.В. Новая форма биопрепаратов – микроконтейнеры из полимерного биоразлагаемого материала // Лаборатория и производство. 2018. Т. 1. N 1. P. 138–141.
84. Bueno M.R., da Cunha J.P.A.R., Santana D.G. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops // Biosyst Eng. 2016. N 154. P. 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017>
85. Ndao A., Sellamuthu B., Gnepe J.R., Tyagi R.D., Valero J.R. Pilot-scale biopesticide production by *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki using starch industry wastewater as raw material // Journal of Environmental Science and Health, Part B. 2017. V. 52. N 9. P. 623–630.
86. Chin J.M., Lim Y.Y., Ting A.S.Y. Biopriming *Pseudomonas fluorescens* to vegetable seeds with biopolymers to promote coating efficacy, seed germination and disease suppression // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2022. V. 21. N 8. P. 493–505. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.02.002>
87. Peil S., Beckers S.J., Fischer J., Wurm F.R. Biodegradable, lignin-based encapsulation enables delivery of *Trichoderma reesei* with programmed enzymatic release against grapevine trunk diseases // Materials Today Bio. 2020. N 7. Article id: 100061. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2020.100061>
88. Abbey J.A., Percival D., Abbey L., Asiedu S.K., Prithiviraj B., Schilder A. Biofungicides as alternative to synthetic fungicide control of grey mould (*Botrytis cinerea*) – prospects and challenges // Biocontrol science and technology. 2019. V. 29. N 3. P. 207–228. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1548574>
89. Chen H., Zhao S., Zhang K., Zhao J., Jiang J., Chen F., Fang W. Evaluation of Soil-Applied Chemical Fungicide and Biofungicide for Control of the Fusarium Wilt of Chrysanthemum and Their Effects on Rhizosphere Soil Microbiota // Agriculture. 2018. N 8. P. 184. <https://doi.org/10.3390/agriculture8120184>
90. Soyong K., Song J.J., Dinh M.T., Hoang H. Research investigation of natural products from microorganisms for sustainable agriculture in Vietnam: A short communication // International Journal of Agricultural Technology. 2020. V. 16. N 2. P. 421–428.
91. Liu L., Zhao K., Cai L., Zhang Y., Fu Q., Huang S. Combination effects of tebuconazole with *Bacillus subtilis* to control rice false smut and the related synergistic mechanism // Pest Management Science. 2023. V. 79. N 1. P. 234–243. <https://doi.org/10.1002/ps.7193>
92. Trejo-Raya A.B., Rodríguez-Romero V.M., Bautista-Baños S., Quiroz-Figueroa F.R., Villanueva-Arce R., Durán-Páramo E. Effective *In Vitro* Control of Two Phytopathogens of Agricultural Interest Using Cell-Free Extracts of *Pseudomonas fluorescens* and Chitosan // Molecules. 2021. N 26. P. 6359. <https://doi.org/10.3390/molecules26216359>
93. Kappel L., Kosa N., Gruber S. The multilateral efficacy of chitosan and *Trichoderma* on sugar beet // Journal of Fungi. 2022. V. 8. N 2. P. 137. <https://doi.org/10.3390/jof8020137>
94. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Колесникова Ю.Р., Потрахов Н.Н., Van Duijn B., Гусаренко А.С. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. N 5. С. 1024–1040. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.5.1024rus>.
95. Şengül Demirak M.Ş., Canpolat E. Plant-Based Bioinsecticides for Mosquito Control: Impact on Insecticide Resistance and Disease Transmission // Insects. 2022. N 13. P. 162. <https://doi.org/10.3390/insects13020162>
96. Fanning P.D., Grieshop M.J., Isaacs R. Efficacy of biopesticides on spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura in fall red raspberries // Journal of Applied Entomology. 2017. V. 142. N 1-2. P. 26–32. <https://doi.org/10.1111/jen.12462>
97. Shahanaz M.R., Pathrose B., Chellappan M. A phagostimulant based bait composition for tobacco caterpillar *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) // Journal of Tropical Agriculture. 2019. V. 57. N 1. P. 54–58.
98. Piazzoni M., Negri A., Brambilla E., Giussani L., Pitton S., Caccia S., Lenardi C. Biodegradable floating hydrogel baits as larvicide delivery systems against mosquitoes // Soft Matter. 2022. V. 18. N 34. P. 6443–6452. <https://doi.org/10.1039/D2SM00889K>

REFERENCES

1. Azizbekyan R.R. Biological preparations for the protection of agricultural plants (Review). *Biotechnology*, 2018, vol. 34, no. 5, pp. 37–47. (In Russian). <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47>
2. Hernandez-Tenorio F., Miranda A.M., Rodríguez C.A., Giraldo-Estrada C., Sáez A.A. Potential Strategies in the Biopesticide Formulations: A Bibliometric Analysis. *Agronomy*, 2022, no. 12, p. 2665. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112665>
3. Mascarin G.M., Jackson M.A., Behle R.W., Kobori N.N., Júnior Í.D. Improved shelf life of dried *Beauveria bassiana* blastospores using convective drying and active packaging processes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2016, vol. 100, no. 19, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7597-2>
4. Maslienko L.V., Voronkova A.Kh. Elements of the laboratory regulations for the production of microbiological preparations in the preparative form "wettable powder" based on antagonist bacteria from the genus *Pseudomonas* during surface cultivation on a liquid nutrient medium. *Maslichnyye kul'tury*. [Oilseeds]. 2018, vol. 1, no. 173, pp. 87–93. (In Russian)
5. Mishra J., Dutta V., Arora N.K. Biopesticides in India: technology and sustainability linkages. *Biotechnology*, 2020, no. 10, p. 210. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02192-7>
6. Damalas C.A., Koutroubas S.D. Current Status and Recent Developments in Biopesticide Use. *Agriculture*, 2018, no. 8, p. 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010013>
7. Mesnage R., Bernay B., Seralini G. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. *Toxicology*, 2013, no. 313, pp. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.09.006>
8. Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Valéro J.R. Recent advances in downstream processing and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Process biochemistry*, 2006, vol. 41, no. 2, pp. 323–342.
9. Koul O. Biopesticides: commercial opportunities and challenges. In: *Development and Commercialization of Biopesticides; Costs and benefits*. Amsterdam: Elsevier Inc., AACC International, 2023, pp. 1–23.
10. Mesnage R., Antoniou M.N. Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides. *Frontiers in public health*, 2018, no. 5, p. 361. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00361>
11. Market and Markets. Agricultural Adjuvants Market by Type (Activator and Utility), Application (Herbicides, Fungicides, and Insecticides), Crop-Type (Cereals and Oilseeds and Fruits and Vegetables), and by Region. Global Trends and Forecast to 2021. 2016. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/adjuvant-market-1240.html> (accessed 17.07.2023)
12. Tijjani A., Bashir K. A., Mohammed I., Muhammad A., Gambo A., Musa H. Biopesticides for pests control: A review. *Journal of Biopesticides and Agriculture*. 2016, vol. 3, no. 1, pp. 6–13.
13. Khujanazarova M.K., Murodova S.S. Technology for obtaining a biological product based on rhizobacteria immobilized with Gipan flocculant. *Scientific review. Biological sciences*, 2022, no. 3, pp. 34–38. (In Russian). <https://doi.org/10.17513/srbs.1281>
14. Behle R., Birthisel T. Formulations of entomopathogens as bioinsecticides. In: *Mass production of beneficial organisms*. USA. Academic Press, 2023, pp. 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00010-5>
15. do Nascimento Silva J., Mascarin G.M., de Castro R.P.V., Castilho L.R., Freire D.M.G. Novel combination of a biosurfactant with entomopathogenic fungi enhances efficacy against *Bemisia whitefly*. *Pest management science*, 2019, vol. 75, no. 11, pp. 2882–2891. <https://doi.org/10.1002/ps.5458>
16. Sachdev S., Singh R.P. Current challenges, constraints and future strategies for development of successful market for biopesticides. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 129–136. <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2016.00014.4>
17. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. Microbiological protection of plants in technologies of phytosanitary optimization of agroecosystems: theory and practice (review). *Agricultural biology*, 2020. vol. 55, no. 3, pp. 421–438. (In Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.3.421rus>
18. Huff Hartz K.E., Edwards T.M., Lydy M.J. Fate and transport of furrow-applied granular tefluthrin and seed-coated clothianidin insecticides: comparison of field-scale observations and model estimates. *Ecotoxicology*, 2017, no. 26, pp. 876–888. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1818-z>
19. Bharti V., Ibrahim S. Biopesticides: Production, formulation and application systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 2020, vol. 9, no. pp. 3931–3946. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.453>
20. Preininger C., Sauer U., Bejarano A., Berninger T. Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. *Applied microbiology and biotechnology*, 2018, no. 102, pp. 7265–7282. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9173-4>
21. Rumbos C.I., Athanassiou C.G. Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities? *Journal of Pest Science*. 2017, no. 90, pp. 839–854. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0849-9>
22. de la Cruz Quiroz R., Cruz Maldonado J., Rostro Alanis M. Fungi-based biopesticides: shelf-life preservation technologies used in commercial products. *Journal of Pest Science*, 2019, no. 92, pp. 1003–1015. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01117-5>
23. Essiedu J.A., Adepoju F.O., Ivantsova M.N. Benefits and limitations in using biopesticides: A review. In *AIP Conference Proceedings*, 2020, no. 2313, article id: 080002.
24. Alamprese C., Cappa C., Ratti S., Limbo S., Signorelli M., Fessas D., Lucisano M. Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. *Food chemistry*. 2017, no. 230, pp. 532–539.
25. Keswani C., Sarma B.K., Singh H.B. Synthesis of policy support, quality control, and regulatory management of biopesticides in sustainable agriculture. In: *Agriculturally Important Microorganisms*. 2016. pp. 3–12. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2576-1_1
26. Zabot G.L., Schaefer Rodrigues F., Polano Ody L., Vinicius Tres M., Herrera E., Palacin H., Córdova-Ramos J.S., Best I., Olivera-Montenegro L. Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications. *Polymers*, 2022, no. 14, article id: 4194. <https://doi.org/10.3390/polym14194194>
27. Oliveira D.G.P., Lopes R.B., Rezende J.M., Delalibera Jr.I., Increased tolerance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* conidia to high temperature provided by oil-based formulations. *J. Invertebr Pathol*, 2018, no. 151, pp. 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.012>
28. Lei C.J., Halim N.A., Asib N., Zakaria A., Azmi W.A. Conidial Emulsion Formulation and Thermal Storability of *Metarhizium anisopliae* against Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Dryophthoridae). *Microorganisms*, 2022, no. 10, article id: 1460. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071460>
29. Teixidó N., Usall J., Torres R. Insight into a Successful Development of Biocontrol Agents: Production, Formulation, Packaging, and Shelf Life as Key Aspects. *Horticulturae*, 2022, no. 8, p. 305. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040305>
30. Fraceto L.F., Maruyama C.R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H.B., de Lima R. Trichoderma harzianum-based novel formulations: potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. *Journal of*

- Chemical Technology and Biotechnology*, 2018, vol. 93, no. 8, pp. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
31. Grijalba E.P., Espinel C., Cuartas P.E., Chaparro M.L., Villamizar L.F., *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions. *Fungal Biology*, 2018, vol. 122, no. 11, pp. 1069–1076. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.08.010>
32. Awan U.A., Xia S., Meng L., Raza M.F., Zhang Z., Zhang H. Isolation, characterization, culturing, and formulation of a new *Beauveria bassiana* fungus against *Diaphorina citri*. *Biological Control*, 2021, no. 158, article id: 104586. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104586>
33. Yaakov N., Ananth Mani K., Felfbaum R., Lahat M., Da Costa N., Belausov E., Ment D., Mechrez G. Single Cell Encapsulation via Pickering Emulsion for Biopesticide Applications. *ACS Omega*, 2018, no. 3, pp. 14294–14301. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02225>
34. Yaakov N., Kottakota C., Mani K.A., Naftali S.M., Zelinger E., Davidovitz M., Ment D., Mechrez G. Encapsulation of *Bacillus Thuringiensis* in an Inverse Pickering Emulsion for Pest Control Applications. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 2022, no. 213, article id: 112427. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112427>
35. Birnbaum N., Reingold V., Matveev S., Kottakota C., Davidovitz M., Mani K.A., Feldbaum R., Yaakov N., Mechrez G., Ment D. Not Only a Formulation: The Effects of Pickering Emulsion on the Entomopathogenic Action of *Metarhizium brunneum*. *Journal of Fungi*, 2021, vol. 7, no. 7, p. 499. <https://doi.org/10.3390/jof7070499>
36. Alves F.M., Bernardo C.C., Paixão F.R.S., Barreto L.P., Luz C., Humber R.A., Fernandes É.K.K. Heat-stressed *Metarhizium anisopliae*: Viability (*in vitro*) and virulence (*in vivo*) assessments against the tick *Rhipicephalus sanguineus*. *Parasitology Research*, 2017, no. 116, pp. 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5267-z>
37. Muniz E.R., Paixão F.R.S., Barreto L.P., Luz C., Arruda W., Angelo I.C., Fernandes É.K.K. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* conidia in oil-in-water emulsion against the tick *Rhipicephalus microplus* under heat and dry conditions. *BioControl*, 2020, no. 65, pp. 339–351.
38. Upadhyay H., Mirza A., Singh J. Impact of Biopesticides in Sustainable Agriculture. In: *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture. Microorganisms for Sustainability*. Singapore: Springer, 2020, pp. 281–296. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3208-5_11
39. Mejía C., Espinel C., Forero M., Ramos F.A., Brandão P.F.B., Villamizar L. Improving ecological fitness of *Beauveria bassiana* conidia to control the sugar cane borer *Diatraea saccharalis*. *Biocontrol Science and Technology*, 2020, vol. 30, no. 6, pp. 513–530. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1738343>
40. Nandhini M., Harish S., Aiyathan K.E.A., Durgadevi D., Beaulah A. Glycerol-based liquid formulation of the epiphytic yeast *Hanseniaspora guilliermondii* isolate YBB3 with multiple modes of action controls postharvest Aspergillus rot in grapes. *The Plant Pathology Journal*, 2021, no. 103, pp. 1253–1264. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00909-y>
41. Nerek E., Sokołowska B. *Pseudomonas* spp. in biological plant protection and growth promotion. *AIMS Environmental Science*, 2022, vol. 9, no. 4, pp. 493–504. <https://doi.org/10.3934/envirosci.2022029>
42. Saleh M.M.E., Metwally H.M.S., Aboanaem M. Commercialization of biopesticides based on entomopathogenic nematodes. In: *Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications: Practical Aspects to Deal Biologically with Pests and Stresses Facing Strategic Crops*. Singapore: Springer, 2020, pp. 253–275. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0_8
43. Hussaini S.S., Rajeshwari R., Rajeshwari R., Appanna V. Potential of Entomopathogenic Nematodes. *Biopesticides in Horticultural Crops*, 2021, no. 17, pp. 80–99.
44. Kotliarevski L., Cohen R., Ramakrishnan J., Wu S., Mani K.A. Amar-Feldbaum R. Mechrez G. Individual coating of entomopathogenic nematodes with titania (TiO₂) nanoparticles based on oil-in-water Pickering emulsion: A new formulation for biopesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, vol. 70, no. 42, pp. 13518–13527. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04424>
45. Panichikall J., Prathap G., Nair R.A., Krishnankutty R.E. Evaluation of plant probiotic performance of *Pseudomonas* sp. encapsulated in alginate supplemented with salicylic acid and zinc oxide nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, no. 166, pp. 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.110>
46. Leite L.G., Shapiro-Ilan D.I., Hazir S. Survival of *Steinernema feltiae* in different formulation substrates: Improved longevity in a mixture of gel and vermiculite. *Biological Control*, 2018, no. 126, pp. 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.05.013>
47. Pour M.M., Saberi-Riseh R., Mohammadinejad R., Hosseini A. Investigating the Formulation of Alginate-Gelatin Encapsulated *Pseudomonas Fluorescens* (VUPF5 and T17-4 Strains) for Controlling *Fusarium Solani* on Potato. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, no. 133, pp. 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.071>
48. Rodrigues J., Catão A.M.L., dos Santos A.S. Relative humidity impacts development and activity against *Aedes aegypti* adults by granular formulations of *Metarhizium humberti* microsclerotia. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2021, no. 105, pp. 2725–2736. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11157-6>
49. Maslienko L.V., Voronkova A.Kh. Elements of laboratory regulations for the production of microbiological preparations based on fungal producing strains in the preparative form "wetttable powder". Maslichnyye kul'tury [Oilseeds]. 2016, vol. 4, no. 168, pp. 100–107. (In Russian)
50. Acheampong M.A., Coombes C.A., Moore S.D., Hill M.P. Temperature tolerance and humidity requirements of select entomopathogenic fungal isolates for future use in citrus IPM programmes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2020, no. 174, article id: 107436. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107436>
51. Atanasova-Pancevska N., Kungulovski D. Isolation, characterization and formulation of antagonistic bacteria against fungal plant pathogens. *AGROFOR*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 80–89. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1803080A>
52. Albuquerque P.B.S., de Oliveira W.F., dos Santos Silva P.M., dos Santos Correia M.T., Kennedy J.F., Coelho L.C.B.B. Epiphanies of well-known and newly discovered macromolecular carbohydrates – A review. *International journal of biological macromolecules*, 2020, no. 156, pp. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.046>
53. Sahai P., Sinha V.B., Dutta R. Bioformulation and nanotechnology in pesticide and fertilizer delivery system for eco-friendly agriculture: a review. *Sci Agric*, 2019, no. 3, pp. 2–10. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0675>
54. Ndao A., Kumar L.R., Tyagi R.D., Valéro J. Biopesticide and formulation processes based on starch industrial wastewater fortified with soybean medium. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 115–126. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1668225>
55. Mahde B.Y., Fayyadh M.A., Al-Luaibi S.S. Evaluation of Biofungicide Formulation of *Trichoderma longibrachiatum* in Controlling of Tomato Seedling Damping-off Caused by *Rhizoctonia solani*. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 2019, vol. 32, no. 2, pp. 135–149. <https://doi.org/10.37077/25200860.2019.204>
56. Adusei-Fosu K., Rolando C.A., Richardson B. Evaluating the efficacy of potential fungicide-adjuvant combinations for control of myrtle rust in New Zealand. *Journal of Plant*

- Diseases and Protection*, 2021, vol. 128, no. 6, pp. 1501–1515. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00523-1>
57. Lin F., Mao Y., Zhao F., Idris A.L., Liu Q., Zou S., Guan X., Huang T. Towards Sustainable Green Adjuvants for Microbial Pesticides: Recent Progress, Upcoming Challenges, and Future Perspectives. *Microorganisms*, 2023, no. 11, p. 364. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020364>
58. Prince G., Chandler D. Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects*, 2020, vol. 11, no. 1, p. 55.
59. Berrie A., Xu X. Developing biopesticide-based programmes for managing powdery mildew in protected strawberries in the UK. *Crop Protection*, 2021, no. 149, article id: 105766. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105766>
60. Reiss A., Jørgensen L.N. Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade® ASO (*Bacillus subtilis* strain QST713). *Crop Protection*, 2017, no. 93, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.009>
61. Singh A., Dhiman N., Kar A.K., Singh D., Purohit M.P., Ghosh D., Patnaik S. Advances in controlled release pesticide formulations: Prospects to safer integrated pest management and sustainable agriculture. *Journal of hazardous materials*, 2020, no. 385, article id: 121525. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121525>
62. Maksimov I.V., Sorokan A.V., Shein M.Yu., Khairullin R.M. Biological methods of protecting plants from viruses: problems and prospects (review). *Applied Biochemistry and microbiology*, 2020, vol. 56, no. 6, pp. 536–550. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0555109920060100>
63. Marzban R., Babaei J., Kalantari M., Saberi, F. Preparation of wettable powder formulation of *Bacillus thuringiensis* KD2. *Journal of Applied Biological Sciences*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 285–293.
64. Zaman S., Rasul A., Khan A. G., Ali Q., Anwar T., Faisal M., Qasim M.U. Effect of abiotic factors on the efficacy of *Beauveria bassiana* and diatomaceous earth against *Rhyzopertha dominica* (F.): Efficacy of bio-pesticides against *R. dominica* under different abiotic factors. *Journal of Applied Biological Sciences*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 98–112. <https://jabsonline.org/index.php/jabs/article/view/830>
65. An C., Sun C., Li N. Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *Journal of Nanobiotechnology*, 2022, no. 20, p. 11. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7>
66. Olenin O.A., Zudilin S.N. Influence of innovative organic fertilizers and biological preparations on the yield of spring barley in the forest-steppe of the middle Volga region. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Proceedings of the Samara State Agricultural Academy]. 2021, no. 4, pp. 17–23. (In Russian)
67. Liu Q., Geng L., Liu C., Wang Q., Zhang J., Bai X., Shu C. Study on the Granular Carrier to Enhance the Control Effect of *Bacillus thuringiensis* and *Beauveria bassiana* on Grubs[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, vol. 37, no. 2, pp. 193–200. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.05.003>
68. Novinscak A., Filion M. Long term comparison of talc-and peat-based phytobeneficial *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas synxantha* bioformulations for promoting plant growth. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, no. 4, article id: 602911. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.602911>
69. Zhou X., Li H., Liu Y., Hao J., Liu H., Lu X. Improvement of stability of insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* against UV-irradiation by adsorption on sepiolite. *Adsorption Science and Technology*, 2018, vol. 36, no. 56, pp. 1233–1245. <https://doi.org/10.1177/0263617418759777>
70. Fomina M., Skorochod I. Microbial Interaction with Clay Minerals and Its Environmental and Biotechnological Implications. *Minerals*, 2020, no. 10, p. 861. <https://doi.org/10.3390/min10100861>
71. Vanhaelewyn L., Van Der Straeten D., De Coninck B. Vandebussche F. Ultraviolet Radiation From a Plant Perspective: The Plant-Microorganism Context. *Frontiers in Plant Science*, 2020, no. 11, article id: 597642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597642>
72. Enwemeka C.S., Baker T.L., Bumah V.V. The role of UV and blue light in photo-eradication of microorganisms. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 2021, no. 8, article id: 100064. <https://doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100064>
73. do Nascimento Jn. D.R., Taberner A., Cabral Albuquerque E.C.d.M., Vieira de Melo S.A.B. Biopesticide Encapsulation Using Supercritical CO₂: A Comprehensive Review and Potential Applications. *Molecules*, 2021, no. 26, article id: 4003. <https://doi.org/10.3390/molecules26134003>
74. Licona-Juárez K.C., Bezerra A.V.S., Oliveira I.T., Massingue C.D., Medina H.R., Rangel D.E. Congo red induces trans-priming to UV-B radiation in *Metarhizium robertsii*. *Fungal Biology*, 2023, no. 06, p. 21. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2023.06.005>
75. Saleh H., Abdelrazak A., Elsayed A. Optimizing production of a biopesticide protectant by black yeast. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2018, no. 28, p. 72. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0078-4>
76. Kalmath B., Bheemanna M., Prabburaj A. Evaluation of UV protectants for wettable powder formulation of native *Bacillus thuringiensis* (Berliner) isolate against *Helicoverpa armigera* (Hubner) in the Laboratory. *Journal of Biological Control*, 2018, vol. 32, no. 3, pp. 179–186. <https://doi.org/10.18311/jbc/2018/21661>
77. Akhanev Y., Pavlushin S., Polenogova O. The effect of mixtures of *Bacillus thuringiensis*-based insecticide and multiple nucleopolyhedrovirus of *Lymantria dispar* L. in combination with an optical brightener on *L. dispar* larvae. *BioControl*, 2022, no. 67, pp. 331–343. <https://doi.org/10.1007/s10526-022-10137-7>
78. Lee J.Y., Woo R.M., Woo S.D. Formulation of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* JN5R1W1 for the control of mosquito adults and evaluation of its novel applicability. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2023, vol. 26, no. 2, article id: 102056. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102056>
79. Awan U.A., Meng L., Xia S., Raza M.F., Zhang Z., Zhang H. Isolation, fermentation, and formulation of entomopathogenic fungi virulent against adults of *Diaphorina citri*. *Pest Management Science*, 2021, vol. 77, no. 9, pp. 4040–4053. <https://doi.org/10.1002/ps.6429>
80. Kaiser D., Bacher S., Mène-Saffrané L., Grabenweger G. Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation. *Pest management science*, 2019, vol. 75, no. 2, pp. 556–563. <https://doi.org/10.1002/ps.5209>
81. Feldbaum R.A., Yaakov N., Mani K.A., Yossef E., Metbeev S., Zelinger E., Mechrez G. Single cell encapsulation in a Pickering emulsion stabilized by TiO₂ nanoparticles provides protection against UV radiation for a biopesticide. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2021, no. 206, article id: 111958.
82. Jalali E., Maghsoudi S., Noroozian E. A novel method for biosynthesis of different polymorphs of TiO₂ nanoparticles as a protector for *Bacillus thuringiensis* from Ultra Violet. *Scientific Reports*, 2020, no. 10, p. 426. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57407-6>
83. Zhemchuzhina N.S., Fokin A.O., Elizarova S.A., Gorelov P.V. A new form of biological products - microcontainers made of polymeric biodegradable material. *Laboratoriya i proizvodstvo* [Laboratory and production]. 2018, vol. 1, no. 1, pp. 138–141. (In Russian)
84. Bueno M.R., da Cunha J.P.A.R., Santana D.G. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops.

- Biosyst Eng*, 2016, no. 154, pp. 35–45.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017>
85. Ndao A., Sellamuthu B., Gnepe J.R., Tyagi R.D., Valero J.R. Pilot-scale biopesticide production by *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki using starch industry wastewater as raw material. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2017, vol. 52, no. 9, pp. 623–630.
86. Chin J.M., Lim Y.Y., Ting A.S.Y. Biopriming *Pseudomonas fluorescens* to vegetable seeds with biopolymers to promote coating efficacy, seed germination and disease suppression. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 21, no. 8, pp. 493–505.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.02.002>
87. Peil S., Beckers S.J., Fischer J., Wurm F.R. Biodegradable, lignin-based encapsulation enables delivery of *Trichoderma reesei* with programmed enzymatic release against grapevine trunk diseases. *Materials Today Bio*, 2020, no. 7, article id: 100061. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2020.100061>
88. Abbey J.A., Percival D., Abbey L., Asiedu S.K., Prithiviraj B., Schilder A. Biofungicides as alternative to synthetic fungicide control of grey mould (*Botrytis cinerea*)—prospects and challenges. *Biocontrol science and technology*, 2019, vol. 29, no. 3, pp. 207–228.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1548574>
89. Chen H., Zhao S., Zhang K., Zhao J., Jiang J., Chen F., Fang W. Evaluation of Soil-Applied Chemical Fungicide and Biofungicide for Control of the Fusarium Wilt of Chrysanthemum and Their Effects on Rhizosphere Soil Microbiota. *Agriculture*, 2018, no. 8, p. 184.
<https://doi.org/10.3390/agriculture8120184>
90. Soyong K., Song J.J., Dinh M.T., Hoang H. Research investigation of natural products from microorganisms for sustainable agriculture in Vietnam: A short communication. *International Journal of Agricultural Technology*, 2020, vol. 16, no. 2, pp. 421–428.
91. Liu L., Zhao K., Cai L., Zhang Y., Fu Q., Huang S. Combination effects of tebuconazole with *Bacillus subtilis* to control rice false smut and the related synergistic mechanism. *Pest Management Science*, 2023, vol. 79, no.1, pp. 234–243.
<https://doi.org/10.1002/ps.7193>
92. Trejo-Raya A.B., Rodríguez-Romero V.M., Bautista-Baños S., Quiroz-Figueroa F.R., Villanueva-Arce R., Durán-Páramo E. Effective *In Vitro* Control of Two Phytopathogens of Agricultural Interest Using Cell-Free Extracts of *Pseudomonas fluorescens* and Chitosan. *Molecules*, 2021, no. 26, article id: 6359. <https://doi.org/10.3390/molecules26216359>
93. Kappel L., Kosa N., Gruber S. The multilateral efficacy of chitosan and *Trichoderma* on sugar beet. *Journal of Fungi*, 2022, vol. 8, no. 2, p. 137. <https://doi.org/10.3390/jof8020137>
94. Kolesnikov L.E., Popova E.V., Novikova I.I., Priyatkin N.S., Arkhipov M.V., Kolesnikova Yu.R., Potrakhov N.N., Van Duijn B., Gusarenko A.S. Joint use of strains of microorganisms and chitosan complexes to increase the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural biology*, 2019, vol. 54, no. 5, pp. 1024–1040. (In Russian).
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>
95. Şengül Demirak M.Ş., Canpolat E. Plant-Based Bioinsecticides for Mosquito Control: Impact on Insecticide Resistance and Disease Transmission. *Insects*, 2022, no. 13, p. 162. <https://doi.org/10.3390/insects13020162>
96. Fanning P.D., Grieshop M.J., Isaacs R. Efficacy of biopesticides on spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura in fall red raspberries. *Journal of Applied Entomology*, 2017, vol. 142, no. 1-2, pp. 26–32.
<https://doi.org/10.1111/jen.12462>
97. Shahanaz M. R., Pathrose B., Chellappan M. A phagostimulant based bait composition for tobacco caterpillar *Spodoptera Litura* (Fabricius)(Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Tropical Agriculture*, 2019, vol. 57, no. 1, pp. 54–58.
98. Piazzoni M., Negri A., Brambilla E., Giussani L., Pitton S., Caccia S., Lenardi C. Biodegradable floating hydrogel baits as larvicide delivery systems against mosquitoes. *Soft Matter*, 2022, vol. 18, no. 34, pp. 6443–6452.
<https://doi.org/10.1039/D2SM00889K>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Анна И. Хомяк разработала концепцию статьи, собрала материал и подготовила статью. Анжела М. Асатунова руководила процессом подготовки статьи, проверяла данные. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna I. Homyak developed the concept of the article, collected materials and prepared the article. Anzhela M. Asaturova managed the preparation of the article and data verification. Both 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

Анна И. Хомяк / Anna I. Homyak <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Анжела М. Асатунова / Anzhela M. Asaturova <https://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.46, 574.52

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-9



Оценка численности бактерио-, пикофито- и нанофитопланктона Среднего Каспия методами проточной цитометрии

Владимир С. Муханов¹, Татьяна В. Рауэн¹, Сергей В. Востоков², Анастасия С. Востокова², Евгений Н. Лобачев³

¹Институт биологии южных морей РАН, Севастополь, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

³Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Сергей В. Востоков, к.б.н., ст. научный

сотрудник, Институт океанологии

им. П.П. Ширшова РАН; 117997 Россия,

г. Москва, Нахимовский проспект, 36.

Тел. +79096236875

Email vostokov_s@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>

Формат цитирования

Муханов В.С., Рауэн Т.В., Востоков С.В., Востокова А.С., Лобачев Е.Н. Оценка численности бактерио-, пикофито- и нанофитопланктона Среднего Каспия методами проточной цитометрии // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 97-109. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-9

Получена 27 мая 2024 г.

Прошла рецензирование 23 июля 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

Цель: впервые методом проточной цитометрии изучить в Среднем Каспии структуру и функциональные характеристики бактерио-, пико- и нанофитопланктона в период цветения в начале сентября 2022 г.

Для количественной оценки гетеротрофного бактериопланктона, пикофито- и нанофитопланктона пробы воды отбирали на разных горизонтах (от поверхности до придонного слоя) на серии станций у западного побережья Каспийского моря на границе между его северной и центральной частями. Съёмку проводили в начале сентября 2022 г. в условиях гидрологического лета, при температуре на поверхности воды от 24,7°C до 26,7°C. Анализ проб проводили с помощью проточной цитометрии.

У северо-западного побережья Среднего Каспия были выявлены экстремально высокие концентрации пикофитопланктона (до $1,8 \times 10^5$ кл/мл), представленного, вероятно, пикоцианобактериями *Synechococcus*. Обнаружены также очень высокие значения обилия нанофитопланктона (до $1,6 \times 10^5$ кл/мл), в составе которого доминировали мелкие жгутиковые. Показано четкое пространственное разобщение пико- и нанофитопланктона. Максимумы нанофитопланктона были приурочены к зоне интенсивного цветения с высокими концентрациями хлорофилла *a*, тогда как пикофитопланктон достигал пиков обилия южнее, за пределами этой зоны. Обнаружено влияние термоклина на вертикальную структуру микробных сообществ. Под термоклином резко снижались концентрации пикофитопланктона и доля физиологически активных HNA-бактерий.

Полученные результаты свидетельствуют о ведущей роли мельчайших фототрофов в пелагиали Каспия и подчеркивают необходимость дальнейших комплексных исследований микробных сообществ Каспия современными методами.

Ключевые слова

Фитопланктон, пикофитопланктон, нанофитопланктон, *Synechococcus*, проточная цитометрия, Средний Каспий.

Estimation of bacterio-, picophyto- and nanophytoplankton abundance in the Middle Caspian Sea by flow cytometry

Vladimir S. Mukhanov¹, Tatiana V. Rauen¹, Sergey V. Vostokov², Anastasia S. Vostokova²
and Evgeny N. Lobachev³

¹A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

²P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Caspian Institute of Biological Resources, Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Sergey V. Vostokov, Senior Scientist, Department of Biology, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; 36 Nakhimovsky Prospekt, Moscow, Russia 117997.

Tel. +79096236875

Email vostokov_s@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>

How to cite this article

Mukhanov V.S., Rauen T.V., Vostokov S.V., Vostokova A.S., Lobachev E.N. Estimation of bacterio-, picophyto- and nanophytoplankton abundance in the Middle Caspian Sea by flow cytometry. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):97-109. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-9

Received 27 May 2024

Revised 23 July 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

Aim. For the first time, flow cytometry has been used to study the structure and functional characteristics of bacterio-, pico- and nanophytoplankton in the Middle Caspian during the bloom period in early September 2022.

Water samples were taken at different horizons (from the surface to the bottom layer) at a series of stations along the western coast of the Caspian Sea on the border between its northern and central parts to quantitatively assess heterotrophic bacterioplankton, picophyto- and nanophytoplankton. Sampling was undertaken in early September 2022 under summer hydrological conditions with water surface temperatures ranging from 24.7°C to 26.7°C. Sample analysis was performed using flow cytometry.

Extremely high concentrations of picophytoplankton (up to 1.8×10^5 cells/mL), probably of *Synechococcus picocyanobacteria*, were detected off the northwestern coast of the Middle Caspian. Very high values of nanophytoplankton abundance (up to 1.6×10^5 cells/mL), dominated by small flagellates, were also found. A clear spatial uncoupling of pico- and nanophytoplankton was revealed. Maximum levels of nanophytoplankton were confined to the area of intensive phytoplankton blooming with high concentrations of chlorophyll *a*, while picophytoplankton reached peak abundance further south, outside this area. The influence of the thermocline on the vertical structure of microbial communities was detected. The concentrations of picophytoplankton and the proportion of physiologically active HNA-bacteria decreased sharply under the thermocline.

The results obtained indicate the leading role of the smallest phototrophs in the Caspian pelagial and emphasise the need for further comprehensive studies of Caspian microbial communities using modern methods.

Key Words

Phytoplankton, picophytoplankton, nanophytoplankton, *Synechococcus*, flow cytometry, Middle Caspian.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море – уникальный, высокопродуктивный бассейн с богатейшими биологическими ресурсами. Его меридиональное расположение, особенности батиметрии и влияния речного стока создают большое разнообразие гидролого-гидрохимических факторов, оказывающих влияние на сезонную и многолетнюю динамику планктонных сообществ Каспия [1–3]. Экосистемы Каспийского моря претерпевают серьёзные изменения, особенно в последние десятилетия, отмеченные непрерывным нарастанием антропогенного воздействия, связанного как с расширением добычи углеводородных ресурсов и прогрессирующей эвтрофикацией [1–5] так и биоинвазиями [6–17]. Роль этих факторов в трансформации региональных экосистем особенно хорошо проявляется в Северном Каспии и западной части Среднего Каспия [14–16], где и проводилось данное исследование.

Хотя фитопланктон Каспия изучается с середины прошлого века, выявлены и описаны его доминирующие виды, определён уровень продуктивности, исследована роль инвазивных видов и потенциально токсичных водорослей [17–27], сообщество фитопланктона всё ещё можно отнести к наименее изученным компонентам экосистем Каспия. Особенно это касается мельчайших фракций планктонных организмов. Так, пикофитопланктон (размером 0,2–2 мкм) практически не исследовался в Каспийском море, за исключением нескольких упоминаний [28]. Данные по нанофитопланктону (2–20 мкм) также носят фрагментарный характер, хотя

отмечается его существенный вклад в общую численность фитопланктона в отдельные периоды [28].

Все упомянутые выше исследования были выполнены с помощью классических методов количественного учёта микроорганизмов – микроскопии. В настоящей работе была предпринята первая попытка применения более современного подхода – проточной цитометрии, что, с одной стороны, позволило получить принципиально новые данные, но, вместе с тем, усложнило их сравнение с более ранними исследованиями. Таким образом, в рамках данной работы предполагалось получить методами проточной цитометрии новые сведения о бактерио-, пикофито- и нанофитопланктоне западной части Среднего Каспия в начале осени, когда наблюдается активное развитие фитопланктонного сообщества. Район съёмки был выбран таким образом, чтобы провести сравнение планктонных сообществ в зоне высоких концентраций хлорофилла, *a* (по спутниковым данным) и сопредельных водах с низким обилием фитопланктона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район и методы отбора проб. Для количественной оценки гетеротрофного бактериопланктона, пикофито- и нанофитопланктона пробы воды отбирали на разных горизонтах (от поверхности до придонного слоя) на серии станций у западного побережья Каспийского моря на границе между его северной и центральной частями (рис. 1). Съёмку проводили в начале сентября 2022 г. в условиях гидрологического лета, при температуре на поверхности воды от 24,7 °С до 26,7 °С.

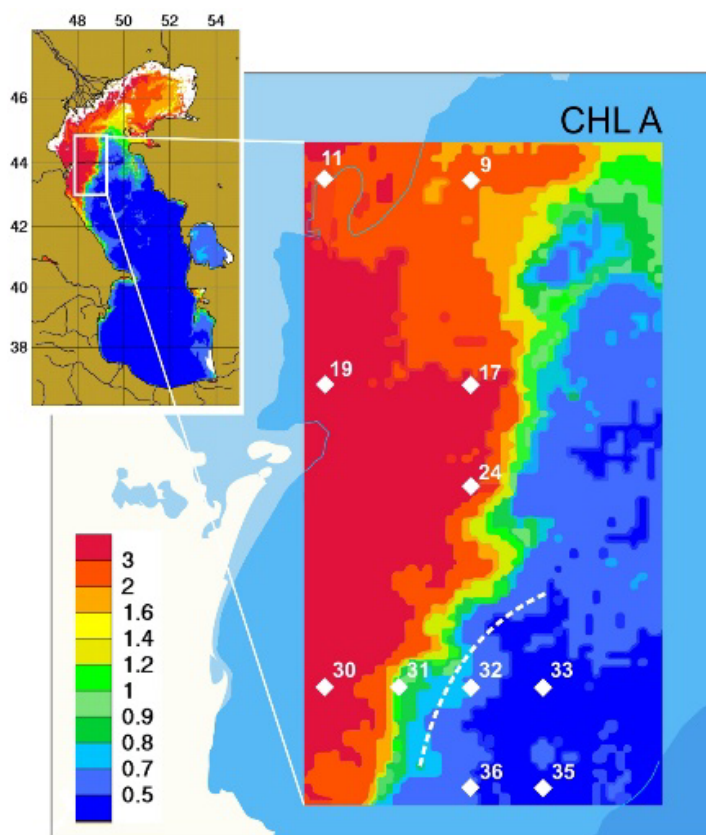


Рисунок 1. Расположение станций отбора проб в районе исследований и пространственное распределение концентрации хлорофилла *a* (CHL A, мг/м³) в поверхностном слое вод Каспийского моря в сентябре 2022 г.

Прерывистая линия – южная граница зоны цветения фитопланктона

Figure 1. Location of sampling stations in the study area and spatial distribution of chlorophyll *a* concentration (CHL A, mg/m³) in the surface layer of the Caspian Sea waters in September 2022.

The dashed line is the southern boundary of the phytoplankton bloom

Пробы разливали в 5-мл криопробирки, немедленно замораживали в жидком азоте и хранили до их анализа, который проводили на берегу в условиях стационарной лаборатории после окончания экспедиции.

Характеристика района исследований. Зона экстремально высоких концентраций хлорофилла *a* (2–8 мг/м³) формируется на северо-западе моря в течение всего года. От лета к осени она расширяется на юг по всему периметру зоны речного влияния, а также распространяется в южном направлении вдоль западного побережья Каспия, где и располагался полигон исследований. Возрастание концентраций происходит синхронно с ростом температуры, а летний пик развития фитопланктона формируется в период наибольшего прогрева поверхностного слоя и обусловлен, по-видимому, поступлением с речными водами органического вещества и биогенных элементов. Южная часть полигона исследований расположена в Среднем Каспии, воды которого вовлечены в циркуляцию Дербентского циклонического круговорота. Это наименее продуктивный район моря с содержанием хлорофилла в пределах 0.25–1.0 мг/м³. Его пиковые концентрации наблюдают в сентябре-октябре в период ослабления инсоляции и начала активного ветрового перемешивания [3].

Проточная цитометрия. Цитометрический анализ проб проводили в условиях стационарной лаборатории с помощью проточного цитометра Cytomics™ FC 500 (Beckman Coulter, США), оборудованного 488-нм однофазным аргонным лазером и программного обеспечения СХР. Обработку цитометрических данных вели с помощью программного обеспечения Flowing Software v. 2.5.0 (Perttu Terho, Turku Centre for Biotechnology, University of Turku, Finland, www.floowingsoftware.com).

Общую численность пико- и нанопланктона определяли в неокрашенных пробах с помощью

гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (канал FS) и автофлуоресценции в красной (FL4, 675 нм) и оранжевой (FL2, 575 нм) областях спектра на безразмерных логарифмических шкалах (рис. 2). Идентификацию кластеров фикоэритрин-содержащего пикофитопланктона (PPE⁺) и нанопланктона (NPE⁺) в пространстве цитометрических переменных проводили по размерам клеток (канал FS) и оранжевой флуоресценции (канал FL2) фикоэритрина (PE) в соответствии с [30]. Эти группы образуют характерные кластеры на цитограммах, которые характеризуются высоким содержанием фикоэритрина (рис. 2 (б) и (в)). Величины сигналов FL4 и FL2, измеряемые для индивидуальных клеток, служили мерой внутриклеточного содержания пигментов – соответственно, хлорофилла *a* и фикоэритрина. Настройки прибора (усиление и вольтаж каналов измерения) и конфигурация гейтов на цитограммах соответствовали тем, что применялись в исследованиях черноморского пико- и нанопланктона [30–32].

Численность бактерий определяли в пробах, окрашенных SYBR Green I (Molecular Probes, США), с помощью гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (FS) и флуоресценции SYBR Green I в зелёной области спектра (канал FL1, 525 нм) на безразмерных логарифмических шкалах [33]. Окраску бактерий SYBR Green I проводили в соответствии с [29]. Это флуорохром повышенной яркости с максимумами возбуждения и эмиссии, соответственно, 497 и 521 нм. Он обладает высоким сродством к двухцепочечной ДНК, но способен также связываться с РНК и одноцепочечной ДНК. Рабочий раствор красителя SYBR Green I готовили в разбавлении 10⁻² и хранили в замороженном состоянии при –20 °С. Конечное разбавление в пробе составляло 10⁻⁴. Окраску проводили в темноте в течение 30 мин непосредственно перед цитометрическими измерениями.

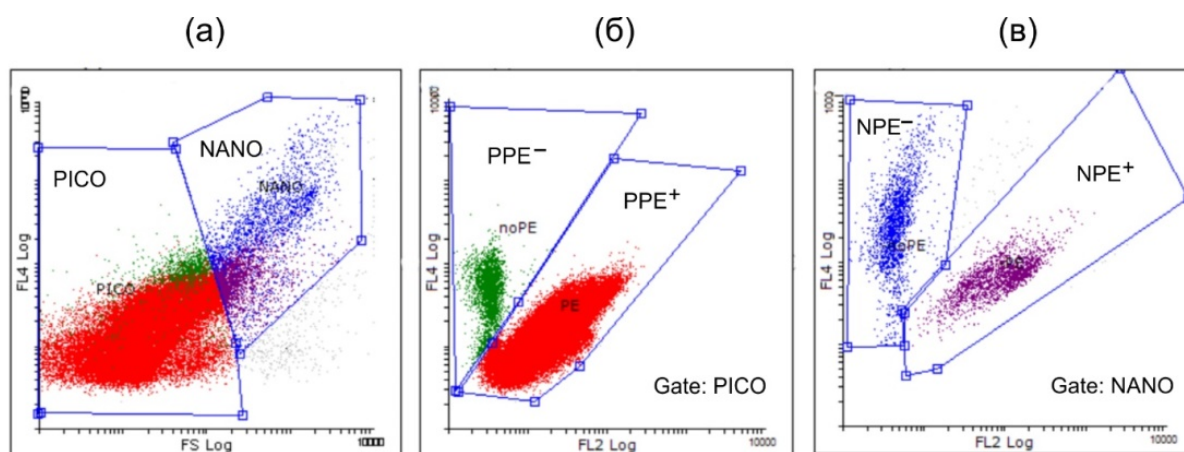


Рисунок 2. Идентификация полученных с помощью проточной цитометрии кластеров фитопланктона Каспийского моря: пикофито- (PICO) и нанопланктона (NANO) в пространстве переменных прямого светорассеивания (FS) и красной флуоресценции (FL4) хлорофилла (а); содержащего (PPE⁺) и не содержащего (PPE⁻) фикоэритрин (FL2) пикофитопланктона (б); содержащего (NPE⁺) и не содержащего (NPE⁻) фикоэритрин нанопланктона (в)

Figure 2. Identification of the phytoplankton clusters of the Caspian Sea obtained using flow cytometry: picophyto- (PICO) and nanophytoplankton (NANO) in the space of phycoerythrin-containing (NPE⁺) and phycoerythrin-free (NPE⁻) nanophytoplankton (c), variables of forward light scattering (FS) and red fluorescence (FL4) of chlorophyll (a); phycoerythrin-containing (PPE⁺) and phycoerythrin-free (PPE⁻) (FL2) picophytoplankton (b)

Внутриклеточное содержание нуклеиновых кислот в бактериальных клетках, измеряемое с помощью проточного цитометра (канал FL1), служило показателем их физиологической активности. Бактерии с высоким содержанием нуклеиновых кислот (HNA-бактерии) представляют собой физиологически активные клетки, в отличие от LNA – бактерий с их низким содержанием [35; 36]. HNA-бактерии идентифицировали по высокой интенсивности флуоресценции в зеленой части спектра (канал FL1, 525 нм) после их окраски SYBR Green I.

Концентрацию клеток бактерио- и фитопланктона рассчитывали по скорости протока пробы (соответственно, 15 и 60 мкл мин⁻¹), времени счёта (60–480 сек.) и количеству клеток, зарегистрированных в этот промежуток времени (в пробах пикофитопланктона – минимум 3000 кл.). Контроль качества измерений проводили с помощью калибровочных флуоросфер Flow-Check™ (Beckman Coulter) с известной концентрацией в пробе.

Калибровку цитометрических измерений размеров клеток по каналу FS проводили с помощью разноразмерных (0.2–10 мкм) флуоресцентных микросфер (Beckman Coulter, Molecular Probes, США). Размеры клеток (L, мкм) рассчитывали на основе данных канала FS как величину «диаметра эквивалентной сферы» (ESD), объём которой равен объёму клетки независимо от её морфологии.

Таким образом, с помощью проточной цитометрии было исследовано 20 переменных, которые характеризовали структуру и функциональные показатели бактерио- и мелкого фитопланктона.

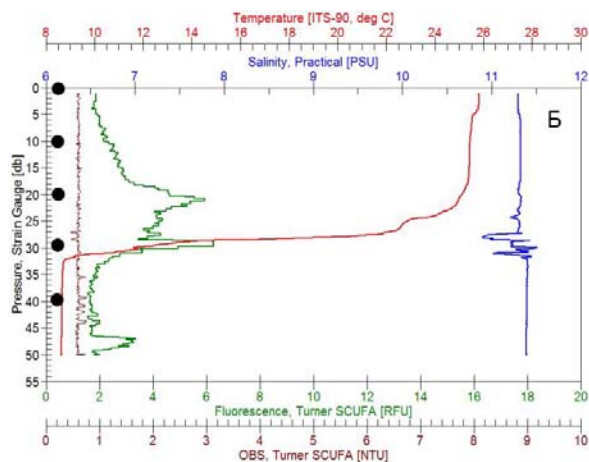
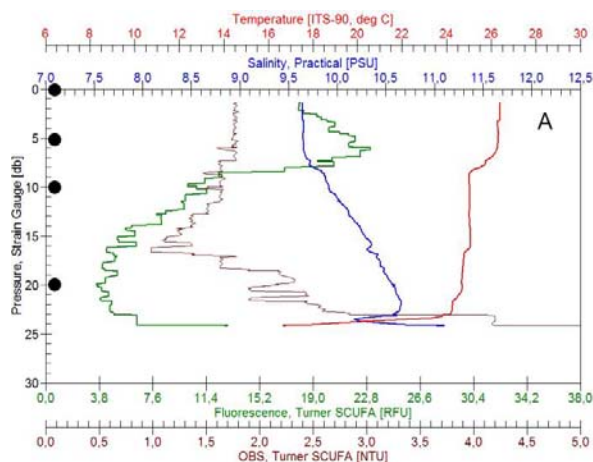


Рисунок 3. Типичные вертикальные профили температуры, солёности и флуоресценции на станции 30 в зоне максимума хлорофилла *a* (А) и на станции 33 за её пределами (Б)

Чёрными кружками отмечены горизонты отбора проб

Figure 3. Typical vertical profiles of temperature, salinity and fluorescence at station 30 in the chlorophyll *a* maximum zone (A) and at station 33 beyond (B)

Black circles indicate sampling layers

На ст. 33, расположенной за пределами зоны цветения фитопланктона (рис. 3Б), толщина ВКС была больше, хорошо выраженный термоклин залегал на глубине около 30 м. Температура под термоклином падала до 9°C. Концентрация хлорофилла здесь была существенно ниже, максимумы флуоресценции (до 6 отн. ед.) располагались непосредственно над термоклином. Под термоклином на глубине около 47 м был зарегистрирован ещё один небольшой пик флуоресценции, но его происхождение не было выяснено, поскольку отбор проб на этом горизонте не производили. Таким

образом, были выявлены существенные отличия в гидрологии и вертикальной структуре сообщества фитопланктона между зоной цветения и окружающими водами.

Спутниковые данные. Для расчета концентраций хлорофилла, *a* в поверхностном слое Каспийского моря в период исследований использовали данные сканера цвета MODIS-Aqua второго уровня [37] (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) и региональный алгоритм, разработанный в ИО РАН [38].

Статистический анализ. Многомерный статистический анализ (NMDS – непараметрическое многомерное шкалирование) микробиологических данных, полученных в разных районах исследования, проводили с помощью программы PAST version 3.16 [39] и индекса Брея–Кертиса в качестве метрики, построение графиков – в программе Grapher 8 (Golden Software, Inc.).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 представлены типичные вертикальные профили температуры, солёности и флуоресценции хлорофилла на двух станциях – в зоне цветения (ст. 30) и за её пределами (ст. 33). На ст. 30 (рис. 3А) Верхний квазиоднородный слой (ВКС) распространялся до глубины около 24 м, его температура составляла 24–26 °С. Термоклин располагался у самого дна. Профиль солёности показал слабую стратификацию, её величина плавно возрастала от 9,5 до 10,5 ‰. Максимум флуоресценции (24 отн. ед.) был зарегистрирован у самой поверхности на глубине 5–7 м. Ниже 10 м наблюдали резкое снижение флуоресценции, что указывало на локализацию основной биомассы фитопланктона в относительно тонком (около 10 м) подповерхностном слое в верхней части ВКС.

Описательная статистика исследованных переменных, характеризующих структуру и функциональные показатели бактерио- и мелкого фитопланктона, приведена в табл. 1. Численности пикофитопланктона (PICO *N*) в исследованном районе Каспийского моря достигали исключительно высоких значений – до 1.8×10^5 кл/мл, и составляли, в среднем,

$6.7 \pm 4.6 \times 10^4$ кл/мл (здесь и далее указаны значения станд. откл.) (табл. 1). При этом, биомассы пикофитопланктона не превышали 0.35 мг сыр.в./л из-за малых размеров клеток, и составляли 0.21 ± 0.09 мг сыр. в./л

(табл. 1). Биомасса нанофитопланктона была на два порядка выше (19.8 ± 28.5 мг сыр. в./л) и достигала почти 96 мг сыр. в./л (табл. 1).

Таблица 1. Обозначения, единицы измерения и статистики исследуемых переменных

Table 1. Designations, units and statistics of the variables studied

Переменная / Variable		Min	Max	$m \pm SD$
PPE ⁺ N	Численность PE ⁺ -пикофитопланктона, 10 ³ кл/мл Abundance of PE ⁺ -picophytoplankton, 10 ³ cells/ml	7.2	166.6	53.3 ± 46.5
PPE ⁺ S	Размеры клеток PE ⁺ -пикофитопланктона, мкм Cell size of PE ⁺ -picophytoplankton, μm	1.5	2.1	1.8 ± 0.2
PPE ⁺ B	Биомасса PE ⁺ -пикофитопланктона, мг/л Biomass of PE ⁺ -picophytoplankton, mg/l	0.03	0.30	0.15 ± 0.09
PPE ⁻ N	Численность PE ⁻ -пикофитопланктона, 10 ³ кл/мл Abundance of PE ⁻ -picophytoplankton, 10 ³ cells/ml	0.3	40.1	13.6 ± 10.9
PPE ⁻ S	Размеры клеток PE ⁻ -пикофитопланктона, мкм Cell size of PE ⁻ -picophytoplankton, μm	1.7	2.2	2.0 ± 0.2
PPE ⁻ B	Биомасса PE ⁻ -пикофитопланктона, мг/л Biomass of PE ⁻ -picophytoplankton, mg/l	0.001	0.21	0.06 ± 0.06
NPE ⁺ N	Численность PE ⁺ -нанофитопланктона, 10 ³ кл/мл Abundance of PE ⁺ -nanophytoplankton, 10 ³ cells/ml	0.8	18.7	8.9 ± 5.2
NPE ⁺ S	Размеры клеток PE ⁺ -нанофитопланктона, мкм Cell size of PE ⁺ -nanophytoplankton, μm	3.8	8.0	5.7 ± 1.3
NPE ⁺ B	Биомасса PE ⁺ -нанофитопланктона, мг/л Biomass of PE ⁺ -nanophytoplankton, mg/l	0.13	3.32	0.95 ± 0.91
NPE ⁻ N	Численность PE ⁻ -нанофитопланктона, 10 ³ кл/мл Abundance of PE ⁻ -nanophytoplankton, 10 ³ cells/ml	0.5	148.6	42.6 ± 44.4
NPE ⁻ S	Размеры клеток PE ⁻ -нанофитопланктона, мкм Cell size of PE ⁻ -nanophytoplankton, μm	4.2	12.8	8.2 ± 2.6
NPE ⁻ B	Биомасса PE ⁻ -нанофитопланктона, мг/л Biomass of PE ⁻ -nanophytoplankton, mg/l	0.09	92.60	18.85 ± 27.60
PICO N	Общая численность пикофитопланктона, 10 ³ кл/мл Total abundance of picophytoplankton, 10 ³ cells/ml	19.7	184.5	66.9 ± 46.3
NANON	Общая численность нанофитопланктона, 10 ³ кл/мл Total abundance of nanophytoplankton, 10 ³ cells/ml	1.3	160.6	51.5 ± 47.0
PICO B	Общая биомасса пикофитопланктона, мг/л Total biomass of picophytoplankton, mg/l	0.04	0.35	0.21 ± 0.09
NANO B	Общая биомасса нанофитопланктона, мг/л Total biomass of nanophytoplankton, mg/l	0.21	95.91	19.80 ± 28.50
BAC N	Общая численность бактериопланктона, 10 ⁶ кл/мл Total abundance of bacterioplankton, 10 ⁶ cells/ml	1.0	7.6	3.5 ± 2.0
BAC V	Объемы клеток бактерий, мкм ³ Cell volume of bacteria, μm ³	0.23	0.53	0.35 ± 0.08
BAC B	Общая биомасса бактериопланктона, мг/л Total biomass of bacterioplankton, mg/l	0.22	2.48	1.25 ± 0.72
HNA%	Доля HNA-бактерий, % Proportion of HNA-bacteria, %	41	87	73 ± 12

Характер пространственного распределения количественных показателей пико- и нанофитопланктона в поверхностном слое исследованного полигона сильно отличался (рис. 4). Максимумы обилия и биомассы нанофитопланктона наблюдали в его северной части – в пределах зоны цветения фитопланктона и высоких концентраций хлорофилла. Наоборот, пикофитопланктон достигал максимального обилия на юге, преимущественно, за пределами зоны цветения (рис. 4). В целом, характер распределения биомассы обеих групп был схожим, а отличия между биомассой и численностью микроорганизмов, были обусловлены вариабельностью их средних размеров, которые составляли, соответственно, 1.5–2.2 мкм и 3.8–12.8 мкм у пикофито- и нанофитопланктона. По этой причине,

максимумы численности (ст. 11) и биомассы (ст. 17) нанофитопланктона не совпадали в пространстве (рис. 4).

В сообществе пикофитопланктона количественно преобладали формы, содержащие фикоэритрин (PPE⁺). Существенно менее многочисленный пикофитопланктон, не содержащий фикоэритрина (PPE⁻), отличался по своему пространственному распределению – его максимумы располагались на севере полигона (ст. 11) в зоне цветения фитопланктона, где он количественно превосходил PPE⁺. Обратную картину наблюдали в нанофитопланктоне – количественное преобладание NPE⁻ над NPE⁺. Первые преобладали на севере полигона (ст. 11), вторые – на юге (ст. 30), но в пределах зоны цветения.

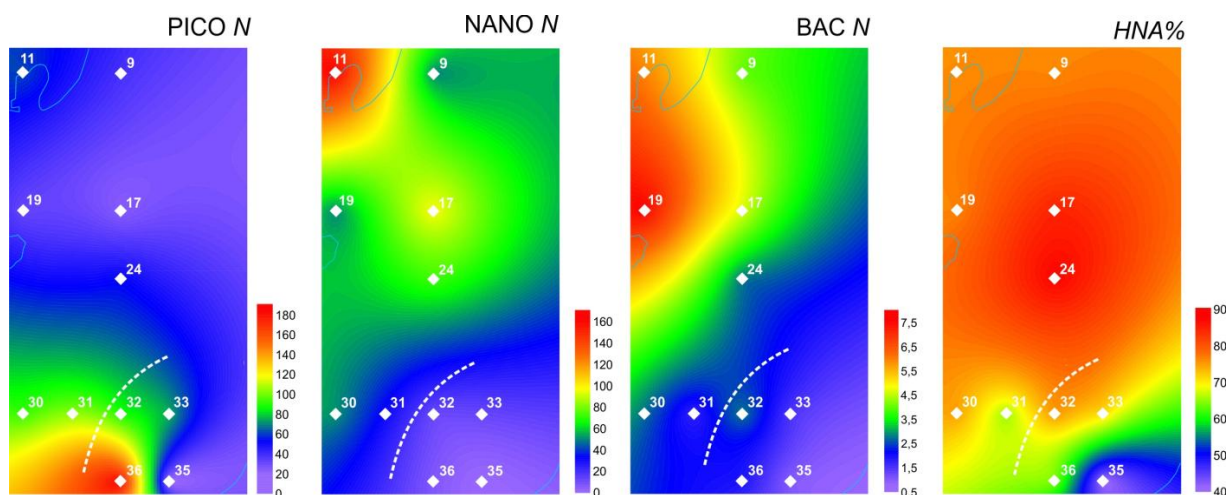


Рисунок 4. Пространственное распределение общей численности пикофитопланктона (PICO N), нанофитопланктона (NANO N), бактериопланктона (BAC N) и доли HNA-бактерий (HNA%) на полигоне в Каспийском море в сентябре 2022 г. Единицы измерения представлены в табл. 1. Показано расположение станций отбора проб. Прерывистая линия – южная граница зоны цветения фитопланктона в поверхностном слое

Figure 4. Spatial distribution of the total abundances of picophytoplankton (PICO N), nanophytoplankton (NANO N), bacterioplankton (BAC N) and the proportion of HNA-bacteria (HNA%) at the study area in the Caspian Sea in September 2022. Units are presented in Table 1. The location of sampling stations is shown. The dashed line marks the southern boundary of the phytoplankton bloom.

Осенние численности и биомассы бактериопланктона западного Каспия составляли, соответственно, $3.5 \pm 2.0 \times 10^6$ кл/мл и 1.25 ± 0.72 мг/л и в некоторых районах достигали очень высоких значений: 7.6×10^6 кл/мл (ст. 19) и 2.48 мг/л (ст. 17) (табл. 1). Доля физиологически активных бактериальных клеток была высока, $73 \pm 12\%$, на ст. 24 она составляла почти 90 % (рис. 4). Массовое развитие бактериопланктона наблюдали, преимущественно, в зоне цветения фитопланктона и максимумов концентрации хлорофилла, что было вполне объяснимо большим количеством РОВ, поступающим в воды во время цветения (рис. 4).

Пространственное деление полигона исследований на две чётко очерченные акватории – зону интенсивного цветения фитопланктона (ст. 9–30) и сопредельную акваторию (ст. 32–36), позволяло более детально исследовать факторы, контролирующие развитие микробных сообществ поверхностного слоя Каспия в осенний период. Для этого мы сравнивали переменные, полученные в каждой из зон (рис. 5). Статистически достоверные отличия были ожидаемо выявлены для основных количественных (BAC N, BAC B) и функциональных (HNA%) показателей бактериопланктона, хотя размеры бактериальных клеток менялись незначительно. Районы также достоверно отличались по количественным показателям нанофитопланктона (NPE⁺ B, NPE⁻ N, NPE⁻ B, NANO B), однако результаты сравнения по пикофитопланктону оказались не столь очевидными. В частности, выяснилось, что зона цветения достоверно отличалась только лишь более высокими значениями среднего размера клеток PE-содержащего пикофитопланктона и биомасс PPE⁻ (рис. 5).

Характер вертикального распределения микробиологических переменных зависел, в первую очередь, от глубины места и расположения термоклина. В зоне цветения фитопланктона глубины были небольшие, до 25 м, термоклин залегал у самого дна и, таким образом, не оказывал влияния на

вертикальную структуру микробного сообщества (рис. 6). Южнее, за пределами высоких концентраций хлорофилла *a*, глубины увеличивались, термоклин заглублялся почти до 30 м. Под термоклином наблюдали значительное снижение численности и биомассы пикофитопланктона, а также доли физиологически-активных HNA-бактерий (рис. 6).

В нашем исследовании проточная цитометрия была впервые применена для количественной оценки бактериопланктона и мельчайшего (пико- и нано-) фитопланктона Каспийского моря. Этот современный метод всё шире используется в исследованиях водных экосистем [30–32; 40; 41], что обусловлено рядом его преимуществ перед традиционной микроскопией. В соответствии с результатами методических исследований, проточная цитометрия более точна и эффективна при оценке численности планктонных организмов в диапазонах размеров до 50 мкм [42], включая пикофитопланктон [43], однако с увеличением размеров объектов (например, при работе с нанофитопланктоном) расхождения в результатах становятся менее заметными [43]. Тем не менее, мы столкнулись с трудностями в интерпретации полученных нами цитометрических данных. В отличие от черноморских проб, в которых субкластеры пико- и нанопланктона хорошо различались, более многочисленный мельчайший фитопланктон Каспия был представлен на цитограммах единым кластером (рис. 2а), а его классификация на пико- и нанофракции была, скорее, формальной. Это хорошо заметно и по расположению кластеров содержащих и не содержащих фикоэритрин клеток в каждой из размерных фракций (рис. 2б и 2в). Микроскопическое исследование выявило высокие концентрации в каспийских пробах мельчайших (2–8 мкм) жгутиковых. Их присутствие объясняло выровненность размерного спектра фитопланктона и трудности в дифференциации кластеров пико- и нанофитопланктона на цитограммах.

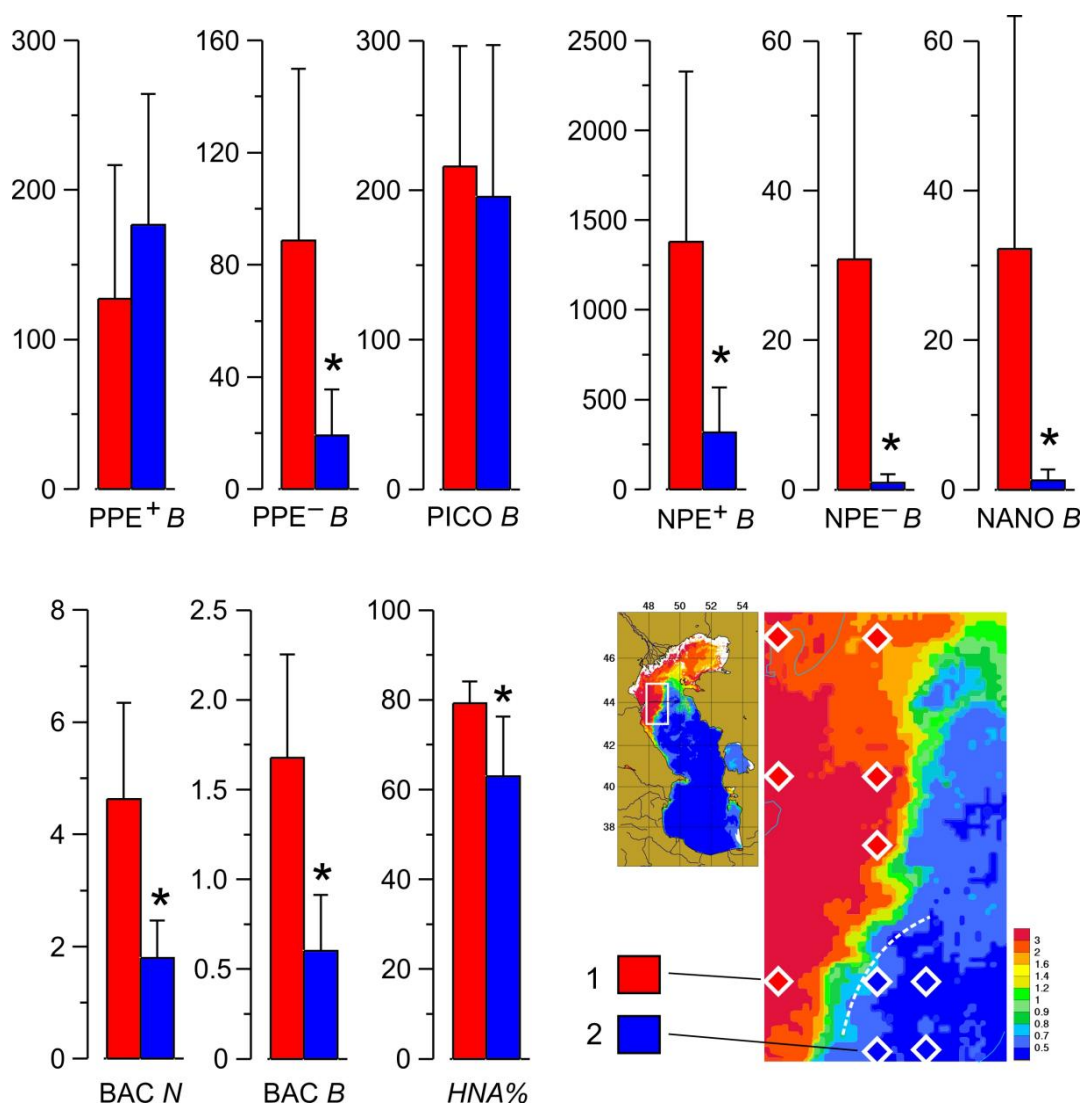


Рисунок 5. Сравнение исследованных переменных в зоне цветения фитопланктона (■) и за её пределами (■) в северо-западной части Каспийского моря в сентябре 2022 г. Обозначения и единицы измерения переменных представлены в табл. 1. Статистически достоверные ($p < 0.05$) отличия отмечены звездочкой

Figure 5. Comparison of the studied variables in the phytoplankton bloom area (■) and outside it (■) in the northwestern part of the Caspian Sea in September 2022. Designations and units of variables are presented in Table 1. Statistically significant ($p < 0.05$) differences are marked with an asterisk

Численности фотосинтезирующего пикофитопланктона, полученные нами для каспийских вод с помощью проточной цитометрии, достигали $1,8 \times 10^5$ клеток/мл, т.е. существенно превышали величины, ранее определенные для пикофитопланктона Чёрного моря (не выше 5×10^4 клеток/мл) [30; 31]. Какие-либо сравнения с количественными данными по Каспийскому морю пока не представляются возможными, поскольку его пикофитопланктон по-прежнему остаётся практически не исследованным. Однако, происходит постепенное накопление качественных данных, полученных молекулярными методами, которые указывают на высокие концентрации в каспийских водах пикоцианобактерий рода *Synechococcus*. В частности, с помощью метагеномного анализа было продемонстрировано большое значение штамма SBO205 из субкластера 5.2 пикоцианобактерий [44]. На важную роль *Synechococcus* в пелагиали Каспия также косвенно указывали результаты исследования виромов [45]. В водах Северного Каспия были найдены виротипы, инфицирующие этот род пикоцианобактерий, в частности – цианофаги S-CBS4, которые

относятся к сифовирусам. Кроме того, функциональный анализ метагеномного секвенирования выявил присутствие цианофагов S-SKS1 и S-SSM7, которые относятся к миовирусам и также специфичны к синехококкусу [45]. Таким образом, наши данные указывают на то, что фикоэритрин-содержащий пикофитопланктон (PPE⁺), высокие концентрации которого были обнаружены нами в Среднем Каспии (до $1,7 \times 10^5$ клеток/мл), мог быть представлен преимущественно пикоцианобактериями рода *Synechococcus*.

Нанофитопланктон Каспия исследован несколько лучше по той причине, что мелкие жгутиковые – одна из групп фитопланктона, которая количественно определяется методами световой микроскопии. В разных работах в её состав включали клетки разных размерных диапазонов. В частности, в летний период отмечалось высокое обилие жгутиковых во фракции 4–10 мкм, которые вносили наибольший вклад в общую биомассу фитопланктона в сезонном термоклине [1; 3]. Численность мелких флагеллят также периодически возрастала в поверхностном слое в северо-западной части Среднего Каспия, при этом

максимальные биомассы (до $1,3 \text{ г/м}^3$) были обнаружены в осенний период [1; 3]. Другие авторы [46], утверждают, что для современной структуры летнего фитопланктона прибрежных мелководий дагестанского сектора Каспия характерно достаточно высокое флористическое разнообразие и преобладание мелкоклеточных форм (включая мелких жгутиковых). Те величины численности (до $1,6 \times 10^5$ клеток/мл) и

биомассы (до 96 мг/л) нанофитопланктона, которые мы получили в данном исследовании, можно охарактеризовать как исключительно высокие. Это может быть связано с применением проточной цитометрии, но однозначно указывает на то, что мельчайшие формы фотоавтотрофов, включая пико- и нанофитопланктон, могут играть гораздо более важную роль в функционировании экосистем Каспия, чем это видится сейчас.

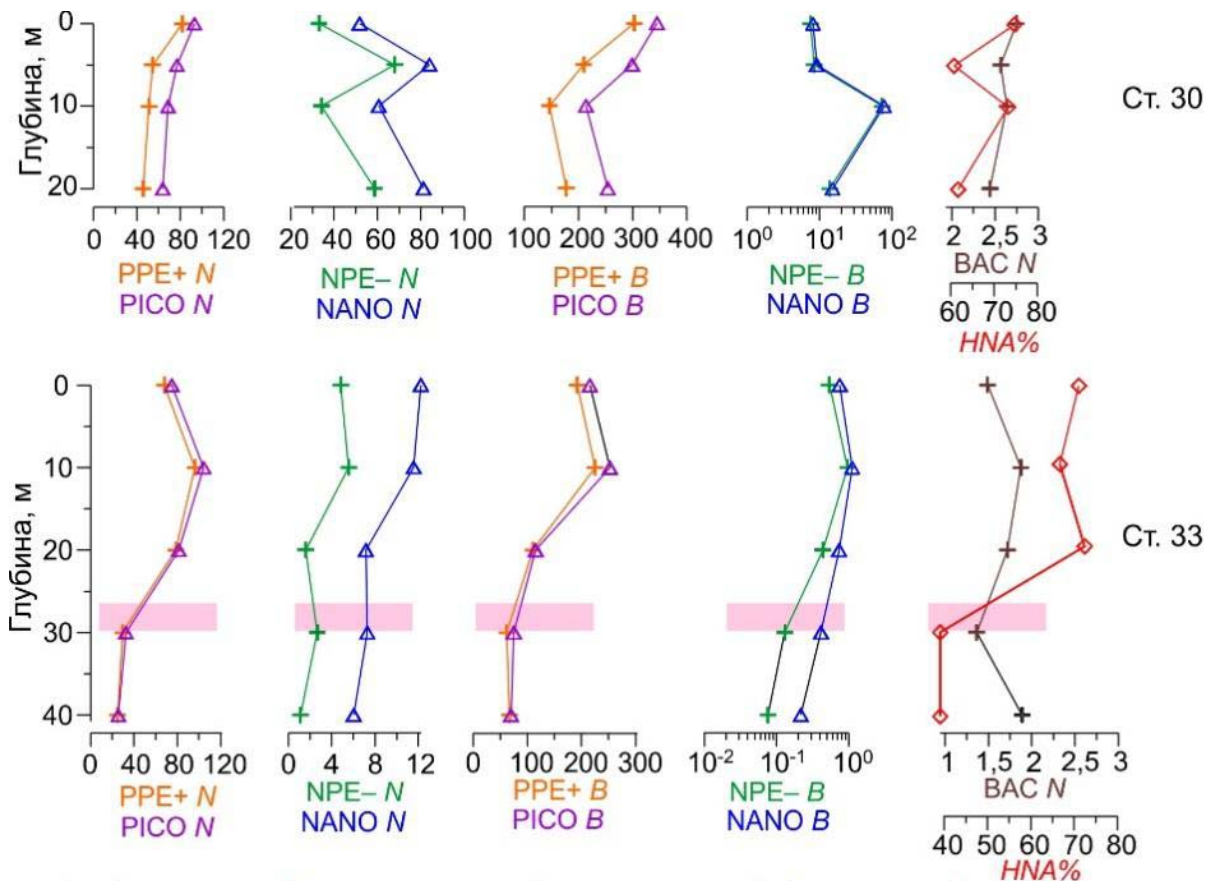


Рисунок 6. Вертикальное распределение исследованных переменных в зоне цветения фитопланктона (ст. 30)

и сопредельных водах (ст. 33) на полигоне в западной части Каспийского моря в сентябре 2022 г.

Обозначения и единицы измерения переменных представлены в табл. 1. На ст. 33 показана глубина залегания термоклина

Figure 6. Vertical distribution of the studied variables studied in the phytoplankton bloom area (station 30)

and adjacent waters (station 33) in the western part of the Caspian Sea in September 2022

The designations and units of variables are presented in Table 1. The depth of occurrence of the thermocline is shown for station 33

В нашем исследовании также было выявлено пространственное разобщение между пико- и нанофитопланктоном, которое заключалось в том, что максимумы нанофитопланктона были приурочены к зоне интенсивного цветения фитопланктона и высоких концентраций хлорофилла *a*, в то время как пикофитопланктон достигал максимального обилия за пределами этой зоны. Способность пикоформ существовать при значительно более низких концентрациях биогенных элементов и, таким образом, успешно конкурировать с нано- и микрофитопланктоном в подобных условиях, может служить одним из объяснений наблюдаемого нами пространственного распределения фитопланктона.

В соответствии с нашими данными, температурная стратификация водного столба и положение термоклина также оказывали заметное влияние на вертикальное распределение микробных сообществ. В частности, под термоклином резко снижалось обилие пикофитопланктона и доля метаболически активных

HNA-бактерий. Действительно, HNA-бактерии могут доминировать в верхнем, лимитированном по азоту слое [48], тогда как на вертикальное распределение LNA-бактерий в большей степени оказывают влияние гидродинамические процессы [48]. Таким образом впервые с применением проточной цитометрии получены количественные данные о бактериопланктоне и мельчайшем (пико- и нано-) фитопланктоне Каспийского моря. Показаны чрезвычайно высокие концентрации пико- и нанофитопланктона в водах Среднего Каспия. Выявлено пространственное разобщение между пико- и нанофитопланктоном – максимумы нанофитопланктона приурочены к зоне интенсивного цветения фитопланктона, а пикофитопланктон достигает максимального обилия за её пределами. Показана важная роль температурной стратификации и положения термоклина в формировании вертикального распределения микробных сообществ Каспия. Полученные данные свидетельствуют, что мельчайшие формы фотоавтотрофов (пико- и

нанопланктон) могут играть гораздо более значимую роль в функционировании каспийских экосистем, чем предполагалось ранее. Необходимы дальнейшие комплексные исследования пространственно-временной динамики и факторов контроля микробных сообществ Каспийского моря с использованием современных методов, в частности – проточной цитометрии.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ N 20–54–56053, Госзадания № 121040600178-6 и № 0128-2021-0004.

ACKNOWLEDGMENT

This work was funded by the RFBR according to the research project № 20-54-56053, State Assignment, Projects №121040600178-6 and № 0128-2021-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Востоков С.В., Курашов Е.А., Курьянова О.Ю., Цельмович О.Л., Дмитриев А.В., Островский Д.И., Ковалев М.Ю. Фитопланктон Среднего Каспия: анализ изменений структуры сообщества за последние десятилетия // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3. С. 112–124. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-112-124>
2. Востоков С.В., Лобковский Л.И., Востокова А.С., Соловьев Д.М. Сезонная и многолетняя изменчивость фитопланктона в Чёрном море по данным дистанционного зондирования и контактными измерениями хлорофилла а // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485. N 1. С. 99–103. <https://doi.org/10.31857/S0869-5652485199-103>
3. Vostokov S.V., Pautova L.A., Sahling I.V., Vostokova A.S., Gadzhiev A.A., Petherbridge G., Lobachev E.N., Abtahi B., Shojaei M.G. Seasonal and Long-Term Phytoplankton Dynamics in the Middle Caspian According to Satellite Data and In Situ Observations in the First Decades of the 21st Century // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. V. 9. N 11. P. 957. <https://doi.org/10.3390/jmse11050957>
4. Паутова Л.А., Кравчишина М.Д., Востоков С.В., Зацепин А.Г., Ключиткин А.А., Островский А.Г., Флинт М.В. Особенности вертикальной структуры летнего фитопланктона глубоководных районов Каспийского моря // Доклады РАН. 2015. Т. 462. N 4. С. 479–483.
5. Востоков С.В., Салинг И.В., Востокова А.С., Гаджиев А.А., Лобачев Е.Н., Абтахи Б., Шозаи М.Г. Изучение сезонной и многолетней изменчивости хлорофилла "а" в Каспийском море по данным дистанционного зондирования // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 509. N 1. С. 134–140. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602770>
6. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change // Geophysical Research Letters. 2017. V. 44. P. 6993–7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
7. Сапожников В.В., Мордасова Н.В., Метревели М.П. Трансформация экосистемы Каспийского моря при понижении и повышении уровня // Океанология. 2010. Т. 50. N 4. С. 524–533.
8. Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И. Гребневик *Beroe cf. ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы? // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 21–35. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-21-35>
9. Востоков С.В., Гаджиев А.А., Лобачев Е.Н., Востокова А.С., Рабазанов Н.И., Бархалов Р.М., Сапожников Ф.В., Абтахи Б., Шозаи М.Г. Развитие и взаимодействие популяций гребневиков *Beroe ovata* Bruguère, 1789 и *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в прибрежной зоне Среднего Каспия // Юг

10. Зиминова Т.Н., Ардабьева А.Г., Котельников А.В. Характеристика современного состояния фитопланктонных вселенцев Каспийского моря // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. N 3. С. 101–110.
11. Шакирова Ф.М. Вселенцы каспийского моря – угроза биоразнообразию его экосистемы // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань, 18 октября, 2019. С. 191–196.
12. Зарбалиева Т.С., Ахундов М.М., Касимов А.М., Надиров С.Н., Гусейнова Г.Г. Воздействие инвазивных видов на аборигенную фауну Каспийского моря в прибрежных водах Азербайджана // Российский журнал биологических инвазий. 2016. N 2. С. 33–48.
13. Паутова Л.А., Кравчишина М.Д., Силкин В.А., Лисицын А.П. Феномен массового развития инвазивной потенциально токсичной динофлагелляты *Gonyaulax polygramma* в глубоководных районах Каспийского моря // Доклады РАН. 2017. Т. 474. N 2. С. 657–661. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17060071>
14. Ардабьева А.Г., Татаринцева Т.А. Характеристика летнего фитопланктона Каспийского моря. Морские гидробиологические исследования. М.: ВНИРО, 2000. С. 22–38.
15. Паутова Л.А., Кравчишина М.Д., Силкин В.А., Ключиткин А.А., Артемьев В.А., Вазюля С.В., Буренков В.И. Диатомовые виды - вселенцы в осеннем фитопланктоне Каспийского моря: роль в формировании общей биомассы и распределение в поле солёности // Российский журнал биологических инвазий. 2022. Т. 15. N 2. С. 68–82.
16. Kosarev A.N. Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. The Caspian Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry, Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. P. 5–31. <https://doi.org/10.1007/6985002>
17. Кун М.С. Планктон Каспийского моря в условиях зарегулирования стока Волги. Изменение биологических комплексов Каспийского моря за последние десятилетия. М.: Наука, 1965. С. 54–97.
18. Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука, 1968. 291 с.
19. Бабаев Г.Б. Состав и распределение фитопланктона в Среднем и Южном Каспии. Биология Среднего и Южного Каспия. М.: Наука, 1968. С. 50–63.
20. Левшакова В.Д. Некоторые экологические особенности фитопланктона Северного Каспия // Труды Каспнирха. 1971. Т. 26. С. 67–82.
21. Левшакова В.Д., Санина Л.В. Летний фитопланктон Среднего Каспия до и после вселения ризосолении // Труды ВНИРО. 1973. Т. 80. С. 18–27.
22. Левшакова В.Д. Фитопланктон. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность. М.: Наука, 1985. С. 23–54.
23. Салманов М.А. Роль микрофлоры и фитопланктона в продукционных процессах Каспийского моря. М.: Наука, 1987. 214 с.
24. Бородин В.Е. Летний фитопланктон разных размерных групп Среднего и Южного Каспия. Рыбохозяйственные исследования планктона. Часть 2. Каспийское море. М.: ВНИРО, 1991. С. 102–110.
25. Санина Л.В., Левшакова В.Д., Татаринцева Т.А. Летний фитопланктон Среднего Каспия в период повышения уровня моря и в сравнении с предыдущими годами. Рыбохозяйственные исследования планктона. Часть 2. Каспийское море. М.: ВНИРО, 1991. С. 77–95.
26. Ардабьева А.Г., Татаринцева Т.А. Характеристика летнего фитопланктона Каспийского моря. Морские гидробиологические исследования. М.: ВНИРО, 2000. С. 22–38.
27. Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В.,

- Зернова В.В., Мошаров С.А., Дара О.М., Ключиткин А.А. Исследование биогенной и абиогенной части взвеси дельты р. Волги в период весеннего половодья, май 2008 г. // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. N 2. С. 151–164.
28. Moradi M. Comparison of the efficacy of MODIS and MERIS data for detecting cyanobacterial blooms in the southern Caspian Sea. *Marine pollution bulletin*. 2014. Vol. 87. N 1-2. P. 311–322.
29. Marie D., Simon N., Vaultot D. Phytoplankton cell counting by flow cytometry // *Algal culturing techniques*. 2005. V. 1. P. 253–268.
30. Mukhanov V., Sakhon E., Rodionova N., Tsai A.Y. Vertical distribution of picophytoplankton in the NW shelf and deep-water area of the Black Sea in spring // *Journal of Marine System*. 2022. V. 234. P. 103–779.
31. Mukhanov V.S., Rylkova O.A., Churilova T.Y., Sakhon E.G., Pimenov N.V. Structure and seasonal trophodynamics of picophytoplankton in sevastopol bay and adjacent waters (the Black Sea) // *Microbiology*. 2016. V. 85. N 5. P. 553–561.
32. Багаев А.В., Дивинский Б.В., Зацепин А.Г., Кондратьев С.И., Островский А.Г., Щука С.А. Локальные изменения физико-биологических параметров поверхностных вод Севастопольской бухты под влиянием ливневого стока // *Морской гидрофизический журнал*. 2022. Т. 38. N 2 (224). С. 165–184.
33. Gasol J.M., Del Giorgio P.A. Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities // *Scientia Marina*. 2000. V. 64. N 2. P. 197–224.
34. Marie D., Partensky F., Jacquet S., Vaultot D. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I // *Applied and environmental microbiology*. 1997. V. 63. N 1. P. 186–193.
35. Lebaron P., Servais P., Baudoux A.C., Bourrain M., Courties C., Parthuisot N. Variations of bacterial-specific activity with cell size and nucleic acid content assessed by flow cytometry // *Aquatic Microbial Ecology*. 2002. V. 28. N 2. P. 131–140.
36. Servais P., Casamayor E.O., Courties C., Catala P., Parthuisot N., Lebaron P. Activity and diversity of bacterial cells with high and low nucleic acid content // *Aquatic microbial ecology*. 2003. V. 33. N 1. P. 41–51.
37. OceanColorWeb. URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 22.05.2022)
38. Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2017 гг. М.: ООО "ВАШ ФОРМАТ", 2018. 140 с.
39. Hammer Ø., Harper D.A.T. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*. 2001. V. 4. N 1. P. 1.
40. Latasa M., Morán X.A.G., Scharek R., Estrada M. Dynamics of phytoplankton groups in three contrasting situations of the open NW Mediterranean Sea revealed by pigment, microscopy, and flow cytometry analyses // *Progress in Oceanography*. 2022. V. 201. P. 102–737. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2021.102737>
41. Tett P., Walne A., Kennington K., Gowen R., Bresnan E., Carreira C., Collingridge K., Davidson K., Edwards M., Fernand L., Heal M., McKinney A., Milligan S., Paltriguera L., Whyte C. Picoplankton Nanoplankton LifeForms: theoretical basis and assessment of candidate lifeforms. 2022.
42. Peperzak L., Gollasch S., Bradie J., Vanden Byllaardt J., Stehouwer P.P., Ruiz G.M., David M. Comparing flow cytometry and microscopy in the quantification of vital aquatic organisms in ballast water // *Journal of Marine Engineering Technology*. 2020. V. 19. N 2. P. 68–77. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1525806>
43. Salmi P., Mäki A., Mikkonen A., Puttonen V-M., Vuorio K., Tiitola M. Comparison of epifluorescence microscopy and flow cytometry in counting freshwater picophytoplankton // *Boreal Env. Res*. 2021. V. 26. P. 17–27.
44. Mehrshad M., Amoozegar M.A., Ghai R., Shahzadeh Fazeli S.A., Rodriguez-Valera F. Genome reconstruction from metagenomic data sets reveals novel microbes in the brackish waters of the Caspian Sea // *Applied and environmental microbiology*. 2016. V. 82. P. 1599–1612.
45. Alexyuk M.S., Bukin Y.S., Butina T.V., Alexyuk P.G., Berezin V.E., Bogoyavlenski A.P. Viromes of Coastal Waters of the North Caspian Sea: Initial Assessment of Diversity and Functional Potential // *Diversity*. 2023. V. 15. N 7. P. 813.
46. Гусейнов М.К., Гасанова А.Ш., Гусейнов К.М., Хлопкова М.В. К изучению видового разнообразия фитопланктона среднего Каспия // *Вестник Дагестанского научного центра РАН*. 2019. Т. 75. С. 11–17.
47. Šantić D., Krstulović N., Šolić M., Ordulj M., Kušpilić G. Dynamics of prokaryotic picoplankton community in the central and southern Adriatic Sea (Croatia) // *Helgoland Marine Research*. 2013. V. 67. N 3. P. 471–481. <https://doi.org/10.1007/s10152-012-0336-x>
48. Thyssen M., Lefèvre D., Caniaux G., Ras J., Fernández C.I., Denis M. Spatial distribution of heterotrophic bacteria in the northeast Atlantic (POMME study area) during spring 2001. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2005. V. 110. N C7. <https://doi.org/10.1029/2004JC002670>

REFERENCES

- Vostokov S.V., Kurashov E.A., Kur'yanova O.Yu., Tsel'movich O.L., Dmitriev A.V., Ostrovskii D.I., Kovalev M.Yu. Phytoplankton of the Middle Caspian: analysis of community structure changes over recent decades. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 112–124. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-112-124>
- Vostokov S.V., Lobkovskii L.I., Vostokova A.S., Solov'ev D.M. Seasonal and long-term variability of phytoplankton in the Black Sea according to remote sensing data and contact measurements of chlorophyll a. *Reports of the Academy of Sciences*, 2019, vol. 485, no. 1, pp. 99–103. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0869-5652485199-103>
- Vostokov S.V., Pautova L.A., Sahling I.V., Vostokova A.S., Gadzhiev A.A., Petherbridge G., Lobachev E.N., Abtahi B., Shojaei M.G. Seasonal and Long-Term Phytoplankton Dynamics in the Middle Caspian According to Satellite Data and In Situ Observations in the First Decades of the 21st Century. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, vol. 9, no. 11, pp. 957. <https://doi.org/10.3390/jmse11050957>
- Pautova L.A., Kravchishina M.D., Vostokov S.V., Zatsepin A.G., Klyuyvitkin A.A., Ostrovskii A.G., Flint M.V. Features of the vertical structure of summer phytoplankton in the deep-water areas of the Caspian Sea. *Doklady RAN* [Reports of the Russian Academy of Sciences]. 2015, vol. 462, no. 4, pp. 479–483. (In Russian)
- Vostokov S.V., Saling I.V., Vostokova A.S., Gadzhiev A.A., Lobachev E.N., Abtahi B., Shozai M.G. Study of seasonal and long-term variability of chlorophyll "a" in the Caspian Sea based on remote sensing data. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences*, 2023, vol. 509, no. 1, pp. 134–140. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S2686739722602770>
- Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*, 2017, vol. 44, pp. 6993–7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
- Sapozhnikov V.V., Mordasova N.V., Metreveli M.P. Transformation of the Caspian Sea ecosystem during lowering and rising of the level. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2010, vol. 50, no. 4, pp. 524–533. (In Russian)
- Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Vostokova A.S., Rabazanov N.I.

- Ctenophore *Beroe cf. ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem? *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 21–35. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-21-35>
9. Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Lobachev E.N., Vostokova A.S., Rabazanov N.I., Barkhalov R.M., Sapozhnikov F.V., Abtakhii B., Shozai M.G. Development and interaction of ctenophore populations *Beroe ovata* Bruguière, 1789 and *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the coastal zone of the Middle Caspian. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 8–15. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-8-15>
10. Zimina T.N., Ardab'eva A.G., Kotel'nikov A.V. Characteristics of the current state of phytoplankton invaders of the Caspian Sea. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management in Russia: Problems, Technologies, Management]. 2022, no. 3, pp. 101–110. (In Russian)
11. Shakirova F.M. [Invaders of the Caspian Sea - a threat to the biodiversity of its ecosystem]. In: Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdenii [Problems of preserving the Caspian ecosystem in the conditions of oil and gas field development]. Astrakhan, 2019, pp. 191–196. (In Russian)
12. Zarbaliyeva T.S., Akhundov M.M., Kasimov A.M., Nadirov S.N., Guseinova G.G. Impact of invasive species on the native fauna of the Caspian Sea in the coastal waters of Azerbaijan. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii* [Russian Journal of Biological Invasions]. 2016, no. 2, pp. 33–48. (In Russian)
13. Pautova L.A., Kravchishina M.D., Silkin V.A., Lisitsyn A.P. The phenomenon of mass development of the invasive potentially toxic dinoflagellate *Gonyaulax polygramma* in the deep-water areas of the Caspian Sea. Reports of the Russian Academy of Sciences, 2017, vol. 474, no. 2, pp. 657–661. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S1028334X17060071>
14. Ardab'eva A.G., Tatarintseva T.A. *Kharakteristika letnego fitoplanktona Kaspiiskogomorya* [Characteristics of summer phytoplankton of the Caspian Sea]. In: Morskoe gidrobiologicheskoe issledovaniya [Marine Hydrobiological Research]. Moscow, VNIRO Publ., 2000, pp. 22–38. (In Russian)
15. Pautova L.A., Kravchishina M.D., Silkin V.A., Klyuvitkin A.A., Artem'ev V.A., Vazyulya S.V., Burenkov V.I. Diatom species - invaders in the autumn phytoplankton of the Caspian Sea: role in the formation of total biomass and distribution in the salinity field. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii* [Russian Journal of Biological Invasions]. 2022, vol. 15, no. 2, pp. 68–82. (In Russian)
16. Kosarev A.N. Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. The Caspian Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005, vol. 5, pp. 5–31. <https://doi.org/10.1007/6985002>
17. Kun M.S. *Plankton Kaspiiskogo morya v usloviyakh zaregulirovaniya stoka Volgi* [Plankton of the Caspian Sea under conditions of regulation of the Volga flow]. In: Izmenenie biologicheskikh kompleksov Kaspiiskogo morya za poslednie desyatletiya [Changes in biological complexes of the Caspian Sea over recent decades]. Moscow, Nauka Publ., 1965, pp. 54–97. (In Russian)
18. Proshkina-Lavrenko A.I., Makarova I.V. *Vodorosli planktona Kaspiiskogo morya* [Algae of the plankton of the Caspian Sea]. Leningrad, Nauka Publ., 1968, 291 p. (In Russian)
19. Babaev G.B. *Sostav i raspredelenie fitoplanktona v Srednem i Yuzhnom Kaspii* [Composition and distribution of phytoplankton in the Middle and Southern Caspian]. In: *Biologiya Srednego i Yuzhnogo Kaspiya* [Biology of the Middle and Southern Caspian]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 50–63. (In Russian)
20. Levshakova V.D. [Some ecological features of the phytoplankton of the Northern Caspian]. In: *Trudy Kaspiiskogo* [Proceedings of Caspiirkh]. 1971, vol. 26, pp. 67–82. (In Russian)
21. Levshakova V.D., Sanina L.V. [Summer phytoplankton of the Middle Caspian before and after the introduction of *Rhizosolenia*]. In: *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO]. 1973, vol. 80, pp. 18–27. (In Russian)
22. Levshakova V.D. *Fitoplankton* [Phytoplankton]. In: *Kaspiiskoe more. Fauna i biologicheskaya produktivnost'* [The Caspian Sea. Fauna and biological productivity]. Moscow, Nauka Publ., 1985, pp. 23–54. (In Russian)
23. Salmanov M.A. *Rol' mikroflory i fitoplanktona v produkcionnykh protsessakh Kaspiiskogo morya* [The role of microflora and phytoplankton in the production processes of the Caspian Sea]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 214 p. (In Russian)
24. Borodin V.E. *Letnii fitoplankton raznykh razmernykh grupp Srednego i Yuzhnogo Kaspiya* [Summer phytoplankton of different size groups of the Middle and Southern Caspian]. In: *Rybkhozyaistvennye issledovaniya planktona. Chast' 2. Kaspiiskoe more* [Fisheries research of plankton. Part 2. The Caspian Sea]. Moscow, VNIRO Publ., 1991, pp. 102–110. (In Russian)
25. Sanina L.V., Levshakova V.D., Tatarintseva T.A. *Letnii fitoplankton Srednego Kaspiya v period povysheniya urovnya morya i v sravnenii s predydushchimi godami* [Summer phytoplankton of the Middle Caspian during the period of sea level rise and in comparison with previous years]. In: *Rybkhozyaistvennye issledovaniya planktona. Chast' 2. Kaspiiskoe more* [Fisheries research of plankton. Part 2. The Caspian Sea]. Moscow, VNIRO Publ., 1991, pp. 77–95. (In Russian)
26. Ardab'eva A.G., Tatarintseva T.A. *Kharakteristika letnego fitoplanktona Kaspiiskogo morya* [Characteristics of summer phytoplankton of the Caspian Sea]. In: *Morskoe gidrobiologicheskoe issledovaniya* [Marine hydrobiological research]. Moscow, VNIRO Publ., 2000, pp. 22–38. (In Russian)
27. Kravchishina M.D., Novigatskii A.N., Politova N.V., Zernova V.V., Mosharov S.A., Dara O.M., Klyuvitkin A.A. Investigation of the biogenic and abiogenic part of the suspension of the Volga River delta during the spring flood, May 2008. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2013, vol. 40, no. 2, pp. 151–164. (In Russian)
28. Moradi M. Comparison of the efficacy of MODIS and MERIS data for detecting cyanobacterial blooms in the southern Caspian Sea. *Marine pollution bulletin*. 2014, vol. 87, no. 1-2, pp. 311–322.
29. Marie D., Simon N., Vault D. Phytoplankton cell counting by flow cytometry. *Algal culturing techniques*, 2005, vol. 1, pp. 253–268.
30. Mukhanov V., Sakhon E., Rodionova N., Tsai A.Y. Vertical distribution of picophytoplankton in the NW shelf and deep-water area of the Black Sea in spring. *Journal of Marine Systems*, 2022, vol. 234, pp. 103–779.
31. Mukhanov V.S., Rylkova O.A., Churilova T.Y., Sakhon E.G., Pimenov N.V. Structure and seasonal trophodynamics of picophytoplankton in Sevastopol bay and adjacent waters (the Black Sea). *Microbiology*, 2016, vol. 85, no. 5, pp. 553–561.
32. Bagaev A.V., Divinskii B.V., Zatsepina A.G., Kondrat'ev S.I., Ostrovskii A.G., Shchuka S.A. Local changes in physico-biological parameters of surface waters of Sevastopol Bay under the influence of storm runoff. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal]. 2022, vol. 38, no. 2 (224), pp. 165–184. (In Russian)
33. Gasol J.M., Del Giorgio P.A. Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities. *Scientia Marina*, 2000, vol. 64, no. 2, pp. 197–224.
34. Marie D., Partensky F., Jacquet S., Vault D. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain

- SYBR Green I. *Applied and environmental microbiology*, 1997, vol. 63, no. 1, pp. 186–193.
35. Lebaron P., Servais P., Baudoux A.C., Bourrain M., Courties C., Parthuisot N. Variations of bacterial-specific activity with cell size and nucleic acid content assessed by flow cytometry. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, vol. 28, no. 2, pp. 131–140.
36. Servais P., Casamayor E.O., Courties C., Catala P., Parthuisot N., Lebaron P. Activity and diversity of bacterial cells with high and low nucleic acid content. *Aquatic microbial ecology*, 2003, vol. 33, no. 1, pp. 41–51.
37. OceanColorWeb. Available at: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov> (accessed 22.05.2022)
38. Kopelevich O.V., Saling I.V., Vazyulya S.V., Glukhovets D.I., Sheberstov S.V., Burenkov V.I., Karalli P.G., Yushmanova A.V. Bioopticheskie kharakteristiki morei, omyvayushchikh berega zapadnoi poloviny Rossii, po dannym sputnikovykh skanerov tsveta 1998-2017 gg [Bio-optical characteristics of the seas washing the shores of the western half of Russia, according to satellite color scanners 1998-2017]. Moscow, LLC "VASH FORMAT" Publ., 2018, 140 p. (In Russian)
39. Hammer Ø., Harper D.A.T. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, p. 1.
40. Latasa M., Morán X.A.G., Scharek R., Estrada M. Dynamics of phytoplankton groups in three contrasting situations of the open NW Mediterranean Sea revealed by pigment, microscopy, and flow cytometry analyses. *Progress in Oceanography*, 2022, vol. 201, pp. 102–737. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102737>
41. Tett P., Walne A., Kennington K., Gowen R., Bresnan E., Carreira C., Collingridge K., Davidson K., Edwards M., Fernand L., Heal M., McKinney A., Milligan S., Paltriguera L., Whyte C. Picoplankton Nanoplankton LifeForms: theoretical basis and assessment of candidate lifeforms. 2022.
42. Peperzak L., Gollasch S., Bradie J., Vanden Byllaardt J., Stehouwer P.P., Ruiz G.M., David M. Comparing flow cytometry and microscopy in the quantification of vital aquatic organisms in ballast water. *Journal of Marine Engineering Technology*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 68–77. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1525806>
43. Salmi P., Mäki A., Mikkonen A., Pupponen V-M., Vuorio K., Tiola M. Comparison of epifluorescence microscopy and flow cytometry in counting freshwater picophytoplankton. *Boreal Environmental Research*, 2021, vol. 26, pp. 17–27.
44. Mehrshad M., Amoozegar M.A., Ghai R., Shahzadeh Fazeli S.A., Rodriguez-Valera F. Genome reconstruction from metagenomic data sets reveals novel microbes in the brackish waters of the Caspian Sea. *Applied and environmental microbiology*, 2016, vol. 82, pp. 1599–1612.
45. Alexyuk M.S., Bukin Y.S., Butina T.V., Alexyuk P.G., Berezin V.E., Bogoyavlenski A.P. Viromes of Coastal Waters of the North Caspian Sea: Initial Assessment of Diversity and Functional Potential. *Diversity*, 2023, vol. 15, no. 7, p. 813.
46. Guseinov M.K., Gasanova A.Sh., Guseinov K.M., Khlopkova M.V. On the study of species diversity of phytoplankton in the Middle Caspian. *Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2019, vol. 75, pp. 11–17. (In Russian)
47. Šantić D., Krstulović N., Šolić M., Ordulj M., Kušpilić G. Dynamics of prokaryotic picoplankton community in the central and southern Adriatic Sea (Croatia). *Helgoland Marine Research*, 2013, vol. 67, no. 3, pp. 471–481. <https://doi.org/10.1007/s10152-012-0336-x>
48. Thyssen M., Lefèvre D., Caniaux G., Ras J., Fernández C.I., Denis M. Spatial distribution of heterotrophic bacteria in the northeast Atlantic (POMME study area) during spring 2001. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2005, vol. 110, no. C7. <https://doi.org/10.1029/2004JC002670>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Востоков собрал и обработал полевые данные, проанализировал результаты, написал рукопись статьи. Владимир С. Муханов подготовил обзор литературы по проблеме исследования, провел вычисления, доработал текст, представил данные, подготовил текст статьи. Татьяна В. Рауэн провела проточную цитометрию, изучила теоретическую часть темы исследования, подготовила текст статьи. Анастасия С. Востокова собрала, обработала и проанализировала полевые данные, подготовила иллюстрации, участвовала в написании рукописи. Евгений Н. Лобачев собрал и обработал полевые данные. 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

Sergey V. Vostokov collected material and processed field data, undertook analysis of results and writing the article. Vladimir V. Mukhanov review the literature on the research topic, performed computations, finalized the text and prepared the article for submission to the Editortext preparation. Tatiana V. Rauen carried out flow cytometry, undertook theoretical study of literature on the research topic and prepared the text of the article. Anastasia S. Vostokova undertook collection and analysis of remote data, prepared the illustrations and participated in writing the article. Evgeny N. Lobachev undertook collection and processing of field data. 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

Владимир С. Муханов / Vladimir V. Mukhanov <https://orcid.org/0000-0002-5324-045X>
 Татьяна В. Рауэн / Tatiana V. Rauen <https://orcid.org/0000-0002-6757-7491>
 Сергей В. Востоков / Sergey V. Vostokov <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>
 Анастасия С. Востокова / Anastasia S. Vostokova <https://orcid.org/0000-0002-8547-3776>
 Евгений Н. Лобачев / Evgeny N. Lobachev <https://orcid.org/0000-0001-7688-8454>

Оригинальная статья / Original article
УДК 616.441
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-10



Экологические аспекты изучения тиреоидной функции щитовидной железы у женщин репродуктивного возраста, проживающих в регионе с дефицитом йода (на примере Ахтынского района Республики Дагестан)

Альбина Н. Джалилова, Салидат М. Омарова, Динара Н. Джалилова, Тамара В. Царуева, Назирбек К. Абдуев, Гази М. Газиев, Малькура Т. Юсупова, Патимат С. Саидова, Умиат А. Магомедова

Дагестанский государственный медицинский университет Минздрава Российской Федерации, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Альбина Н. Джалилова, кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии, ФГБОУ ВО Дагестанский государственный медицинский университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Ленина, 1. Тел. +79286754517
Email albinanur102@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>

Формат цитирования

Джалилова А.Н., Омарова С.М., Джалилова Д.Н., Царуева Т.В., Абдуев Н.К., Газиев Г.М., Юсупова М.Т., Саидова П.С., Магомедова У.А. Экологические аспекты изучения тиреоидной функции щитовидной железы у женщин репродуктивного возраста, проживающих в регионе с дефицитом йода (на примере Ахтынского района Республики Дагестан) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 110-115. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-10

Получена 22 апреля 2024 г.
Прошла рецензирование 8 июня 2024 г.
Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: представить эпидемиологические аспекты изучения тиреоидной функции щитовидной железы.

В статье представлены результаты клинико-лабораторного обследования и эпидемиологические аспекты изучения тиреоидной функции щитовидной железы у 120 женщин репродуктивного возраста, проживающих на территории с дефицитом йода (территория Ахтынского района Республики Дагестан, расположенный на высоте 1675 метров над уровнем моря). Женщины обследованы на заболевания щитовидной железы и на наличие внутриутробных инфекций: TORCH-токсоплазмоз, орнитоз, краснуха, цитомегало- и герпесвирусы.

У всех обследованных установлены заболевания щитовидной железы (женщины состоят на учете у эндокринолога в Эндокринологическом диспансере). Всем женщинам проведена коррекция йододефицита в виде йодной профилактики путём приёма препаратов, содержащих суточную потребность в йоде до 250 мкг для нормализации функции щитовидной железы.

Внутриутробные инфекции (ВУИ) обнаружены у 76 женщин, что составляет 69 %. Также проведена терапия внутриутробных инфекций женщин, состоящих на учёте в женской консультации районной больницы.

Ключевые слова

Фертильный возраст, щитовидная железа, йододефицит, внутриутробная патология.

Ecological aspects of studying the thyroid function of the thyroid gland in women of reproductive age living in a region with iodine deficiency (Akhtynsky district, Republic of Dagestan, Russia)

Albina N. Dzhililova, Salidat M. Omarova, Dinara N. Dzhililova, Tamara V. Tsarueva, Nazirbek K. Abuduev, Gazi M. Gaziev, Malkura T. Yusupova, Patimat S. Saidova and Umiyat A. Magomedova

Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Principal contact

Albina N. Dzhililova, Ph.D. Medical Sciences, Associate Professor, Department of Obstetrics and Gynecology, Dagestan State Medical University; 1 Lenina St, Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79286754517
Email albinanur102@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>

How to cite this article

Dzhililova A.N., Omarova S.M., Dzhililova D.N., Tsarueva T.V., Abuduev N.K., Gaziev G.M., Yusupova M.T., Saidova P.S., Magomedova U.A. Ecological aspects of studying the thyroid function of the thyroid gland in women of reproductive age living in a region with iodine deficiency (Akhtynsky district, Republic of Dagestan, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):110-115. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-10

Received 22 April 2024
Revised 8 June 2024
Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. To present epidemiological aspects of the study of thyroid function of the thyroid gland.

The article presents the results of a clinical and laboratory examination and epidemiological aspects of studying the thyroid function of the thyroid gland in 120 women of reproductive age living in an area with iodine deficiency (Akhtynsky district, Republic of Dagestan – located at an altitude of 1.675 metres above sea level). The women were examined for thyroid diseases and for the presence of intrauterine infections: TORCH toxoplasmosis, ornithosis, rubella, cytomegalo- and herpesviruses.

All the examined patients had thyroid diseases (the women are registered with an endocrinologist at an Endocrinological Dispensary). All women underwent correction of iodine deficiency in the form of iodine prophylaxis by taking medications containing a daily iodine requirement of up to 250 mcg to normalize thyroid function.

Intrauterine infections (IUI) were found in 76 women (69 % of the patients examined). Intrauterine infections of women registered in the women's clinic of the district hospital were also treated.

Key Words

Fertile age, thyroid gland, iodine deficiency, intrauterine pathology.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из распространенных неинфекционных заболеваний, связанных с дефицитом йода в рационе, являются заболевания щитовидной железы. Йододефицит приводит к снижению синтеза и секреции гормонов щитовидной железы, а при беременности формируется психоневрологический статус развивающегося плода [1].

Заболевания щитовидной железы в 10–15 раз чаще встречается у лиц женского пола, чем мужского. Ухудшение экологической и радиационной обстановки, изменение характера питания людей являются важными факторами, приводящими к патологии щитовидной железы [1].

На основе результатов обследования женщин репродуктивного возраста, проживающих в сельской местности с йододефицитом, можно определить частоту патологии щитовидной железы у них и влияния факторов социально-экологических среды на здоровье женщин.

По данным многочисленных эпидемиологических и экспериментальных исследований установлена определенная роль между уровнем сывороточного ТТГ (тиреотропный гормон) и показателями уровня глюкозы в сыворотке крови [2].

Антагонистами инсулина являются тиреоидные гормоны. Риск развития сердечно-сосудистых заболеваний является повышение инсулинорезистентности и развитие метаболического синдрома, что диктует регулярный контроль функции щитовидной железы у детей и лиц с избыточным весом и ожирением [3; 4].

При проведении ретроспективного исследования 833 тучных подростков по определению ТТГ, было установлено, что высокие показатели этого гормона негативно влияют на сердечно-сосудистую систему из-за высоких цифр уровня холестерина и артериального давления [3–5].

Патология щитовидной железы и её ежегодный рост представляет особую опасность во время беременности в регионах с йододефицитом, что отрицательно влияет на демографические показатели.

Следует отметить, что по данным ВОЗ (2007), 1/3 часть населения земного шара находится в условиях йододефицита. От дефицита йода на Европейском континенте страдает около 52 % детей школьного возраста [6]. Следствием дефицита йода и селена в природной среде является эндемический зоб [7].

На современном этапе, как на федеральном, так и региональном уровнях, актуальной проблемой практического здравоохранения является профилактика патологии щитовидной железы, обусловленная дефицитом йода в пищевых продуктах, воде [8]. Потребление йода в России за последние 20 лет почти в 2–3 раза меньше допустимой нормы – 80 мкг в сутки (допустимая норма 150–250 мкг/сут), что установлено исследованиями, проведенными в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии», проведенными по поручению Минздрава России [9].

В связи с осложнениями, связанными с дефицитом йода, в настоящее время в период беременности рекомендуется проводить групповую йодную профилактику путем приема препаратов, содержащих суточную потребность в йоде (до 250 мкг), для профилактики развития зоба и нормализации функционирования щитовидной железы.

Определение в сыворотке крови уровня (Т⁴) свободного тироксина и ТТГ (тиреотропный гормон) во время беременности является информативным показателем диагностики гипотиреоза. На ранних сроках беременности необходимо проводить йодную профилактику в связи с тем, что в большинстве случаев исходом первичного гипотиреоза является аутоиммунный тиреоидит (АИТ).

Тиреоидная патология резко возрастает в период беременности из-за активации синтеза ТСГ (тироксинсвязывающий глобулин) под влиянием эстрогенов с развитием гормональной и йодной недостаточности [10]. Дефицит йода способствует чрезмерной стимуляции гормонов щитовидной железы с развитием гиперплазии и гипертрофии диффузного нетоксического зоба.

По данным Росстата (2020) патология щитовидной железы в структуре эндокринных заболеваний составляет 27,6 %.

Природные условия Ахтынского района (Республика Дагестан) характеризуются сложной палеогеографией, своеобразием геолого-геоморфологических и климатических условий, обуславливающих повышенное биологическое и ландшафтное разнообразие, а также различное содержание макро- и микроэлементов в воде и других средах.

По данным Минздрава Республики Дагестан заболеваемость женщин репродуктивного возраста эндемическим зобом в Ахтынском районе составляет более 71 % населения. В связи с вышеизложенным и учитывая экологическую ситуацию по заболеваемости эндемическим зобом в регионе исследование особенностей гестации беременных является одной из актуальных и приоритетных проблем для практического здравоохранения.

Цель исследования: изучение функций щитовидной железы и наличие внутриутробной патологии у женщин репродуктивного возраста и проведение им йодной профилактики.

Учитывая вышеизложенное, нами проведено исследование гормональной функции щитовидной железы 120 женщин репродуктивного возраста, проживающих в йододефицитном районе (Ахтынский район, Республика Дагестан).

По данным Минздрава РД заболеваемость женщин репродуктивного возраста эндемическим зобом в Ахтынском районе составляет более 70 % населения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На патологию щитовидной железы и наличие внутриутробных инфекций обследованы 120 женщин репродуктивного возраста, которые находились на учете в женской консультации Ахтынской районной больницы (Республика Дагестан). Возраст обследованных женщин 31,0±1,2 года.

Обследование больных проводилось по единому протоколу, включающему тщательный сбор жалоб, данных анамнеза на наличие сопутствующих заболеваний, длительность заболевания. Помимо стандартных клинико-лабораторных анализов с целью диагностики заболевания, проводилось функциональное исследование щитовидной железы.

Беременные заполняли анкету с внесением:

— количество беременностей, из них: количество выкидышей, преждевременных родов,

рождение детей с психоневрологической симптоматикой;

— нарушение репродуктивной функции: нарушение менструального цикла, позднее менархе, олигоменорея, первичное и вторичное бесплодие;

— состояние тиреоидной системы: осмотр, пальпация, УЗИ (ультразвуковое исследование) щитовидной железы с определением ее размеров в соответствии с классификацией ВОЗ (2001 г.), определение уровня ТТГ, общего трийод-тиронина T^3 , свободного T^4 ;

— исследование сыворотки крови на TORCH (токсоплазмоз, орнитоз, краснуха, цитомегалогерпесвирусы).

В работе использованы следующие методы исследования: клинико-статистический; клинико-лабораторный (иммуноферментный анализ – определение средних показателей уровней гормонов щитовидной железы; ТТГ, T^3 общий, T^3 свободный, T^4 общий. Средние показатели ВУИ (внутриутробных инфекций) определяли методами ИФА, РИФ и

молекулярно-генетическим методом (ПЦР в real time-on line).

Лабораторные исследования выполнены в лаборатории «Медсервис» (Махачкала, Республика Дагестан). При помощи опросника SF-36 изучены средние показатели качества жизни пациентов с диагнозом «Гипотиреоз».

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием программы «Биостат»-4.03.

Численные показатели представлены через среднее со стандартными отклонениями ($M \pm m$). Для проверки гипотез использован t-критерий Стьюдента. Критическим считается уровень статистической значимости $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные анализа спектра осложнений беременности и родов у наблюдаемых нами женщин, проживающих в регионе с дефицитом йода в зависимости от клинической формы патологии щитовидной железы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Спектр осложнений беременности и родов у наблюдаемых нами женщин в зависимости от клинической формы патологии щитовидной железы (n=120)

Table 1. Range of pregnancy and labor complications found in the women monitored depending on the clinical form of the thyroid disease (no.=120)

Спектр осложнений Spectrum of complications	Клиническая форма патологии ЩЖ Clinical form of thyroid pathology							
	Гипотиреоз Hypothyroidism		Диффузный зоб Diffuse goiter		Тиреотоксикоз (болезнь Рейвса) Thyrotoxicosis (Grave's disease)		Узловой зоб Nodular goiter	
	абс. число abs. number	%	абс. число abs. number	%	абс. число abs. number	%	абс. число abs. number	%
Угроза прерывания беременности Threat of termination of pregnancy	43	40	26	21,6	19	15,8	17	14,2
Самопроизвольный выкидыш Spontaneous miscarriage	37	30,16	19	15,8	15	12,5	11	9,1
Преждевременные роды Premature birth	3	2,5	3	2,5	4	3,3	3	2,5
Замерзшая беременность Frozen pregnancy	4	3,3	5	4,1	3	2,5	2	1,6
Мертворождение Stillbirth	2	1,6	3	2,5	2	1,6	1	0,8
Гестоз Gestosis	18	15,0	21	17,5	16	13,3	20	16,6

Анализ результатов, представленных в таблице 1, указывает на различный характер осложнений беременности и родов в анамнезе у обследованных женщин в зависимости от клинической формы тиреоидной патологии, но при этом превалирует количество женщин с угрозой прерывания беременности (40 %) и самопроизвольным выкидышем (30,16 %).

Следует отметить, что у наблюдаемых нами беременных женщин выявлена и экстрагенитальная

патология: анемия различной степени у 85 %, сердечно-сосудистая патология у 10 %.

Результаты изучения функции щитовидной железы представлены в таблице 2.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о нарушении тиреоидной фракции и наличии внутриутробных инфекций у женщин репродуктивного возраста, проживающих в регионе с дефицитом йода.

Таблица 2. Средние показатели тиреоидной функции щитовидной железы у женщин, проживающих в регионе с дефицитом йода (Ахтынский район, Республика Дагестан), М±m
Table 2. Indicators of the thyroid gland function in pregnant women living in the region affected by iodine deficiency (Akhtynsky District, Republic of Dagestan) M±m

Форма тиреоидной патологии Form of thyroid pathology	ТТГ мМЕд/л TTG mMED/L	Свободный Т3 пмоль/л Free T3 pmol/L	Свободный Т4 пмоль/л Free T4 pmol/L
Гипотиреоз / Hypothyroidism	6,0±0,63	2,47±0,25	9,1±0,76
Диффузный зоб / Diffuse goiter	1,82±0,18	7,1±0,72	18,2±1,92
Тиреотоксикоз (болезнь Грейвса) Thyrotoxicosis (Grave's disease)	0,39±0,004	11,8±0,14	31,2±0,06
Узловой коллоидный зоб Nodular colloidal goiter	1,81±0,18	6,63±0,72	17,6±1,91
Референсные значения / Reference values	0,4–2,5	0,5–2,5	12,0–28,0

Примечание: * $p < 0,05$ (при сравнении с референсным значением)
 Note: * $p < 0.05$ (when compared with a reference value)

Женщинам была проведена профилактика дефицита йода йодидом калия и терапия TORCH. Отдаленные результаты йодной профилактики и терапии внутриутробных инфекций после завершения лечения существенно отличались от исходных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прием йода в физиологических дозах 150–200 мкг/сут не оказывает существенного влияния на функцию щитовидной железы при ее патологии:

- учитывая, что секреция собственных гормонов щитовидной железы у плода происходит с 12-й недели гестации, необходимо провести беременным йодную профилактику на I триместре и последующих триместрах беременности;
- параллельно с йодной профилактикой обследованным женщинам проведена терапия ВУИ (внутриутробных инфекций);
- женщинам с анемией легкой степени проведена терапия железосодержащими препаратами (Тардиферон или Сорбифер Дурулес) в зависимости от переносимости препарата.

В соответствии с рекомендациями ВОЗ по йодной профилактике в экологическом отношении неблагополучных регионах с недостаточностью йода рекомендуется применение йодсодержащих препаратов профилактических дозах 200 мкг в сутки [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Петунина Н.А., Тельнова М.Э. Йододефицитные заболевания: современный подход к профилактике // Гинекология. 2016. Т. 18. N 4. С. 45–48.
- Cheserek M.J., Wu G., Shen L. et al. Evaluation of the relationship between subclinical hypothyroidism and metabolic syndrome components among workers // *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2014. V. 27. N 2. P. 175–187. <https://doi.org/10.2478/s13382-014-0240-5>
- Radetti G., Grugni G., Lupi F., et al. The relationship between hyperthyrotropinemia and metabolic and cardiovascular risk factors in a large group of overweight and obese children and adolescents // *J Endocrinol Invest*. 2017. V. 40. N 12. P. 1311–1319. <https://doi.org/10.1007/s40618-017-0705-z>
- Sert A., Pirgon O., Aypar E., Yilmaz H. et al. Subclinical hypothyroidism as a risk factor for the development of cardiovascular disease in obese adolescents with nonalcoholic

- fatty liver disease // *Pediatric Cardiology*. 2013. V. 34. N 5. P. 1166–1174.
- Kulaga Z., Litwin M., Tkaczyk M. et al. The height-, weight-, and BMI-for-age of Polish school-aged children and adolescents relative to international and local growth references // *BMC Public Health*. 2010. N 10. Article ID: 109. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-109>
- De Benoist B., McLean E., Andersson M., Rogers L. Iodine deficiency in 2007: global progress since 2003 // *Food Nutr. Bull*. 2008. V. 29. N 3. P. 195–202. <https://doi.org/10.1177/156482650802900305>
- Яхияев М.А., Салихов Ш.К., Атаев М.Г. и др. Эндемический зоб – следствие дефицита йода и селена в природной среде // *Экологическая медицина*. 2019. Т. 1. С. 66–71.
- Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Платонова Н.М., Панфилова Е.А., Рыбакова А.А., Абдулхабирова Ф.М., Бостановаи Ф.А. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат) // *Consilium Medicum*. 2019. Т. 21. N 4. С. 14–20. <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.4.190337>
- Трошина Е.А. Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России // *Проблемы эндокринологии*. 2022. Т. 68. N 4. С. 4–12. <https://doi.org/10.14341/probl13154>
- Петунина Н.А., Трухина Л.В. Болезни щитовидной железы. Москва: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2011. 216 с.
- Раджабова Ш.Ш., Царуева Т.В., Джалилова А.Н., Джалилова Д.Н. К вопросу о тиреоидной функции щитовидной железы беременных, проживающих в йододефицитном районе (Республика Дагестан, Ахтынский район, 1675 м над уровнем моря) // *Клинический разбор в общей медицине*. 2024. Т. 5. N 3. С. 88–92. <https://doi.org/10.47407/kr2023.5.3.00377>

REFERENCES

- Petunina N.A., Telnova M.E. Iodine deficiency diseases: a modern approach to prevention. *Ginekologiya [Gynecology]*. 2016, vol. 18, no. 4, pp. 45–48. (In Russian)
- Cheserek M.J., Wu G., Shen L. et al. Evaluation of the relationship between subclinical hypothyroidism and metabolic syndrome components among workers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2014, vol. 27, no. 2, pp. 175–187. <https://doi.org/10.2478/s13382-014-0240-5>

3. Radetti G., Grugni G., Lupi F., et al. The relationship between hyperthyrotropinemia and metabolic and cardiovascular risk factors in a large group of overweight and obese children and adolescents. *J Endocrinol Invest*, 2017, vol. 40, pp. 1311–1319. <https://doi.org/10.1007/s40618-017-0705-z>
4. Sert A., Pirgon O., Aypar E., Yilmaz H. et al. Subclinical hypothyroidism as a risk factor for the development of cardiovascular disease in obese adolescents with nonalcoholic fatty liver disease. *Pediatric Cardiology*. 2013, vol. 34, no. 5, pp. 1166–1174.
5. Kulaga Z., Litwin M., Tkaczyk M. et al. The height-, weight-, and BMI-for-age of Polish school-aged children and adolescents relative to international and local growth references. *BMC Public Health*, 2010, no. 10, article id: 109. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-109>
6. De Benoist B., McLean E., Andersson M., Rogers L. Iodine deficiency in 2007: global progress since 2003. *Food Nutr. Bull.*, 2008, vol. 29, no. 3, pp. 195–202. <https://doi.org/10.1177/156482650802900305>
7. Yakhyaev M.A., Salikhov Sh.K., Ataev M.G. et al. Endemic goiter is a consequence of iodine and selenium deficiency in the natural environment. *Ekologicheskaya meditsina [Environmental medicine]*. 2019, vol. 1, pp. 66–71. (In Russian)
8. Melnichenko G.A., Troshina E.A., Platonova N.M., Panfilova E.A., Rybakova A.A., Abdulhabirova F.M., Bostanova F.A. Iodine deficiency thyroid disease in the Russian Federation: the current state of the problem. Analytical review of publications and data of official state statistics (Rosstat). *Consilium Medicum*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 14–20. (In Russian) <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.4.190337>
9. Troshina E.A. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problems of Endocrinology*, 2022, vol. 68, no. 4, pp. 4–12. (In Russian) <https://doi.org/10.14341/probl13154>
10. Petunina N.A., Trukhina L.V. *Bolezni shchitovidnoi zhelezy [Diseases of the thyroid gland]*. Moscow, GeoTAr-media Publ., 2011, 216 p. (In Russian)
11. Radzhabova Sh.Sh., Dzhaliilova A.n., Tsarueva T.V., Dzhaliilova D.N. To the question of the thyroid function of the thyroid gland of pregnant women living in iodine-deficiency region (Republic of Dagestan, Akhtyn district, 1675 meters above sea level). *Clinical review for general practice*, 2024, vol. 5, no. 3, pp. 88–92. (In Russian) <https://doi.org/10.47407/kr2023.5.3.00377>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Альбина Н. Джалилова сформулировала идею, собрала данные, написала текст статьи, проанализировала и интерпретировала результаты исследования, отредактировала текст. Динара Н. Джалилова и Тамара В. Царуева подготовили обзор литературных источников, разработали методики исследования, собрали данные, написали текст статьи, проанализировали и интерпретировали результаты исследования. Салидат М. Омарова, Назирбек К. Абудуев, Гази М. Газиев, Малькура Т. Юсупова и 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

Albina N. Dzhaliilova formulation the idea of the study, undertook data collection, participated in writing the article, analysed and interpreted research results and undertook scientific text editing. Dinara N. Dzhaliilova and Tamara V. Tsarueva prepared the review of literary sources, developed research methodology, collected data, participated in writing the article and analysed and interpreted research results. Salidat. M. Omarova, Nazirbek. K. Abuduev, Gazi M. Gaziev, Malkura T. Yusupova and Umiyat A. Magomedova, prepared the review of literary sources, undertook generalisation of data and prepared tabular material. All 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

Альбина Н. Джалилова / Albina N. Dzhaliilova <https://orcid.org/0000-0001-8273-0944>
 Салидат М. Омарова / Salidat M. Omarova <https://orcid.org/0000-0002-4034-0742>
 Динара Н. Джалилова / Dinara N. Dzhaliilova <https://orcid.org/0000-0002-4754-6794>
 Тамара В. Царуева / Tamara V. Tsarueva <https://orcid.org/0000-0003-0700-2378>
 Назирбек К. Абудуев / Nazirbek. K. Abuduev <https://orcid.org/0000-0002-6550-9348>
 Гази М. Газиев / Gazi M. Gaziev <https://orcid.org/0000-0002-8229-5935>
 Малькура Т. Юсупова / Malkura T. Yusupova <https://orcid.org/0000-0002-4635-6796>
 Патимат С. Саидова / Patimat S. Saidova <https://orcid.org/0000-0003-0236-891X>
 Умият А. Магомедова / Umiyat A. Magomedova <https://orcid.org/0000-0002-4939-2637>

Оригинальная статья / Original article

УДК 577.3

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-11



Антибактериальное действие экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) в отношении штаммов чистых культур *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus*

Ашура И. Исрапилова¹, Аслан М. Алиев^{2,3}, Айна А. Адиева^{1,6}, Альбина М. Джафарова⁴,
Зиярат А. Гусейнова², Патимат А. Муртузалиева⁵

¹Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского Федерального Исследовательского центра Российской Академии Наук, Махачкала, Россия

²Горный ботанический сад Дагестанского Федерального Исследовательского центра Российской Академии Наук, Махачкала, Россия

³Институт физики Дагестанского Федерального Исследовательского центра Российской Академии Наук, Махачкала, Россия

⁴Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

⁵Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

⁶Научно-клинический центр имени Башларова, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Ашура И. Исрапилова, аспирант, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского Федерального Исследовательского центра Российской Академии Наук; 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45.
Тел. +79331111529
Email ms.israpilova98@bk.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>

Формат цитирования

Исрапилова А.И., Алиев А.М., Адиева А.А., Джафарова А.М., Гусейнова З.А., Муртузалиева П.А. Антибактериальное действие экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) в отношении штаммов чистых культур *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus* // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, N 3. С. 116-123. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-11

Получена 20 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 19 июля 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

В работе приводятся результаты изучения антибактериальной активности сверхкритического углекислотного экстракта надземной части Чабера садового (*Satureja hortensis*) в отношении бактерий *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus*.

Целью статьи является исследование антибактериальных свойств экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) в отношении инфекций, вызванных золотистым стафилококком (*Staphylococcus aureus*), кишечной палочкой (*Escherichia coli*) и сальмонеллой (*Salmonella* spp.).

В ходе эксперимента изучены на противомикробную активность в отношении данных бактерий экстракт Чабера садового полученный методом сверхкритической углекислотной экстракции. Компонентный состав экстракта определяли методом хромато-масс-спектрометрии. Для определения антибактериальной активности использовали метод разведений в жидкой среде с последующим измерением нарастания биомассы суспензионной культуры. Активность экстракта сравнивали с сертифицированными препаратами, включенными в протоколы лечения бактериальных инфекций, в качестве отрицательного контроля использовали ДМСО и калий фосфатный буфер.

Результаты исследования показали, что экстракт проявляет высокую антибактериальную активность в отношении ко всем изученным штаммам бактерий и имеет прямую положительную корреляцию от его концентрации. Хромато-масс-спектральный анализ показал содержание в экстракте Чабера садового 28 веществ, основными из которых были тимол (30,51 %), гамма-терпинен (15,27 %), пара-цимен (14,25 %) и Карвакрол (9,18 %), которые как индивидуально, так и в комплексе могли проявить антибактериальную активность.

Сверхкритический углекислотный экстракт проявляет выраженное антимикробное действие в отношении референтных штаммов *S. aureus*, *Escherichia coli* и *Salmonella* spp.

Ключевые слова

Антибактериальная активность, Чабер садовый, хромато-масс-спектрометрия, сверхкритическая технология.

Antibacterial activity of Savory (*Satureja hortensis*) extract against pure culture strains of *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*

Ashura I. Israpilova¹, Aslan M. Aliev^{2,3}, Aina A. Adieva¹, Albina M. Dzhafarova⁴, Ziyarat A. Guseynova² and Patimat A. Murtuzalieva⁵

¹Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

³Institute of Physics, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan State University, Makhachkala, Russia

⁵N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

⁶Bashlarov Scientific and Clinical Centre, Makhachkala, Russia

Principal contact

Ashura I. Israpilova, postgraduate student, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadzhiev St, Makhachkala, Russia 367000. Tel. +79331111529

Email ms.israpilova98@bk.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>

How to cite this article

Israpilova A.I., Aliev A.M., Adieva A.A., Dzhafarova A.M., Guseynova Z.A., Murtuzalieva P.A. Antibacterial activity of Savory (*Satureja hortensis*) extract against pure culture strains of *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):116-123. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-11

Received 20 March 2024

Revised 19 July 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

The paper presents the results of a study of the antibacterial activity of supercritical carbon dioxide extract of the aboveground part of Savory (*Satureja hortensis*) against *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus* bacteria.

To study the antibacterial properties of Savory extract (*Satureja hortensis*) against infections caused by *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp.

In the course of the experiment, Savory extract obtained by supercritical carbon dioxide extraction was studied for antimicrobial activity against these bacteria. The component composition of the extract was determined by chromatography–mass spectrometry. To determine the antibacterial activity, we used the method of dilution in a liquid medium with subsequent measurement of the growth of the suspension culture biomass. The activity of the extract was compared with certified drugs included in the protocols for the treatment of bacterial infections. DMSO and potassium phosphate buffer were used as a negative control.

The studies showed that the extract exhibits high antibacterial activity against all the studied bacterial strains and has a direct positive correlation with its concentration. Chromatographic mass-spectrometry analysis showed that the extract of garden Savory contains 28 substances, the main ones being thymol (30.51 %), gamma-terpinene (15.27 %), paracymene (14.25 %) and Carvacrol (9.18 %), which both individually and in combination could exhibit antibacterial activity.

Supercritical carbon dioxide extract exhibits pronounced antimicrobial activity against reference strains of *S. aureus*, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp.

Key Words

Antibacterial activity, garden Savory, chromatograph mass spectrometry, supercritical technology.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время антибактериальные препараты могут вызывать различные побочные эффекты при длительном применении, что ограничивает их использование в медицине. К тому же устойчивость микроорганизмов к синтетическим химиопрепаратам постоянно возрастает [1].

Среди природных биологически активных соединений, определяющих терапевтический эффект лекарственных растений, применяемых для лечения различных заболеваний, особое внимание заслуживают растения семейства Яснотковые, содержащие эфирные масла и фенольные соединения (чабрец, душица, тимьян) [2].

Чабер садовый (*Satureja hortensis*) — один из представителей семейства *яснотковых*, эфирное масло которого используется в различных областях, от пищевой промышленности и медицины до ароматерапии [2]. Лекарственным сырьем является надземная часть Чабера садового, которая содержит до 1,5 % эфирного масла, в составе которого содержатся более 30 соединений различной химической природы [3]. Эфирные масла содержат противомикробные компоненты, которые высокоактивны против широкого спектра микроорганизмов. Они являются натуральными, экологически безопасными веществами [1] и имеют широкий диапазон состава в зависимости от зоны произрастания и климатических условий [2].

Satureja hortensis L. представляет повышенный интерес благодаря своему химическому составу, богатому монотерпенами, агликоновыми и гликозилатными флавоноидами, а также фенольными кислотами [4], что приводит к различным потенциальным применениям при лечении некоторых очень серьезных заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, рак, болезнь Альцгеймера, наряду с антиоксидантными, противомикробными и противовоспалительными свойствами [5].

Как установлено в литературе [6] основными компонентами эфирного масла *S. hortensis* являются карвакрол, γ -терпинен, l -цимен, тимол, кариофиллен, α -терпинолен, β -пинен, α -туйен и α -пинен, которые обладают антибактериальной, противовирусной и противогрибковой активностью [6; 7]. Карвакрол является основным компонентом ароматных эфирных масел, известен как ингибитор роста различных бактерий и грибов. Эффективность эфирных масел в предотвращении роста бактерий стимулирует исследования по извлечению этих масел из лекарственных растений и исследования их антибактериальной активности. Были исследованы возможные различия в антибактериальной активности экстрагированных эфирных масел в отношении грамположительной и грамотрицательной бактерии (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Salmonella*) [8].

Escherichia coli является важным патогеном человека и животных, вызывающим серьезную проблему общественного здравоохранения и влекущим за собой значительное экономическое бремя. *Salmonella* является патогеном человека и вызывает серьезную проблему общественного здравоохранения во всем мире [9]. *Staphylococcus aureus* может вызывать различные зоонозные инфекции и пищевые отравления [10]. Вспышки пищевого отравления вызванного *S. aureus* и его энтеротоксинами, зарегистрированы во всем мире [11; 12].

Таким образом, целью нашего исследования явилось получение экстракта растения Чабера садового (*Satureja hortensis*), определение его химического состава и изучение антибактериальной активности в отношении штаммов чистых культур *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экстракт из высушенной надземной части Чабера садового (собран в с. Кегер, Дагестан, Россия) получали методом сверхкритической углекислотной экстракции при давлении 30 МПа и температуре 40 °С в течение 90 минут со скоростью потока CO₂ 1,5 кг/час на установке, подробно описанной в нашей работе [16]. Перед загрузкой в экстрактор сырье измельчали до размеров 0,3–0,5 мм. Метод сверхкритической углекислотной экстракции был выбран из-за его возможности максимально извлекать из растительного сырья как окси- так и термолабильных соединений [17].

Компонентный состав экстракта определяли методом хромато–масс–спектрометрии на приборе Shimadzu GCMP – QP 2010plus на колонке Supelco SLBTM – 5ms (30м x0,25мм x0,25мкм). Перед вводом в прибор экстракт разводили в *n*-гексане в 200 раз и анализировали с делением потока 1:40 в режиме «split». Идентификацию веществ осуществляли по лицензионным библиотекам масс-спектров NIST08 и FFNSC. Подробно о методе хромато-масс-спектрального исследования можно прочитать в нашей работе [18].

Для работы использовали 2 концентрации данного экстракта: с разведением в ДМСО (для повышения растворимости) – 300 мкл экстракта + 3 мл ДМСО (100 мкл/мл); и в калий-фосфатном буфере (КФБ) – 200 мкл экстракта + 2 мл ДМСО и 2 мл КФБ (50 мкл/мл). Также, были получены 2 контрольные пробы: ДМСО и положительный контроль, содержащий инокулированную питательную среду без эфирного масла. Отрицательные контроли содержали эфирное масло в стерильной среде.

Чувствительность экстракта определяли к трем культурам: *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538p) и *Salmonella* spp. (A-225), полученные из ГКПМ – Оболенск. Культуры были свободными от присутствия грибковой флоры. Инокулят был приготовлен методом прямого суспендирования. Бактериальную суспензию доводили до плотности 0,5 по стандарту мутности МакФарланда, что приблизительно соответствует нагрузке $1-2 \times 10^8$ КОЕ/мл. Затем суспензию разбавляли до концентрации $1-2 \times 10^5$ КОЕ/мл.

В чашки Петри со свежеприготовленным агаром (15 мл) добавлялось по 1 мл различных концентраций экстракта и 0,1 % диметилсульфоксида (ДМСО). После застывания среды под ультрафиолетовым облучателем производили посев чашек чистыми культурами. Чашки Петри инкубировали в аэробных условиях при 37 °С в течение 24 часов.

Для изучения антибактериальной активности Чабера Садового и определения его минимальной подавляющей концентрации (МПК) использовали метод разведений в жидкой среде с последующим измерением нарастания биомассы суспензионной культуры. МПК, считалась самая низкая концентрация экстракта, при которой не было обнаружено видимого роста.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выход из Чабера садового жирорастворимых веществ (экстракта) составил 2,8 % (массовые). В ходе изучения компонентного состава экстракта методом хромато-

масс-спектрометрии было обнаружено 28 веществ, доминирующими из которых были тимол (30,51 %), карвакрол (9,18 %), γ -терпинен (15,27 %), п-цимен (14,25 %) (табл. 1).

Таблица 1. Компонентный состав экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*)**Table 1.** Component composition of the extract of Savory (*Satureja hortensis*)

Наименование компонентов Name of components	Массовая доля компонентов, % Mass fraction of components, %
Thujene <alpha->	0,53
Pinene <alpha->	0,48
Vinyl amyl carbinol	0,22
Myrcene	1,56
Phellandrene <alpha->	0,27
Carene <delta-3->	0,09
Terpinene <alpha->	2,12
Cymene <para->	14,25
Limonene	0,51
Phellandrene <alpha->	0,23
O-cimene <beta->	0,09
Terpinene <gamma->	15,27
Sabinene hydrate <cis->	0,43
Terpinolene	0,12
Sabinene hydrate <trans->	0,29
Borneol	0,15
Terpinen-4-ol	0,55
Cymen-8-ol <para->	0,05
Terpineol <alpha->	0,15
Thymoquinone	1,62
Thymol	30,51
Carvacrol	9,18
Isoascaridole	0,21
Caryophyllene	1,38
Thymohydroquinone	4,31
Hexadecanoic acid <n->	2,37
9,12,15-Octadecatrienoic acid, Linolenic acid	6,47

Структурные формулы некоторых обнаруженных веществ представлены на рисунке 1.

Данные по противомикробной активности экстракта Чабера садового представлены на рисунках 2–6. В качестве контроля были взяты диски, пропитанные антибиотиками и раствором ДМСО.

Согласно литературным данным, механизм антимикробного действия экстракта объясняется нарушением структуры и функции цитоплазматической мембраны, что сопровождается оттоком компонентов цитоплазмы, включая АТФ, в микроорганизмы-мишени.

Эфирные масла, обладающие гидрофобными свойствами, могут проникать в клеточную мембрану бактерий, растворяться в мембране и, как следствие, снижать ее функцию за счет изменения характера транспорта ионов и инактивации ферментов. В целом, эфирные масла обладают антимикробными свойствами, включаясь и дестабилизируя работу фосфолипидного бислоя клеточной мембраны, ферментов и генетического материала бактерий [8].

Присутствие в экстракте монотерпенов, таких как карвакрол, цимен и тимол, указывает на высокую

возможность антимикробной активности в отношении пищевых продуктов, растений и патогенов человека. Антимикробные анализы, проведенные на нескольких штаммах бактерий в концентрациях 50 и 100 мкл/мл, показали многообещающий результат для разработки противомикробных агентов [5]. П-цимен обладает противомикробными, противораковыми, антиоксидантными, противовоспалительными свойствами. Тимол оказывает активное антигельминтное и одновременно антимикробное действие. Карвакрол обладает антиоксидантными, антимикробными и

противопаразитарными свойствами, а также противовоспалительным, антиноцицептивным, гепатопротекторным, противораковым и обезболивающим действием [13]. Низкая токсичность, приятный запах и вкус позволяют использовать карвакрол как средство, имеющее выраженный антибактериальный эффект. В некоторых источниках упоминается, что тимол обладает важной ингибирующей активностью против *S. aureus*, карвакрол и п-цимен против *E. coli* и γ -терпинен против *S. aureus* [4; 14].

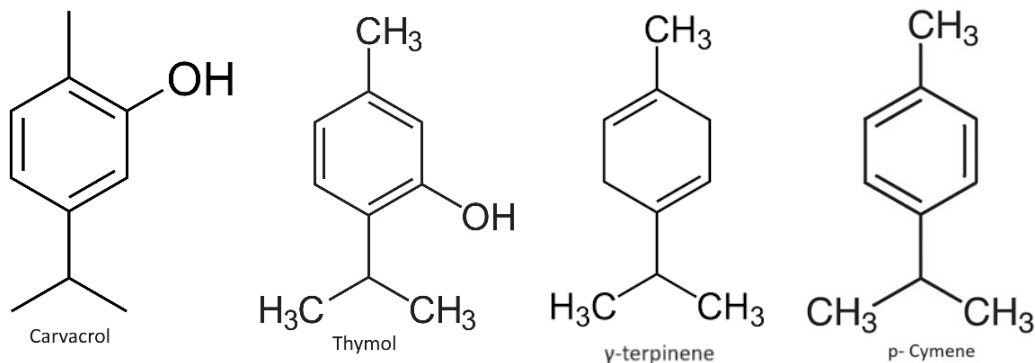


Рисунок 1. Формулы основных классов соединений, обнаруженных в экстракте Чабера садового (*Satureja hortensis*)
Figure 1. Formulas of the main classes of compounds found in the extract of Savory (*Satureja hortensis*)

В эксперименте использовались два метода – диско-диффузионный и метод микроразведений. Обсуждены результаты, полученные с помощью метода микрораз-

ведений (рис. 3–6), так как диско-диффузионный метод (рис. 2) не давал положительного эффекта и не подтверждал теоретические данные.

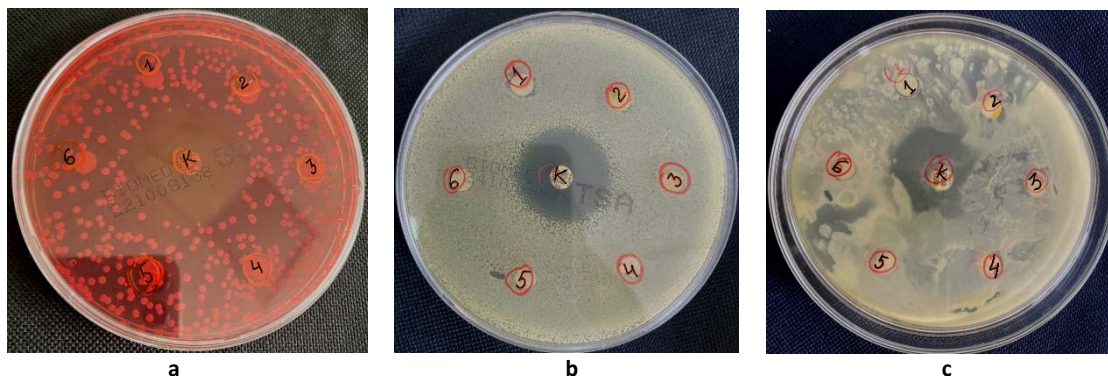


Рисунок 2. Изучение антибактериального эффекта экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) диско-диффузионным методом. а – *Salmonella*, б – *Staphylococcus aureus*, с – *E. coli*

1) 100 мкл экстракта + 1 мл ДМСО; 2) 100 мкл экстракта + 1 мл ДМСО + 1мл КФБ;
 3) 100 мкл экстракта + 2 мл ДМСО + 2 мл КФБ; 4) 1 мл ДМСО; 5) 1мл ДМСО+ 1 мл КФБ;
 6) 2 мл ДМСО + 2 мл КФБ

Figure 2. Study of the antibacterial effect of Savory (*Satureja hortensis*) extract by the disk diffusion method.

a – *Salmonella*, b – *Staphylococcus aureus*, c – *E. coli*. 1) 100 μ l extract + 1 ml DMSO;
 2) 100 μ l extract + 1 ml DMSO + 1 ml CPB; 3) 100 μ l extract + 2 ml DMSO + 2 ml CPB;
 4) 1 ml DMSO; 5) 1 ml DMSO + 1 ml CPB; 6) 2 ml DMSO + 2 ml CPB

Таким образом, экстракт Чабера садового, несмотря на многочисленные теоретические данные о наличии антимикробного действия, при использовании диско-диффузионного метода не снижал пророст популяции бактерий исследуемых видов. На рисунке 2 можно наблюдать видимый бактериальный рост в виде множества обособленных, разовых колоний культуры *Salmonellas* spp., равномерного, сплошного посева культуры *Staphylococcus aureus*, а также, посева сложной формы культуры *E. coli*. В настоящее время появление новых механизмов антибиотико-резистентности у микроорганизмов требует более

строгой стандартизации процедуры тестирования и разработки новых подходов к интерпретации результатов. В связи с этим в данном эксперименте отдавалось предпочтение методу микроразведений.

Исследования показали, что экстракт Чабера садового оказывает широкий спектр действия, ингибируя рост всех тестовых объектов (рис. 3). Интенсивность воздействия незначительно варьировала в зависимости от концентрата и вида культуры бактерий. Так, экстракт наибольший бактериостатический эффект проявили по отношению ко всем исследуемым бактериям в концентрации

100 мкл/мл в сочетании с ДМСО. К смеси экстракта Чабера садового, ДМСО и КФБ (50 мкл/мл) наиболее чувствительными из тестовых объектов оказались *Salmonella* и *Staphylococcus aureus*. Наименее подверженной действию данной смеси оказалась

кишечная палочка, наблюдается рост колоний, количество которых варьировало от 10 до 25. Бактериостатическое воздействие на тестовые микроорганизмы растворов ДМСО не выявлено (табл. 2).

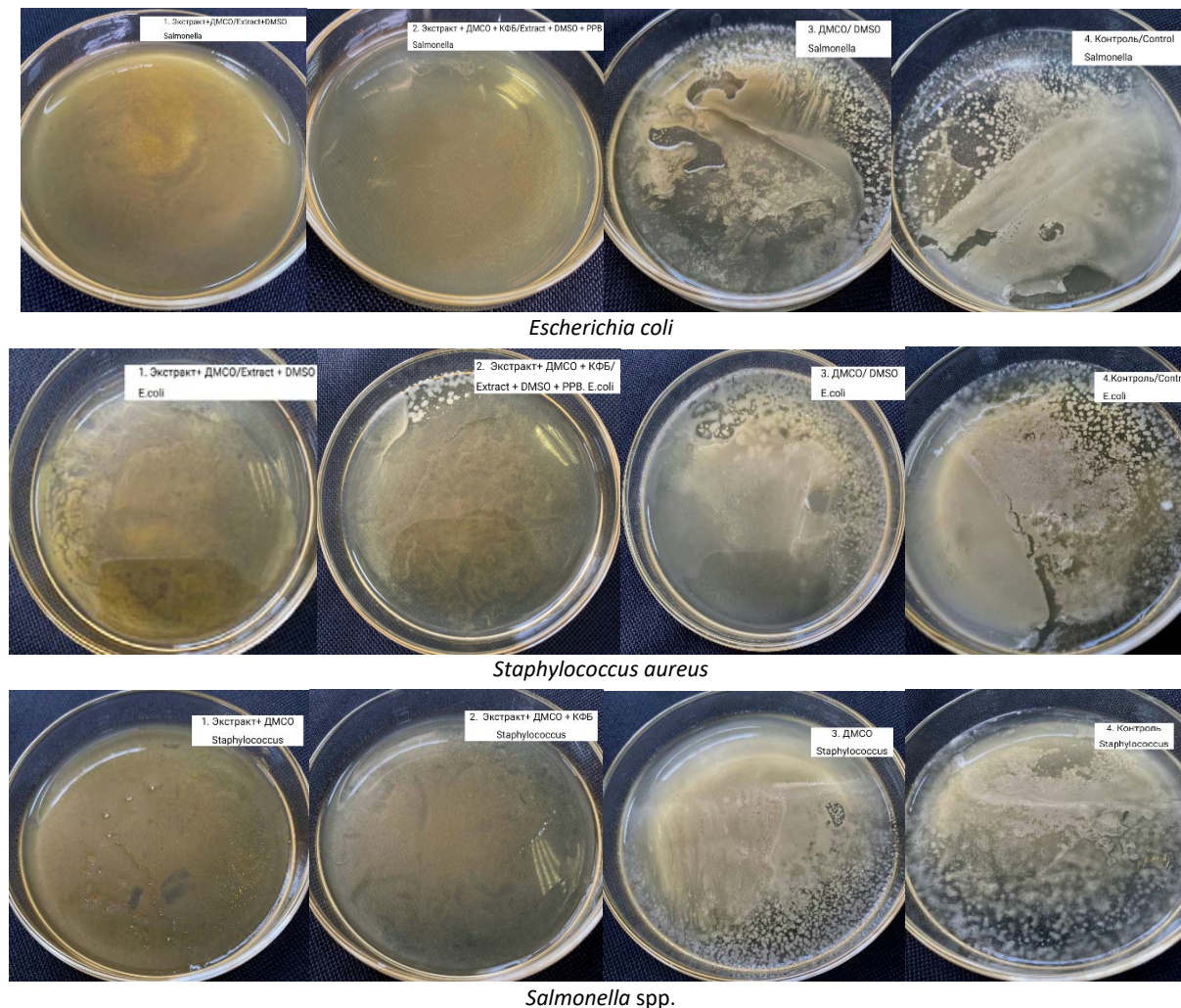


Рисунок 3. Влияние экстракта Чабера садового (*Satureja hortensis*) на штаммы чистых культур *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus*

Figure 3. Effect of Savory (*Satureja hortensis*) extract on pure culture strains of *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*

Таблица 2. Ингибирование роста культур бактерий экстрактом Чабера садового (*Satureja hortensis*)

Table 2. Inhibition of bacterial culture growth by Savory (*Satureja hortensis*) extract

Исследуемые смеси веществ Mixtures of substances under study	Число жизнеспособных КОЕ/мл Viable cell count CFU/ml		
	<i>Salmonella</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
Экстракт Чабера садового (100 мкл/мл) + ДМСО Garden Savory Extract (100 µl/ml) + DMSO	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
Экстракт Чабера садового (50 мкл/мл) + ДМСО + КФБ. Garden Savory Extract (50 µl/ml) + DMSO + potassium phosphate buffer	3,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	15,0 ± 2,0
ДМСО / DMSO	110,0 ± 5,0	130,0 ± 5,0	150,0 ± 5,0
Контроль / Control	155,0 ± 4,0	167,0 ± 3,0	175,0 ± 3,0

Примечание: Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение
Note: Data are presented as mean ± standard deviation

Сравнение ингибирования бактериального роста *S. aureus* и *E. coli* при одинаковых концентрациях

экстракта показало, что грамотрицательная бактерия *E. coli* была более устойчива к эфирным маслам, чем

грамположительная бактерия *S. aureus*. Это может быть связано с большей сложностью двухмембранной клеточной оболочки грамотрицательных микроорганизмов по сравнению с одномембранным гликопротеином грамположительной бактерии *S. aureus* [8; 15].

Наибольший эффект экстракт проявляет в сочетании с ДМСО с концентрацией 100 мкл/мл. Процент подавления колоний варьировал от 90 до 100 %. При высокой бактериальной нагрузке фитозащитный экстракт эффективно подавлял рост бактерий только в максимально изученной концентрации. В случаях разведения в КФБ и ДМСО с концентрацией 50 мкл/мл наблюдался незначительный бактериальный рост. ДМСО в данном эксперименте выраженного антибактериального эффекта не проявлял.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сверхкритический углекислотный экстракт проявляет выраженное антимикробное действие в отношении референтных штаммов *S. aureus*, *Escherichia coli* и *Salmonella* spp. Антибактериальное действие экстракта в отношении чистых культур позволяет предполагать его активность и в отношении изолятов, и возможность включения его в качестве компонента комбинированных препаратов для лечения инфекций, вызванных антибиотикоустойчивыми штаммами. Ингибирующее действие экстракта Чабера садового в отношении штаммов бактерий можно объяснить повышенным содержанием биологически активных соединений класса монотерпенов, особенно терпинена, тимола и карвакрола. В настоящем исследовании экстракт Чабера садового показал активность против тестируемых бактерий, при этом *S. aureus* был наиболее чувствительным.

Хромато-масс-спектральный анализ выявил в сверхкритическом углекислотном экстракте 28 веществ, основными из которых были тимол, карвакрол, γ -терпинен, п-цимен, которые могут быть ответственны за выявленные антимикробные действия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постникова О.Н., Шевкопляс Л.А., Кувяда Т.А., Сатаева Т.П., Кирсанова М.А., Логадырь Т.А. Влияние эфирного масла Чабера горного на рост культур условно-патогенных микроорганизмов. // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2022. Т. 99 N 6. С. 701–707. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-262>
2. Chambre D.R., Moisa C., Lupitu A., Copolovici L., Pop G., Copolovici D. M. Chemical composition, antioxidant capacity, and thermal behavior of *Satureja hortensis* essential oil // Sci Rep. 2020. V.10. N 1. doi: 10.1038/s41598-020-78263-9
3. Найда Н.М., Донских Н.А., Никулин А.Б. Изучение Чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в Ленинградской области // Агрономия, ветеринария и зоотехния. 2015. N 42. С.11–15.
4. Popovici R.A., Vaduva D., Pinzaru I., Dehelean C.A., Farcas C.G., Coricovac D., Danciu C., Popescu I., Alexa E., Lazureanu V., Stanca N.T. A comparative study on the biological activity of essential oil and total hydro-alcoholic extract of *Satureja hortensis* L. // Exp Ther Med. 2019. V. 18. N 2. P. 932–942. doi: 10.3892/etm.2019.7635
5. Khutami C., Sumiwi S.A., Khairul Ikram N.K., Muchtaridi M. Antioxidants from Natural Products on Obesity, Dyslipidemia, Diabetes and Their Molecular Signaling Mechanism // The Effects of. Int J Mol Sci. 2022. V. 23. N 4. P. 2056. doi: 10.3390/ijms23042056
6. Farzaneh M., Kiani H., Sharifi R., Reisi M., Hadian J. Chemical

- composition and antifungal effects of three species of *Satureja* (*S. hortensis*, *S. spicigera* and *S. khuzistanica*) essential oils on the main pathogens of strawberry fruit // PostharvestBiol.Tech. 2015. V. 10. N 4. P. 145–151.
7. Sharifi A., Mohammadzadeh A., Zahraei Salehi T., Mahmoodi P. Antibacterial, antibiofilm and quorum sensing effects of *Thymus daenensis* and *Satureja hortensis* essential oils against *Staphylococcus aureus* isolates // J Appl Microbiol. 2018. V. 124. N 2. P. 379–388. doi: 10.1111/jam.13639
 8. Bimbiraitė-Survilienė K., Stankevičiūtė M., Šuštauskaitė S., Gegotek A., Maruška A., Skrzydlewska E., Barsteigienė Z., Akuņeca I., Ragažinskienė O., Lukošius A. Evaluation of Chemical Composition, Radical Scavenging and Antitumor Activities of *Satureja hortensis* L. Herb Extracts. Antioxidants (Basel). 2021. V. 10. N 1. P. 53. doi: 10.3390/antiox10010053
 9. Seyedtaghiya M.H., Fasaee B.N., Peighambari S.M. Antimicrobial and antibiofilm effects of *Satureja hortensis* essential oil against *Escherichia coli* and *Salmonella* isolated from poultry. Iran J Microbiol. 2021. V. 13. P. 74–80. doi: 10.18502/ijm.v13i1.5495
 10. Liu G., Liu A., Yang C., Zhou C., Zhou Q., Li H., Yang H., Mo J., Zhang Z., Li G., Si H., Ou C. Portulaca oleracea L. organic acid extract inhibits persistent methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in vitro and in vivo // Front Microbiol. 2023. P. 12. doi: 10.3389/fmicb.2022.1076154
 11. Guo Y., Yu X., Wang J., Hua D., You Y., Wu Q., Ji Q., Zhang J., Li L., Hu Y., Wu Z., Wei X., Jin L., Meng F., Yang Y., Hu X., Long L., Hu S., Qi H., Ma J., Bei W., Yan X., Wang H., He Z. A food poisoning caused by ST7 *Staphylococcus aureus* harboring sea gene in Hainan province, China // Front Microbiol. 2023. pp. 9. doi: 10.3389/fmicb.2023.1110720
 12. Wang H., Shen J., Zhu C., Ma K., Fang M., Li B., Wang W., Xue T. Antibiotics Resistance and Virulence of *Staphylococcus aureus* Isolates Isolated from Raw Milk from Handmade Dairy Retail Stores in Hefei City, China // Foods. 2022. P. 12. doi: 10.3390/foods11152185
 13. Sharifi-Rad M., et al. Carvacrol and human health: A comprehensive review // Phytother. Res. 2018. V. 32. P. 1675–1687. doi: 10.1002/ptr.6103
 14. Ejaz A., Waliat S., Arshad M.S., Khalid W., Khalid M.Z., Rasul Suleria H.A., Luca M.I., Mironeasa C., Bataricuc A., Ungureanu-Luga M., Coțovanu I., Mironeasa S. A comprehensive review of summer Savory (*Satureja hortensis* L.): promising ingredient for production of functional foods // Front Pharmacol. 2023. V. 24. N 14. doi: 10.3389/fphar.2023.1198970
 15. Tafi A.A., Meshkini S., Tukmechi A., Alishahi M., Noori F. Therapeutic and Histopathological Effect of Aloe vera and *Salvia officinalis* Hydroethanolic Extracts against *Streptococcus iniae* in Rainbow Trout // Arch Razi Inst. 2020. V. 75. N 2. P. 257–287. doi: 10.22092/ari.2019.122855.1232
 16. Aliev A.M., Abdulgatov I.M. The study of microalgae *Nannochloropsis salina* fatty acid composition of the extracts using different techniques. SCF vs conventional extraction // Journal of Molecular Liquids. 2017. V. 239. P. 96–100.
 17. Aliev A.M., Radzhabov G.K. The Dependence of the Component Composition of the Extract of *Satureja hortensis* L. on the Pressure of the Process of Supercritical CO₂ Extraction // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2022. V. 16. N 8. P. 1402–1408.
 18. Siwar M., Ridha El M., Aliev A.M., Alessandra P., Silvia P., Saoussen H. Effect of pressure variation on the efficiency of supercritical fluid extraction of wild carrot (*Daucus carota* subsp. *maritimus*) extracts // Journal of Chromatography B. 2019. V. 1125. P. 121.

REFERENCES

1. Postnikova O.N., Shevkopyas L.A., Kuvyada T.A., Sataeva T.P., Kirsanova M.A., Logadyr T.A. The influence of mountain Savory essential oil on the growth of cultures of opportunistic microorganisms. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*, 2022, vol. 99, no. 6, pp. 701–707. (In Russian)

<https://doi.org/10.36233/0372-9311-262>

2. Chambre D.R., Moisa C., Lupitu A., Copolovici L., Pop G., Copolovici D.M. Chemical composition, antioxidant capacity, and thermal behavior of *Satureja hortensis* essential oil. *Sci Rep.* 2020, vol.10, no. 1 doi: 10.1038/s41598-020-78263-9
3. Nayda N.M., Donskikh N.A., Nikulin A.B. Study of Garden Savory (*Satureja hortensis* L.) in the Leningrad region. *Agronomiya, veterinariya i zootekhniya* [Agronomy, veterinary medicine and animal science]. 2015, no. 42, pp. 11–15. (In Russian)
4. Popovici R.A., Vaduva D., Pinzaru I., Dehelean C.A., Farcas C.G., Coricovac D., Dancu C., Popescu I., Alexa E., Lazureanu V., Stanca H.T. A comparative study on the biological activity of essential oil and total hydro-alcoholic extract of *Satureja hortensis* L. *Exp Ther Med.* 2019, vol. 18, no. 2, pp. 932–942. doi: 10.3892/etm.2019.7635
5. Khutami C., Sumiwi S.A., Khairul Ikram N.K., Muchtaridi M. Antioxidants from Natural Products on Obesity, Dyslipidemia, Diabetics and Their Molecular Signaling Mechanism. *The Effects of. Int J Mol Sci.* 2022, vol. 23, no. 4, pp. 2056. doi: 10.3390/ijms23042056
6. Farzaneh M., Kiani H., Sharifi R., Reisi M., Hadian J. Chemical composition and antifungal effects of three species of *Satureja* (*S. hortensis*, *S. spicigera* and *S. khuzistanica*) essential oils on the main pathogens of strawberry fruit. *Postharvest Biol. Tech.* 2015, vol. 10, no. 4, pp. 145–151.
7. Sharifi A., Mohammadzadeh A., Zahraei Salehi T., Mahmoodi P. Antibacterial, antibiofilm and quorum sensing effects of *Thymus daenensis* and *Satureja hortensis* essential oils against *Staphylococcus aureus* isolates. *J Appl Microbiol.* 2018, vol. 124, no. 2, pp. 379–388. doi: 10.1111/jam.13639
8. Bimbiraitė-Survilienė K., Stankevičius M., Šuštauskaitė S., Gegotek A., Maruška A., Skrzydlewska E., Barsteigienė Z., Akuņeca I., Ragažinskienė O., Lukošius A. Evaluation of Chemical Composition, Radical Scavenging and Antitumor Activities of *Satureja hortensis* L. Herb Extracts. *Antioxidants (Basel).* 2021, vol. 10, no. 1, pp. 53. doi: 10.3390/antiox10010053
9. Seyedtaghiya M.H., Fasaee B.N., Peighambari S.M. Antimicrobial and antibiofilm effects of *Satureja hortensis* essential oil against *Escherichia coli* and *Salmonella* isolated from poultry. *Iran J Microbiol.* 2021, vol. 13, pp. 74–80. doi: 10.18502/ijm.v13i1.5495
10. Liu G., Liu A., Yang C., Zhou C., Zhou Q., Li H., Yang H., Mo J., Zhang Z., Li G., Si H., Ou C. *Portulaca oleracea* L. organic acid

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ашура И. Исрапилова провела эксперимент по определению противомикробной активности экстракта, написала рукопись. Аслан М. Алиев получил экстракт и исследовал его компонентный состав. Айна А. Адиева предложила дизайн исследования. Альбина М. Джафарова рассчитала концентрацию экстракта для определения его противомикробной активности. Зиярат А. Гусейнова собрала характеристические данные по строению экстракта, сделала статистическую обработку. Патимат А. Муртузалиева отредактировала текст, подготовила графический материал. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

- extract inhibits persistent methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in vitro and in vivo. *Front Microbiol.* 2023. pp. 12. doi: 10.3389/fmicb.2022.1076154
11. Guo Y., Yu X., Wang J., Hua D., You Y., Wu Q., Ji Q., Zhang J., Li L., Hu Y., Wu Z., Wei X., Jin L., Meng F., Yang Y., Hu X., Long L., Hu S., Qi H., Ma J., Bei W., Yan X., Wang H., He Z. A food poisoning caused by ST7 *Staphylococcus aureus* harboring sea gene in Hainan province, China. *Front Microbiol.* 2023, pp. 9. doi: 10.3389/fmicb.2023.1110720
12. Wang H., Shen J., Zhu C., Ma K., Fang M., Li B., Wang W., Xue T. Antibiotics Resistance and Virulence of *Staphylococcus aureus* Isolates Isolated from Raw Milk from Handmade Dairy Retail Stores in Hefei City, China. *Foods*, 2022, pp. 12. doi: 10.3390/foods11152185
13. Sharifi-Rad M., et al. Carvacrol and human health: A comprehensive review. *Phytother. Res.* 2018, vol. 32, pp. 1675–1687. doi: 10.1002/ptr.6103
14. Ejaz A., Waliat S., Arshad M.S., Khalid W., Khalid M.Z., Rasul Suleria H.A., Luca M.I., Mironeasa C., Bataricu A., Ungureanu-luga M., Coțovanu I., Mironeasa S. A comprehensive review of summer Savory (*Satureja hortensis* L.): promising ingredient for production of functional foods. *Front Pharmacol.* 2023, vol. 24, no. 14. doi: 10.3389/fphar.2023.1198970
15. Tafi A.A., Meshkini S., Tukmechi A., Alishahi M., Noori F. Therapeutic and Histopathological Effect of Aloe vera and *Salvia officinalis* Hydroethanolic Extracts against *Streptococcus iniae* in Rainbow Trout. *Arch Razi Inst.* 2020, vol. 75, no. 2, pp. 257–287. doi: 10.22092/ari.2019.122855.1232
16. Aliev A.M., Abdulagatov I.M. The study of microalgae *Nannochloropsis salina* fatty acid composition of the extracts using different techniques. SCF vs conventional extraction. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, vol. 239, pp. 96–100.
17. Aliev A.M., Radzhabov G.K. The Dependence of the Component Composition of the Extract of *Satureja hortensis* L. on the Pressure of the Process of Supercritical CO₂ Extractio. *Russian Journal of Physical Chemistry B.* 2022, vol. 16, no. 8, pp. 1402–1408.
18. Siwar M., Ridha El M., Aliev A.M., Alessandra P., Silvia P., Saoussen H. Effect of pressure variation on the efficiency of supercritical fluid extraction of wild carrot (*Daucus carota* subsp. *maritimus*) extracts. *Journal of Chromatography B.* 2019, vol. 1125, pp. 121.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ashura I. Israpilova set up the experiment to determine the antimicrobial activity of the extract and wrote the manuscript. Aslan M. Aliev obtained the extract and studied its component composition. Aina A. Adieva proposed the study design. Albina M. Dzhaferova calculated the concentrations of the extract to determine its antimicrobial activity. Ziyarat A. Guseynova collected characteristic data on the structure of the extract and undertook statistical processing. Patimat A. Murtuzalievna edited the text and prepared graphic material. All 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

Ашура И. Исрапилова / Ashura I. Israpilova <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>

Аслан М. Алиев / Aslan M. Aliev <https://orcid.org/0000-0002-2181-1801>

Айна А. Адиева / Aina A. Adieva <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>

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

Зиярат А. Гусейнова / Ziyarat A. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-0355-4132>

Патимат А. Муртузалиева / Patimat A. Murtuzalievna <https://orcid.org/0009-0003-6263-7269>

Original article / Оригинальная статья

УДК 639.3.043.2

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-12



Effectiveness of biologically active substances added to sturgeon feeds

Elena N. Ponomareva¹, Anzhelika V. Kovaleva¹, Vadim A. Grigoriev¹ and Nuhkadi I. Rabazanov^{2,3}

¹Federal Research Centre the Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

²Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Anzhelika V. Kovaleva, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Research Centre, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences; 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don, Russia 344006.

Tel. +79275679776

Email anhramova@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8503-6461>

How to cite this article

Ponomareva E.N., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A., Rabazanov N.I. Effectiveness of biologically active substances added to sturgeon feeds. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):124-131. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-12

Received 20 May 2024

Revised 10 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of the vitamin-mineral complex E-selenium and the probiotic preparation Bacell when added to industrial feed on the fish-breeding-biological and physiological-biochemical parameters of juvenile sterlet-beluga hybrids when reared in cages.

The duration of the experiment was 45 days. In experimental option 1, the fish were fed with basic compound feed with the addition of E-selenium (300 µg selenium/kg of feed), in experimental option 2, the fish were fed with basic compound feed with the addition of E-selenium (300 µg selenium/kg of feed) and the Bacell preparation (0.2 % by weight of dry food). The control variant was fed with basic feed.

The absolute increase in the experimental variants was 13.0–25.0 % higher than in the control. Hematological parameters varied – in some cases with a high degree of significance. In particular, hemoglobin increased by 5.6–13 %, blood serum protein by 0.42–12.6 %, cholesterol by 9.8–16.3 % in the experimental variants and by 70.5 % in the control, due to the presence of a high degree of stress in control fish. At the same time, in fish experiments the effects of stress factors were suppressed by antioxidants. Preventive doses of microelements, vitamins and probiotics reduce and stabilise peroxide processes and contribute to the maintenance of good physiological condition of fish kept in artificial conditions.

Key Words

Hybrid of sterlet and beluga, vitamins, microelements, probiotic, food, sturgeon.

Эффективность добавления биологически активных веществ в корма осетровых рыб

Елена Н. Пономарева¹, Анжелика В. Ковалева¹, Вадим А. Григорьев¹, Нухкади И. Рабазанов^{2,3}

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону

²Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского Федерального Исследовательского центра Российской Академии Наук, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Анжелика В. Ковалева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»; 344006 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

Тел. +79275679776

Email anhramova@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8503-6461>

Формат цитирования

Ponomareva E.N., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A., Rabazanov N.I. Effectiveness of biologically active substances added to sturgeon feeds // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 124-131. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-12

Получена 20 мая 2024 г.

Прошла рецензирование 10 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель настоящих исследований заключается в изучении влияния витаминно-минерального комплекса Е-селен и пробиотического препарата Бацелл при кормлении промышленным комбикормом на рыбоводно-биологические и физиолого-биохимические показатели молоди гибрида стерляди и белуги при выращивании в садках.

Срок проведения эксперимента составил 45 суток. В опытном варианте 1 кормление рыб осуществлялось базовым комбикормом с добавлением Е-селена (300 мкг селена/кг корма), в опытном варианте 2 – базовым комбикормом с добавлением Е-селена (300 мкг селена/кг корма) и препарата Бацелл (0,2 % от массы сухого корма). Контрольный вариант кормили базовым комбикормом.

Абсолютный прирост в опытных вариантах был на 13,0–25,0 % выше, чем в контроле. Гематологические показатели различались и в некоторых случаях с высокой степенью достоверности. В частности, гемоглобин увеличился на 5,6–13 %, белок сыворотки крови – на 0,42–12,6 %, холестерин – на 9,8–16,3 % в опытных вариантах и на 70,5 % в контрольном, что обусловлено наличием высокой степени стресса у контрольных рыб. В то же время у рыб в опытах действия факторов стресса купируют антиоксиданты.

Профилактические дозы микроэлементов, витаминов и пробиотиков, в первую очередь, направлены на снижение и стабилизацию перекисных процессов и поддержание хорошего физиологического состояния рыб, содержащихся в искусственных условиях.

Ключевые слова

Гибрид стерляди и белуги, витамины, микроэлементы, пробиотик, корм, осетр.

INTRODUCTION

In order to improve fish breeding biotechniques, one of the directions of improvement is the use of adaptogenic agents, which include antioxidants that regulate the intensity of lipid reoxidation [1–7]. Vitamins and trace elements, in particular, vitamin E (α -tocopherol) and the trace element selenium, which forms enzymes with proteins, as well as selenium in organic form, selenomethionine (SeMet) possessing antioxidant properties, are used to regulate the reoxidation of polyunsaturated fatty acids and stabilize cell membranes in animals [8].

The most common form of vitamin E, alpha-tocopherol, and the chemical element selenium (Se), which enhances the effects of other antioxidants, are combined in E-Selenium. It protects the body's cells from reactive oxygen species O_2 and suppresses the activity of free radicals, thereby reducing the level of lipid peroxidation (LPO). This complex supports liver function, normalizes the reproductive processes of animals, and participates in the functioning of the thyroid gland. The use of an inorganic form of selenium – sodium selenite, which is hundreds of times more effective than vitamin E, helps reduce the need for vitamin E in animals and fish [9–13].

The administration of injections and feed supplements of selenium with various vitamins to farm animals (cows, sheep, chickens) has been studied extensively. However, very little research has been carried out on the effects of vitamin E and selenium on fish, and especially sturgeon, and the results that exist are scanty and do not give the whole picture of the action of the complex [14; 15].

There are studies of the effect of E-selenium on juveniles and fingerlings of trout, which led to enhanced growth and normalization of metabolism due to the activation of phospholipids and triacylglycerols [16]. Our earlier studies have shown that the E-selenium complex regulates gonadogenesis and improves the reproductive system of sturgeon fish species, which often exhibit lipid metabolism disorders when reared in a closed water system [17], and also accelerate the dynamics of oocyte maturation of female sturgeons [18; 19].

The progression of pathological condition in fish when reared in artificial conditions can be determined not only by keeping them in a small confined space, but also by the use of easily oxidized polyunsaturated fatty acids in feed. Selenium-containing preparations in complex with vitamins seem to be effective enough to prevent lipid overoxidation in fish feed [20].

Fish are able to accumulate selenium from water and food and concentrate it mainly in the liver and kidneys, where detoxification processes occur. The need for it ranges from 150 to 250 mcg/kg of feed. It is more advisable to introduce selenium into artificial food together with vitamin E, since there is a higher chance of protecting the body from the harmful effects of oxidized fats [12]. Research by A.V. Zhigin and co-authors [21] it was noted that when selenium-containing preparations were added to the feed, it was possible to reduce the concentration of lipids in the body while maintaining active linear growth and development of trout.

In 2012, preliminary studies were carried out to study the effect of various concentrations (300 μ g/kg and 2000 μ g/kg of feed) of E-selenium on the physiological state of young Russian-Lena sturgeon were carried out at the scientific and experimental base of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [22].

Hybrid rearing in a closed water supply unit (CWSU) under optimal water environment parameters revealed a positive effect of feed with vitamin and mineral supplement E-selenium on the physiological state of experimental fish.

Increasingly, veterinarians are choosing probiotics to maintain the normal physiological state of farmed animals. They perfectly complement the vitamins and microelements contained in the feed. Probiotics stimulate the growth of beneficial microorganisms and inhibit the development of pathogenic bacteria, which helps maintain the natural immunity of the animal, including in aquaculture [23]. Maxim E.A. and co-authors note that when feeding the drug "Bacell" to juvenile sterlet, survival rate increases by 5.7 % and weight gain by 9.1 % [24].

However, it is possible that when selenium is used in combination with probiotics, part of the selenium, when interacting with intestinal microflora, will turn into an insoluble form and will be removed from the body without bringing any benefit. This effect has been noted in cattle. In this case, a lack of selenium in the body, complicated by its low level in the environment, negative living conditions, and low-quality feed, can provoke oxidative stress [25].

It is worth considering that aerobic spore-forming bacteria (*Bacillus subtilis*), which are a component of the probiotic, use free oxygen to maintain vital functions and growth. This can enhance the antioxidant properties of selenium, which in turn will have a positive effect on the physiological status and aquaculture quality of fish. A similar interaction was found in *Bacillus ferreus*, which have the ability to reduce selenium compounds [12].

Previously, studies were carried out on young individuals of a hybrid of sterlet and beluga in conditions of a recirculation installation. Positive results were obtained and recommendations were given for the use of the E-selenium drug in combination with the bacterial drug Bacell [26]. Currently, research is continuing; however, the experimental hybrid was kept in cages. The effect of E-selenium and Bacell in the composition of commercial feed on fish farming on biological and physiological parameters of juveniles was studied.

MATERIAL AND METHODS

Experiments on the use of complex E-selenium and the probiotic Bacell in feeding young sterlet and beluga hybrids were conducted in 2023 in the conditions of the cage complex of the Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Kagalnik village, Azov region). The period of experimentation amounted to 45 days. Two experimental groups were allocated: in experiment 1, the fish were fed with basic compound feed with the addition of E-selenium (300 μ g of selenium per 1 kg of compound feed), in experiment 2 – with basic compound feed with the addition of E-selenium (300 μ g of selenium per 1 kg of compound feed) and probiotic drug Bacell (0.2 % of dry feed weight). Drug input rates were determined earlier on other sturgeon species. In the control variant, the hybrids were fed only basic mixed fodder without the addition of experimental preparations. Feeding was carried out 2 times a day. The calculation of the feed dose was carried out according to accepted norms in all variants at the same time.

The hydrological analysis of cage water was carried out 3 times a day. The water temperature during the experiment varied within the range of 18.7–21.2 °C, the

content of dissolved oxygen O₂ in the water was 73–83 % and the pH values of the environment were 5.1–7.2 units. These parameters are optimal for sturgeon farming.

Each of the three groups was kept in a separate square-shaped cage with a capacity of 1 m³ of water. The sample from each experimental cage for studying growth and physiological characteristics was 30 fish per cage. The average weight of fish in the experiment variants at the beginning of the experiment was close in value and amounted to 77.3–81.2 g, differing by 1.5–3.5 % compared to the control.

Growth studies provide insight into the efficiency of the rearing process, taking into account animal housing conditions and the level of digestion of feed. Feeding adequacy also plays an important role. During the experiment, changes in growth rate and fatness of fish were observed.

Weighing, measurement of the studied fish and calculations of mass characteristics (absolute gain (g) and average daily gain (g), etc.) were made in accordance with existing methods.

Average daily gain (specific growth rate, C_w) – change in weight of fish for each day of the period, expressed in percent – was determined according to the formula:

$$C_w = \frac{2(M_t - M_0)}{(M_t + M_0)t} 100 \%$$

where

M₀ – initial mass, g;

M_t – final weight, g;

t – duration of cultivation, days.

The mass accumulation coefficient K_m was calculated according to the formula:

$$K_m = \frac{(M_t^{1/3} - M_0^{1/3}) \cdot 3}{t}$$

where

M₀ – initial mass, g;

M_t – final weight, g;

t – duration of cultivation, days.

The fatness coefficient (Ky) characterises the fatness or "fleshiness" of fish. The fatness factor is defined as the ratio of weight to body length according to the formula of T. Fulton:

$$K_v(\phi) = P \cdot 100 / L^3$$

where

P – fish mass, g;

L – length, cm (in sturgeons in this experiment the entire length of the individual was measured).

To study the physiological and biochemical status of the hybrids, biological material (whole blood) was obtained intravitally from the tail vein. Each sample was formed from the blood of 3 individuals. To understand the physiological state of the juveniles, the following indicators were determined: erythrocyte sedimentation rate, hemoglobin concentration in whole blood, as well as the concentration of total protein and cholesterol in the blood serum. The erythrocyte sedimentation rate was determined by the Panchenkov method, hemoglobin – by the unified cyanmethemoglobin photometric method, its level was determined using the apparatus "Mini-GEM-540". Serum protein content was determined by the biuret

method using a set of reagents, Olvex diagnostikum. Blood cholesterol was determined by the enzymatic method using a set of Olvex diagnostikum reagents [27].

The values of the physiological characteristics of sturgeon species living in the natural environment were considered as the norm. Thus, the normal level of hemoglobin concentration is 50–80 g/l, serum protein – 28–40 g/l, cholesterol 1–2.8 mmol/l and erythrocyte sedimentation rate (ESR) 2–4 mm/hour [28].

The results of the analyses were processed using the Microsoft Excel software package for descriptive statistics with the calculation of a two-sample t-test with different variances, as a result of which the level of significance (p) was determined for the compared unequal small samples [29].

RESULTS OBTAINED AND THEIR DISCUSSION

Examples of the use of preventive doses of E-selenium as an additive in feeding farm animals, including fish [3; 11] indicated a slight increase in size and weight indicators, as well as an improvement in the physiological state of experimental animals.

According to early studies conducted at the aquatic complex of the Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences in 2012 on a hybrid of Russian and Lena sturgeon, the addition of E-selenium at a dose of 300 µg/kg in feed contributed to an increase in the growth rates of juveniles by 3–5 % compared to the control option [17].

When feeding hybrid of sterlet and beluga juveniles with food containing the E-selenium complex (option 1) and the E-selenium + Bacell complex (option 2), positive dynamics were revealed. The absolute increase in the experimental variants was 13.0–25.0 % higher than in the control (table 1, fig. 1). Other growth indicators of hybrid juveniles were also higher.

The hematological parameters of fish at the beginning and end of the study differed and some analytical results revealed significant differences (Table 2). The number of fish in the sample was 15 specimens. (n=15) and each collective blood sample contained blood from 3 individuals).

The erythrocyte sedimentation rate (ESR) at the beginning of the experiment was low in all variants of the experiment (the range of reference values for ESR in fish from natural habitats is 2–4 mm/h). By the end of the study, ESR – in all variants of the experiment – still increased (reliability p < 0.05) in fish in experiment 1. The addition of vitamins, microelements and probiotics probably had an effect on some blood factors that determine the erythrocyte sedimentation rate (viscosity blood, degree of erythrocyte aggregation).

A high level of hemoglobin was found in control fish at the beginning of the experiment in comparison with individuals in experiment 2 and experiment 1 (differences are unreliable). Taking into account the optimal hydrological and hydrochemical parameters of the environment, it is possible to note the increased level of oxidative metabolism in fish in the control variant. By the end of the experiment, the concentration of hemoglobin in blood increased from the initial level in fish of experimental group 2 (by 13.0 %), to which a complex preparation (E-selen + probiotic) was added to the feed. In experiment 1, where E-selen was used, hemoglobin concentration increased insignificantly by 5.6 %. The increase in hemoglobin values indicates the effect of the probiotic and

vitamin and mineral supplements in the feed intended for the experimental groups of fish on the change in hemoglobin level (although the differences registered are

not reliable). The values were within the reference values for fish from natural environment (50–80 g/l).

Table 1. Growth indicators of a hybrid of sterlet and beluga in an experiment with the addition of E-selenium and the probiotic Bacell

Таблица 1. Показатели роста гибрида стерляди и белуги в эксперименте с добавлением E-селена и пробиотика Бацелл

Indicators Показатели	Experience 1 Опыт 1	Experience 2 Опыт 2	Control Контроль
Initial mass, g Масса начальная, г	77,3 ± 8,2	81,2 ± 9,0	78,5 ± 10,2
Final mass, g Масса конечная, г	108,8 ± 6,9*	120,4 ± 10,3*	96,3 ± 9,7
Absolute increase, g Абсолютный прирост, г	31,50	39,2	17,80
Average daily increase, g Среднесуточный прирост, г	0,70	0,81	0,45
Average daily increase, % Среднесуточный прирост, %	0,75	0,86	0,25
Mass accumulation coefficient, units. Коэффициент массонакопления, ед.	0,033	0,039	0,019
Number of fish, n Количество рыб, экз.	30	30	30
Duration of cultivation, days. Продолжительность выращивания, сут.		45	

Note: * – differences in comparison with the initial indicators are significant at $p < 0.01$

Примечание: * – различия по сравнению с исходными показателями достоверны при $p < 0,01$

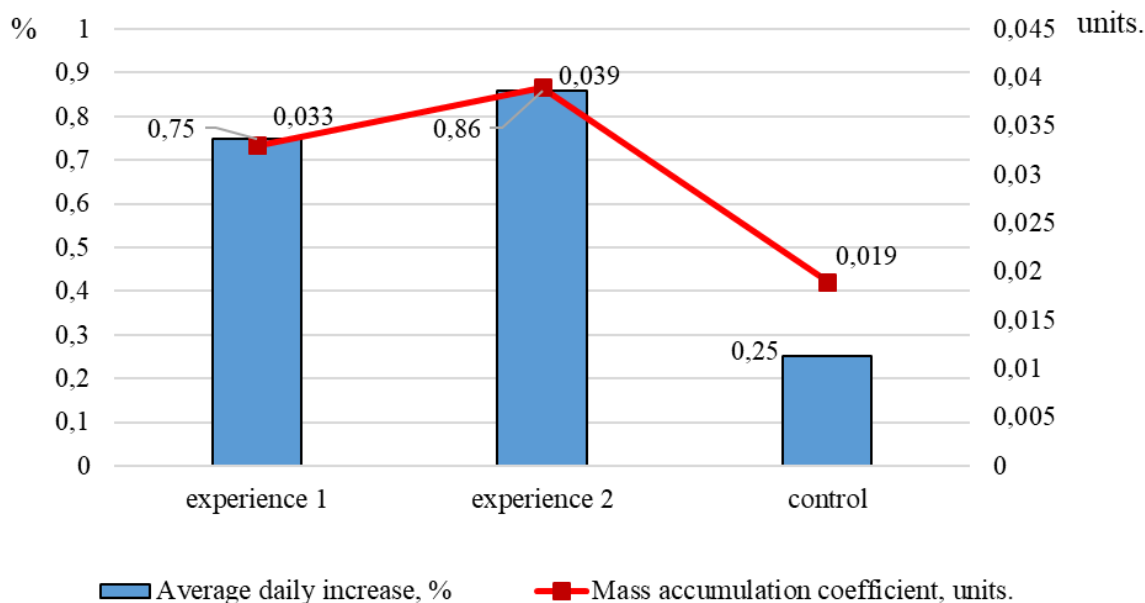


Figure 1. Average daily growth (%) and mass accumulation coefficient of the sterlet-beluga hybrid during the experiment
Рисунок 1. Среднесуточный прирост (%) и коэффициент массонакопления гибрида стерляди и белуги в период проведения эксперимента

Protein concentration in the blood of all groups of fish at the beginning of experimental works was low and did not differ significantly ($p > 0.05$). By the end of the study, its level increased in fish from experiment 2, compared to experiment 1 and control ($p > 0.05$). The same fish at the end of the experiment had higher weight due to higher level of protein metabolism, expressed in increased concentration of total protein in blood (Table 2).

The dynamics of cholesterol in the blood of all groups of fish at the beginning of the experiment was within the norm for sturgeons from the natural

environment (1.0–2.8 mmol/l). During the period of the experiment, the dynamics of cholesterol in all variants was directed towards an increase in the indices but the reliability of differences between the initial level and the final result was revealed only in the control at $p < 0.05$. Since cholesterol is a precursor of corticosteroids that increase under stress, its increase in the blood of control fish appears to be due to this. At the same time in experimental 1 and 2 groups of fish the actions of stress factors are reduced by antioxidants. Thus, the importance of studying metabolic processes occurring in the body of

fish during cultivation in artificial conditions is undeniable, because it helps to timely monitor changes in the physiological state of the object and correct the conditions of maintenance and feeding. An important part of the

feeding process is the introduction of additional components. In this case, probiotic supplements and vitamin-mineral complex were used.

Table 2. Dynamics of hematological parameters in a hybrid of sterlet and beluga during the experiment

Таблица 2. Динамика гематологических показателей у гибрида стерляди и белуги в период проведения эксперимента

Indicators Показатели	Experiment 1 Опыт 1		Experiment 2 Опыт 2		Control Контроль	
	beginning начало	end конец	beginning начало	end конец	beginning начало	end конец
	ESR, мм/ч	1,2 ± 0,13	1,93 ± 0,25*	1,5 ± 0,26	1,88 ± 0,20	1,0 ± 0,12
СОЭ, мм/ч						
Hemoglobin, g/l Гемоглобин, г/л	70,65 ± 8,48	74,59 ± 2,26	62,15 ± 4,22	70,22 ± 5,39	87,61 ± 8,15	79,36 ± 4,55
Total protein, g/l Общий белок, г/л	24,05 ± 1,64	24,15 ± 1,57	24,81 ± 1,17	27,93 ± 1,51	23,55 ± 1,44	24,72 ± 1,61
Cholesterol, mmol/L Холестерин, ммоль/л	2,24 ± 0,16	2,46 ± 0,15	2,70 ± 0,19	3,14 ± 0,24	2,41 ± 0,66	4,11 ± 0,51**

Note: * – differences are reliable in comparison with initial indicators at $p < 0.05$, ** – differences are reliable in comparison with initial indicators at $p < 0.10$, and in comparison with final indicators of experiment 1 at $p < 0.01$

Примечание: * – различия достоверны по сравнению с исходными показателями при $p < 0,05$, ** – различия достоверны по сравнению с исходными показателями при $p < 0,10$, а также по сравнению с конечными показателями эксперимента 1 при $p < 0,01$

CONCLUSIONS

It was revealed that the use of E-selenium and probiotic Bacell in fish feeding in the experiment led to an increase in fish weight. Absolute growth in experimental variants was 13.0–25.0 % higher in variants of experiment with E-selenium and complex E-selenium + Bacell than in the control. It was also shown that preventive doses of microelements, vitamins and probiotics primarily aimed at reducing and stabilizing peroxide processes and maintaining good physiological condition of fish kept in artificial conditions are effective. Unlike warm-blooded farmed animals, fish are cold-blooded and their response to supplements that stimulate growth and regulate metabolism may differ.

ACKNOWLEDGMENT

This publication was prepared within the framework of the State Order of SSC RAS, Grant No. 122020100328-1, using the Unique Scientific Installation Modular Unit-Complex and the Bioresource Collection of Rare and Endangered Fish Species No. 73602 of the SSC RAS.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Публикация подготовлена в рамках Государственного заказа ЮНЦ РАН по гранту № 122020100328-1 с использованием уникальной научной установки «Модульная установка-комплекс» и «Биоресурсной коллекции редких и исчезающих видов рыб № 1». 73602» ЮНЦ РАН.

REFERENCES

- Galeana-López J.A., Lizárraga-Velázquez C.E., Hernández C., Leyva-López N., Heredia J.B. Corn Husk Phenolics Modulate Hepatic Antioxidant Response in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Hypoxia. *Molecules*. 2021, vol. 26, no. 20, pp. 61–61. <https://doi.org/10.3390/молекулы26206161>
- Haetami K., Elit E., Roffi G.H., Rusky I.P. A Few Potential of Turmeric as Feed Additive on Fish Growth. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2023, vol. 24, no. 3, pp. 1–8. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2023/v24i3632>

- Amenyogbe E., Kwabena Droepenu E., Larbi Ayisi C., Afumwaa Boamah G., Quaigrane Duker R., Delwin Abarike E., Huang J. Impact of probiotics, prebiotics, and synbiotics on digestive enzymes, oxidative stress, and antioxidant defense in fish farming: current insights and future perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 2024, vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1368436>
- Diao W., Jia R., Hou Y., Dong Y. Effects of Stocking Density on the Growth Performance, Physiological Parameters, Antioxidant Status and Lipid Metabolism of Pelteobagrus fulvidraco in the Integrated Rice-Fish Farming System. *Animals*, 2023, vol. 13, no. 11, pp. 17–21. <https://doi.org/10.3390/ani13111721>
- Liu Z., Quan J., Li L., Zhao G., Lu J. Metabonomics analysis reveals the protective effect of nano-selenium against heat stress of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Proteomics*, 2022, vol. 259, no. 11. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104545>
- Kocatepe D., Turan H., Köstekli B., Altan C.O., Çorapçı B. Preliminary investigation of the nutritional composition of two commercial fish species: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the Hellenic Veterinary Medical*. 2023, vol. 73, no. 4, pp. 4817–4826. <https://doi.org/10.12681/jhvms.27821>
- Hosseinpour F., Vazirzadeh A., Farhadi A., Sajjadi S.H. Acclimation to higher temperature and antioxidant supplemented diets improved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) resilience to heatwaves. *Scientific Reports*. 2024, vol. 14, no. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62130-y>
- Cowey C.B., Adron J.W., Joungson A. The vitamin E requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing polyunsaturated fatty acids derived from fish oil. *Aquaculture*. 1983, vol. 30, no. 1-4, pp. 85–93.
- Bell Y.G., Cowey C.B., Adron I.W. Some effect of vitamin and selenium deprivation on tissue enzyme levels and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of nutrition*. 1985, no. 53, pp. 149–157.
- Imran S.M., Najim S.M., Ali A.H. Effect of adding nano-selenium, vitamin E and their mixture to the diet on the productive and physiological traits of common carp fish (*Cyprinus carpio* L.). *Plant archives*. 2019, vol. 19, no. 2, pp. 1215–1223.
- Hassan M.A., Mohammad M.A. The Effect of the Nutritional Value Enhancing of the Diet Provided to Common Carp *Cyprinus carpio* L. by Adding Organic Selenium and Vitamin E on Growth

- Parameters and Food Utilization. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1158, no. 5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/5/052002>
12. Gromova O.A., Gogoleva I.V. Selenium - impressive results and prospects for use. *Emergency Medicine. Prakticheskoe rekomendatsii* [Practical recommendations]. 2010, no. 6 (31), pp. 124–128. (In Russian)
 13. Bubnova N.V., Timofeeva N.Yu., Kostrova O.Yu., Struchko G.Yu., Kotyolkina A.A., Samakina E.S. Biological role of selenium (literature review). *Acta medica Eurasica*, 2023, no. 2, pp. 114–119. (In Russian) <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2023-2-114-123>
 14. Khairova A.R. The content of selenium in the organs and tissues of carp when the organic selenium-containing preparation DAFS-25 is introduced into the diet. *Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologii* [Fundamentals and prospects of organic biotechnologies]. 2018, no. 3, pp. 32–35. (In Russian)
 15. *Selen – nezamenimyi mikroelement* [Selenium is an essential microelement]. Available at: <http://cgon.rosпотребнадзор.ru/content/ostalnoe/selen-nezamenimyj-mikroelement> (accessed 10.15.2023)
 16. Sergeeva N.T. On the effect of vitamin E, selenium and squid fat supplements in the RGM-5B feed on the metabolism and growth rate of trout (*Salmo gairdneri* Rich.). In: *Sbornik nauchnykh trudov. Voprosy razrabotki i kachestva kombikormov* [Collection of scientific papers. Issues of development and quality of compound feeds]. 1989, vol. 57, pp. 27–31. (In Russian)
 17. Metallov G.F., Ponomareva E.N., Sorokina M.N., Grigoriev V.A., Kovaleva A.V., Yaitskaya M.V. Vliyanie preparata E-selen na fiziologicheskie pokazateli samok gibrida sterlyad'x beluga [The influence of the E-selenium drug on the physiological parameters of female sterlet x beluga hybrid]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Innovatsionnye resheniya dlya povysheniya effektivnosti akvakul'tury»*, 2019 [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Innovative solutions for increasing the efficiency of aquaculture”, 2019]. 2019, vol. 1, pp. 219–224. (In Russian)
 18. Ponomareva E.N., Geraskin P.P., Sorokina M.N., Grigoriev V.A., Kovaleva A.V. Some aspects of controlling reproductive function in female sturgeons. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2023, no. 1, pp. 157–170. (In Russian) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170>
 19. Kovaleva A.V. Otsenka vliyaniya surfagona i E-selena na izmenenie generativnogo obmena osetrovnykh ryb [Assessment of the influence of surfagon and E-selenium on changes in the generative metabolism of sturgeon]. *Materialy III Vserossiiskoi (natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 70-letiyu Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta “Resursy dichi i ryby: ispol'zovanie i vosproizvodstvo”* [Game and fish resources: use and reproduction: Materials of the III All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2023, pp. 260–263. (In Russian)
 20. Cheremenina N.A. *Fiziologicheskoe sostoyanie organizma krolikov pri ispol'zovanii organicheskogo selena v ratsionakh* [Physiological state of the body of rabbits when using organic selenium in diets]. Tyumen, 2009, 131 p. (In Russian)
 21. Zhigin A.V., Sytova M.V., Yesavkin Yu.I., Griksas S.A., Petrov A.S. The effect of the feed additive “Kormogran selenium-3” on fish breeding, morphometric indicators and commercial qualities of rainbow trout. *Fisheries issues*. 2023, vol. 24, no. 2, pp. 154–172. (In Russian)
 22. Metallov G.F., Grigoriev V.A., Kovaleva A.V., Levina O.A., Sorokina M.N. The influence of the drug E-selenium on the growth and physiological parameters of the hybrid Russian sturgeon x Lena sturgeon. *Bulletin of the Southern Scientific Center*. 2013, vol. 9, no. 2, pp. 57–67. (In Russian)
 23. Artyukhova S.I., Lashin A.V. The use of probiotics in poultry feeding. In: *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii «Probiotiki, prebiotiki, sinbiotiki i funktsional'nye produkty pitaniya. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy»* [Collection of materials of the International conference “Probiotics, prebiotics, synbiotics and functional foods Current state and prospects”]. 2004, pp. 130–131. (In Russian)
 24. Maxim E.A., Yurina N.A., Yurin D.A., Machneva N.L. Method of growing juvenile sturgeon fish using probiotics. *Bulletin of Kamchat State Technical University*. 2017, no. 40, pp. 67–76. (In Russian)
 25. Lankin V.Z., Tikhadze A.K., Belenko Yu.N. *Svobodnoradikal'nye protsessy v norme i pri patologicheskikh sostoyaniyakh* [Free radical processes in normal conditions and in pathological conditions]. Moscow, 2001, 78 p. (In Russian)
 26. Metallov G.F., Levina O.A., Grigoriev V.A., Kovaleva A.V. Biologically active additives in production feeds for sturgeon fish. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. 2013, no. 3, pp. 146–152. (In Russian)
 27. Metallov G.F., Ponomareva E.N., Geraskin P.P., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A. Ecological and physiological aspects of sturgeon cultivation in industrial conditions. *Vestnik ASTU. Fishery*, 2017, no. 4, pp. 128–135. (In Russian) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-4-128-135>
 28. Metallov G.F., Raspopov V.M., Aksenov V.P., Chipinov V.G. [Biochemical and morphophysiological parameters of Russian sturgeon in modern environmental conditions of the Volga-Caspian Sea]. In: *Teplovodnaya akvakul'tura i biologicheskaya produktivnost' vodoemov aridnogo klimata (mezhdunarodnyi simpozium)* [Warm-water aquaculture and biological productivity of reservoirs of arid climate (International Symposium)]. 2007, pp. 484–486. (In Russian)
 29. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990, 293 p. (In Russian)
- БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**
1. Galeana-López J.A., Lizárraga-Velázquez C.E., Hernández C., Leyva-López N., Heredia J.B. Corn Husk Phenolics Modulate Hepatic Antioxidant Response in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Hypoxia // *Molecules*. 2021. V. 26. N 20. P. 61–61. <https://doi.org/10.3390/мolecules26206161>
 2. Haetami K., Elit E., Roffi G.H., Rusky I.P. A Few Potential of Turmeric as Feed Additive on Fish Growth // *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 2023. V. 24. N 3. P. 1–8. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2023/v24i3632>
 3. Amenyogbe E., Kwabena Droepenu E., Larbi Ayisi C., Afumwaa Boamah G., Quaigrane Duker R., Delwin Abarike E., Huang J. Impact of probiotics, prebiotics, and synbiotics on digestive enzymes, oxidative stress, and antioxidant defense in fish farming: current insights and future perspectives // *Frontiers in Marine Science*. 2024. V. 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1368436>
 4. Diao W., Jia R., Hou Y., Dong Y. Effects of Stocking Density on the Growth Performance, Physiological Parameters, Antioxidant Status and Lipid Metabolism of Pelteobagrus fulvidraco in the Integrated Rice-Fish Farming System // *Animals*. 2023. V. 13. N 11. P. 17–21. <https://doi.org/10.3390/ani13111721>
 5. Liu Z., Quan J., Li L., Zhao G., Lu J. Metabonomics analysis reveals the protective effect of nano-selenium against heat stress of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Journal of Proteomics*. 2022. V. 259. N 11. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104545>
 6. Kocatepe D., Turan H., Köstekli B., Altan C.O., Çorapçı B. Preliminary investigation of the nutritional composition of two commercial fish species: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) // *Journal of the Hellenic Veterinary Medical*. 2023. V. 73. N 4. P. 4817–4826. <https://doi.org/10.12681/jhvms.27821>
 7. Hosseinpour F., Vazirzadeh A., Farhadi A., Sajjadi S.H. Acclimation to higher temperature and antioxidant supplemented diets improved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) resilience to heatwaves // *Scientific Reports*. 2024. V. 14. N 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62130-y>
 8. Cowey C.B., Adron J.W., Joungson A. The vitamin E requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing

- polyunsaturated fatty acids derived from fish oil // *Aquaculture*. 1983. V. 30. N 1-4. P. 85–93.
9. Bell Y.G., Cowey C.B., Adron I.W. Some effect of vitamin and selenium deprivation on tissue enzyme levels and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // *British Journal of Nutrition*. 1985. N 53. P. 149–157.
10. Imran S.M., Najim S.M., Ali A.H. Effect of adding nano-selenium, vitamin E and their mixture to the diet on the productive and physiological traits of common carp fish (*Cyprinus carpio* L.) // *Plant archives*. 2019. V. 19. N 2. P. 1215–1223.
11. Hassan M.A., Mohammad M.A. The Effect of the Nutritional Value Enhancing of the Diet Provided to Common Carp *Cyprinus carpio* L. by Adding Organic Selenium and Vitamin E on Growth Parameters and Food Utilization // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2023. V. 1158. N 5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/5/052002>
12. Громова О.А., Гоголева И.В. Селен — впечатляющие итоги и перспективы применения / Медицина неотложных состояний // *Практические рекомендации*. 2010. Т. 6. N 31. С. 124–128.
13. Бубнова Н.В., Тимофеева Н.Ю., Кострова О.Ю., Стручко Г.Ю., Котёлкина А.А., Самакина Е.С. Биологическая роль селена (обзор литературы) // *Acta medica Eurasica*. 2023. N 2. С. 114–119. <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2023-2-114-123>
14. Хаирова А.Р. Содержание селена в органах и тканях карпа при введении в рацион органического селенсодержащего препарата ДАФС-25 // *Основы и перспективы органических биотехнологий*. 2018. N 3. С. 32–35.
15. Селен – незаменимый микроэлемент. URL: <http://cgon.rospotrebnadzor.ru/content/ostalnoe/selen-pezamenimyj-mikroelement> (дата обращения: 15.10.2023)
16. Сергеева Н.Т. О влиянии добавок витамина Е, селена и кальмарового жира в составе комбикорма РГМ-5В на обмен веществ и темп роста форели (*Salmo gairdneri* Rich.) // *Сборник научных трудов. Вопросы разработки и качества комбикормов*. 1989. N 57. С. 27–31.
17. Металлов Г.Ф., Пономарева Е.Н., Сорокина М.Н., Григорьев В.А., Ковалева А.В., Яицкая М.В. Влияние препарата Е-селен на физиологические показатели самок гибрида стерлядь×белуга // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные решения для повышения эффективности аквакультуры»*, Москва, 5 февраля, 2019. Т. 1. С. 219–224.
18. Пономарева Е.Н., Гераскин П.П., Сорокина М.Н., Григорьев В.А., Ковалева А.В. Некоторые аспекты управления репродукционной функцией у самок осетровых рыб // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023. N 1. С. 157–170. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170>
19. Ковалева А.В. Оценка влияния сурфагона и Е-селена на изменение генеративного обмена осетровых рыб // *Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство»*, Красноярск, 2023. С. 260–263.
20. Череменина Н.А. Физиологическое состояние организма кроликов при использовании органического селена в рационах. Тюмень, 2009. 131 с.
21. Жигин А.В., Сытова М.В., Есавкин Ю.И., Грикшас С.А., Петров А.С. Влияние кормовой добавки «Кормогран селен-3» на рыбоводные, морфометрические показатели и товарные качества радужной форели // *Вопросы рыболовства*. 2023. Т. 24. N 2. С. 154–172.
22. Металлов Г.Ф., Григорьев В.А., Ковалева А.В., Левина О.А., Сорокина М.Н. Влияние препарата Е-селен на рост и физиологические показатели гибрида русский осётр × ленский осётр // *Вестник южного научного центра*. 2013. Т. 9. N 2. С. 57–67.
23. Артюхова С.И., Лашин А.В. Использование пробиотиков в кормлении птицы // *Сборник материалов Международной конференции «Пробиотики, пребиотики, синбиотики и функциональные продукты питания. Современное состояние и перспективы»*, Москва, 2–4 июня, 2004. С. 130–131.
24. Максим Е.А., Юрина Н.А., Юрин Д.А., Мачнева Н.Л. Способ выращивания молоди осетровых рыб с использованием пробиотиков // *Вестник КамчатГТУ*. 2017. N 40. С. 67–76.
25. Ланкин В.З., Тихадзе А.К., Беленко Ю.Н. Свободнорадикальные процессы в норме и при патологических состояниях. Москва: РКНПК МЗ РФ, 2001. 78 с.
26. Металлов Г.Ф., Левина О.А., Григорьев В.А., Ковалева А.В. Биологически активные добавки в продукционных кормах для осетровых пород рыб // *Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2013. N 3. С. 146–152.
27. Металлов Г.Ф., Пономарева Е.Н., Гераскин П.П., Ковалева А.В., Григорьев В.А. Эколого-физиологические аспекты культивирования осетровых рыб в индустриальных условиях // *Вестник АГТУ. Сер.: Рыболовство*. 2017. N 4. С. 128–135. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-4-128-135>
28. Металлов Г.Ф., Распопов В.М., Аксенов В.П., Чипинов В.Г. Биохимические и морфофизиологические показатели русского осетра в современных экологических условиях Волго-Каспия // *Международный симпозиум «Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата»*, Астрахань, 2007. С. 484–486.
29. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1990. 293 с.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena N. Ponomareva formulated the experimental plan and corrected the manuscript before submitting it to the Editor. Anzhelika V. Kovaleva and Vadim A. Grigoriev collected biological material, analysed the data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена Н. Пономарева сформировала план эксперимента, корректировала рукопись перед подачей в редакцию. Анжелика В. Ковалева и Вадим А. Григорьев собрали биологический материал, проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтичных проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Elena N. Ponomareva / Елена Н. Пономарева <http://orcid.org/0000-0002-7129-6676>

Anzhelika V. Kovaleva / Анжелика В. Ковалева <http://orcid.org/0000-0002-8503-6461>

Vadim A. Grigoriev / Вадим А. Григорьев <http://orcid.org/0000-0002-3262-4198>

Nuhkadi I. Rabazanov / Нухади И. Рабазанов <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.95

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-13

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



Сегетальные растения агроландшафтов Юга Нечерноземной зоны как источник биоресурсов

Александр Н. Никольский, Владимир Д. Бочкарев, Дмитрий В. Бочкарев, Ксения О. Дроздова
Мордовский государственный университет, Саранск, Россия

Контактное лицо

Александр Н. Никольский, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, кафедра агрономии и ландшафтной архитектуры Мордовский государственный университет; 430005 Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Тел. +79648528268

Email alnik1986@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>

Формат цитирования

Никольский А.Н., Бочкарев В.Д., Бочкарев Д.В., Дроздова К.О. Сегетальные растения агроландшафтов Юга Нечерноземной зоны как источник биоресурсов // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 132-140.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-13

Получена 4 апреля 2024 г.

Прошла рецензирование 7 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель – выявить хозяйственно-значимые виды сегетальных растений агрофитоценозов Юга Нечерноземной зоны и оценить их динамику при изменении антропогенной нагрузки.

Исследование проведено методом анализа геоботанических описаний агрофитоценозов Юга Нечерноземной зоны. Видовое разнообразие хозяйственно-значимых видов устанавливали в период экстенсивного земледелия (1929–1933 гг.), начала интенсификации (1936–1938 гг.), высокого уровня интенсификации (1981–1983 гг.), период снижения интенсивности земледелия (2012–2022 гг.).

На всех этапах исследовании высокое видовое разнообразие имели группы кормовых, лекарственных и медоносных растений. Установлено присутствие в агрофитоценозах отдельных представителей овощных, витаминных, инсектицидных и декоративных видов.

Изменения характера и степени антропогенной нагрузки на агрофитоценозы приводило к существенной трансформации видового состава и обилия представителей хозяйственно-значимых групп. Наименьшее их число отмечалось в 80 гг. XX века. В настоящее время видовое разнообразие увеличилось в связи со снижением интенсивности земледелия в регионе.

Ключевые слова

Агрофитоценоз, сегетальный вид, хозяйственно-значимый видов, антропогенная нагрузка.

Segetal plants of agricultural landscapes of the Southern Non-Chernozem zone as a source of biological resources

Aleksandr N. Nikolskii, Vladimir D. Bochkarev, Dmitrii V. Bochkarev and Kseniya O. Drozdova

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Principal contact

Aleksandr N. Nikolskii, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Agronomy and Landscape Architecture, National Research Mordovia State University; 68 Bolshevistskaya St, Saransk, Republic of Mordovia, Russia 430005.
Tel. +79648528268
Email alnik1986@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>

How to cite this article

Nikolskii A.N., Bochkarev V.D., Bochkarev D.V., Drozdova K.O. Segetal plants of agricultural landscapes of the Southern Non-Chernozem zone as a source of biological resources. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):132-140. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-13

Received 4 April 2024

Revised 7 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. To identify economically significant species of segetal plants of agrophytocenoses in the Southern Non-Chernozem zone and assess their dynamics with changes in anthropogenic load.

The study was carried out by analysing geobotanical descriptions of agrophytocenoses in the Southern Non-Chernozem Zone. The species diversity of economically important species was established during the period of extensive farming (1929–1933), the beginning of intensification (1936–1938), a high level of intensification (1981–1983), and a period of decreasing intensity of farming (2012–2022).

At all stages of the study, groups of forage, medicinal and honey plants were found to have a high species diversity. The presence of individual representatives of vegetable, vitamin, insecticidal and ornamental species in agrophytocenoses was established.

Changes in the nature and degree of anthropogenic pressure on agrophytocenoses has led to a significant transformation of species composition and abundance of representatives of economically significant groups. The smallest number of these was noted in the 1980s. Currently, species diversity has increased due to a decrease in the intensity of agriculture in the region.

Key Words

Angiosperm domination, conifers, cycads, Ginkgo, global diversity patterns, elevational distribution, gnetophytes, latitudinal distribution, latitudinal diversity gradient.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс глубокого преобразования естественных флор, вызванных воздействием человека приводит к расширению площадей синантропных ландшафтов со свойственной для них растительностью вторичных местообитаний. Следует отметить, что на антропогенно преобразованных ландшафтах формируется поливидовый спектр растений. До недавнего времени необходимость системной инвентаризации синантропных растений рассматривалась как правило с целью построения высокоэффективной системы защиты посевов, или селитебных территорий от сорняков.

На современном этапе развития земледелия в мире отмечается снижение фиторазнообразия агроландшафтов. Устанавливается тенденция уменьшения видового разнообразия сеgetальных археофитов, тогда как количество неофитов встречающихся в агрофитоценозах неуклонно растет [1; 2]. Дальнейшее расширение посевных площадей, распространение возделывание монокультур, рост объемов применения гербицидов и удобрений являются причинами обеднения пахотных растительных сообществ [3–5].

По мнению ряда исследователей В.Н. Тихомирова [6], Т.Н. Ульяновой [7], Н.Н. Луновой [8; 9] в ближайшей перспективе по причине дальнейшего уменьшения площади естественных местообитаний и сбережения природной растительности только на особо охраняемых участках суши и акваториях океана синантропная флора возьмет на себя большую часть биосферных функций. К важнейшим из них следует отнести регуляцию состава атмосферного воздуха, восстановления растительного покрова при его нарушении и техногенном загрязнении, поддержание экологической устойчивости в агроландшафтах. Многие сорные станут важнейшими биологическими ресурсами получения лекарственного, пищевого, кормового растительного сырья будут являться ценными медоносами.

Юг Нечерноземной зоны (лесостепь), куда входят территории республик Чувашии и Мордовии. Тульская и Орловская области, а также юг Калужской, Московской, Рязанской, Нижегородской и Брянской областей является достаточно древним сельскохозяйственным районом на территории Российской Федерации. Первые скотоводы и земледельцы появились здесь с приходом племен фатьяновской культуры в первой четверти второго тысячелетия до нашей эры. В настоящее время это глубоко антропогенно-преобразованный регион, где площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет более 60 %.

Следует отметить, что позиции хозяйственно-значимых свойств сеgetальные растения в условиях лесостепи юга Нечерноземной зоны изучены недостаточно. В то время как лесостепь является уникальным регионом, сочетающим степную и лесную растительность.

Целью работы является сравнительный анализ видового разнообразия хозяйственно-значимых сеgetальных видов агрофитоценозов Юга Нечерноземной зоны при изменении антропогенной нагрузки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на юге Нечерноземной зоны в Республике Мордовия. Регион характеризуется умеренно континентальным климатом с четко выделяющимися зимним и летним периодом. Режим

увлажнения вегетационного периода – неустойчивый. В среднем по данным многолетних наблюдений сумма осадков составляет порядка 500–550 мм. В остросухливые годы выпадает порядка 350 мм осадков, во влажные до 700 мм. Сроки начала вегетационного периода – со второй декады апреля до третьей декады сентября (140–150 дней). Накопление активных температур за вегетационный период составляет 2 600–2 650 °С. Территория характеризуется высокой долей пахотных угодий от общей площади земель – 43 % (1100 тыс. га). Структура почвенного покрова отличается мозаичностью, сочетанием различных типов и подтипов почвы.

Общее видовое богатство региональной сеgetальной флоры установлено из имеющихся геоботанических материалов и в результате собственных маршрутных обследований. Этапы обследований посевов соответствовали периодам изменения антропогенной нагрузки: 1) 1929–1933 гг. [10]; 2) 1936–1938 гг. [11]; 3) 1981–1982 гг. [12]; 4) 2012–2020 гг. (материалы коллектива авторов).

Характеристика этапов обследования приводится по Бочкареву Д.В. [13], в основе которой лежит комплексный анализ уровня земледелия в отдельно взятый период. Так 1929–1933 гг. обозначается как период экстенсивного земледелия, 1936–1938 гг. – период начала интенсификации, 1981–1983 гг. – период высокого уровня интенсификации, современный этап (2012–2022 гг.) – период снижения интенсивности земледелия.

Во все этапы обследований видовой состав сеgetальной флоры определялся в агрофитоценозах основных культур – зерновых, зернобобовых, пропашных, однолетних и многолетних сеяных травах, а также в чистых парах. Учеты проводились определялись на основных подтипах почв региона – дерново-подзолистых, серых лесных легкого и тяжелого механического состава, серых лесных щебнистых, выщелоченных и оподзоленных черноземах тяжелого механического состава.

Видовое разнообразие сеgetальной флоры для 1–3 периода определяли по поконтурным описаниям отдельных агрофитоценозов. В собственных исследованиях видовое разнообразие определяли при визуальных обследованиях с использованием глазомерного метода А.И. Мальцева [14]. Учеты проводили во 3-й декаде июля в период массового цветения сорняков. Латинские названия отдельных видов и семейств приведены в соответствии с Международным указателем названий растений [15]. Принадлежность растений к различным хозяйственно значимым видам устанавливали по Н.М. Матвееву [16].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее представительной на всех этапах исследований была группа лекарственных видов. Так в первый период их количество составляло 46 % от общего количества видов, во второй – 48 %, в третий и четвертый – 54 и 44 % соответственно. Часть видов данной группы характеризовалась высоким постоянством во все периоды исследований – *Chenopodium album* L., *Viola arvensis* Murray, *Fumaria officinalis* L., *Equisetum arvense* L. На отдельных этапах обследований были отмечены достаточно редкие для агрофитоценозов растения. Так в 1929 – 1933 гг. в посевах выявлены *Hypericum perforatum* L., *Salvia pratensis* L., *Artemisia*

austriaca Jacq. В период 1936–1938 гг. в агрофитоценозах установлено присутствие *Xeranthemum annuum* L., *Matricaria recutita* L., *Cynoglossum officinale* L., *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Sanguisorba officinalis* L.

Период интенсивного антропогенного воздействия на агрофитоценозы характеризовался

снижением количества лекарственных видов до 45. В настоящее время видовое обилие данной группы существенно увеличилось. При учетах выявлены такие редко встречающиеся растения как *Urtica dioica* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Sisymbrium officinale* (L.) Scop., *Bidens tripartita* L.

Таблица 1. Видовое представительство сеgetальных хозяйственно значимых видов в агроценозах Юга Нечерноземной зоны на разных этапах развития земледелия региона
Table 1. Species representation of segetal economically significant species among the agroecosystems of the Southern Non-Chernozem zone at different stages of the development of agriculture in the region

Группы растений Groups of plants	Этапы развития земледелия Stages of agriculture development			
	примитивное сошное (1929–1932 гг.) primitive agriculture (1929–1932)	начало интенсификации (1936–1938 гг.) beginning of intensification (1936–1938)	высокий уровень интенсификации (1981–1983 гг.) high level of intensification (1981–1983)	современный этап (2014–2022 гг.) current stage 2014–2022 гг.
Лекарственные Medicinal	81	85	45	79
Медоносные Honeybees	60	66	33	56
Кормовые Fodder	48	53	27	50
Ядовитые Poisonous	20	27	11	22
Пищевые Food	14	17	11	24
Технические Technical	4	5	1	4
Декоративные Ornamental	14	20	6	13
Дубильные Tanning	11	16	6	12
Красильные Dye plants	32	39	18	35
Масличные Oilseeds	15	17	13	18
Эфиромасличные Essential oils	8	10	5	9
Пряные Spicy	9	11	6	10
Витаминные Vitamin	7	9	6	10
Инсектицидные Insecticidal	7	9	7	8
Всего хозяйственно-значимых видов Total economically significant species	124	132	59	108
Всего видов Total species	166	177	82	172

Сеgetальные растения являются важным ресурсом для решения проблемы кормления сельскохозяйственных животных. В условиях ограниченного количества пахотных земель, сорняки являются основой рациона КРС [17]. В последние несколько лет ведется активное изучение отдельных сорных видов как потенциальных кормовых культур [18; 19]. Установлено что *Convolvulus*

arvensis и *Rumex crispus* в зеленой массе содержат значительно более высокое содержание белка (27 и 22 % соответственно) по сравнению с традиционными бобовыми травами [17]. Виды семейства Commelinaceae (*Commelina diffusa* L., *Commelina benghalensis* L., *Commelina communis* L., *Commelina africana* L.) относятся к сорным, в тоже время

они являются основным зеленым кормом для КРС в Танзании, Кении, Нигерии и характеризуются достаточно высоким поеданием животными [20]. Gutiérrez D. et al. [21] оценив 14 основных сеgetальных видов Мексики пришли к выводу что *Cosmos bipinnatus*, *Medicago polymorpha*, *Tithonia tubiformis* и *Amaranthus hybridus*, могут быть использованы как кормовые растения, поскольку способны накапливать большое количество сырого протеина и антиоксидантов.

Анализ данных геоботанических исследований показывает, что в сеgetальной флоре региона количество видов, относящихся к кормовым во все периоды оставался достаточно высоким. В 30-х гг. XX в. в посевах отмечено более 50 видов сорных растений с кормовыми свойствами. В первую очередь к ним относились виды из семейства мятликовые – *Alopecurus pratensis* L., *Poa annua* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Poa pratensis* L., *Poa compressa* L. *Elytrigia repens* (L.) Nevski в первые периоды исследований относился к наиболее обильно встречавшимся в посевах сеgetалам.

Достаточно много было видов из семейства бобовые – *Vicia villosa* Roth, *Pisum arvense* L., *Melilotus albus* Medik., *Medicago lupulina* L., *Trifolium arvense* L. Редко встречались виды из других семейств обладающие кормовой ценностью – *Sonchus oleraceus* L., *Sisymbrium loeselii* L. *Plantago lanceolata* L., *Plantago media*, L. *Barbarea vulgaris* R. Br., *Rumex crispus* L.

В период интенсивного антропогенного воздействия разнообразие кормовых видов и их обилие существенно снизились. В посевах отмечены достаточно распространенные мятликовые (*Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult.). Отдельные виды бобовых встречались в посевах многолетних трав. Среди них следует отметить *Trifolium arvense* L., *Melilotus albus* Medik., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Vicia cracca* L. Другие кормовые растения *Rumex acetosella* L., *Barbarea vulgaris* R. Br., *Plantago major* L., *Potentilla anserina* L., *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. встречались достаточно редко.

В настоящее время в посевах сельскохозяйственных культур отмечен 51 сеgetальный вид, относящийся к кормовым растениям. Как в и 30-х гг. прошлого века значительно распространен в посевах *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Достаточно часто отмечается *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. Увеличение доли посевных площадей кукурузы и сахарной свеклы привело к формированию устойчивых популяции *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. Изредка в посевах обнаруживается *Alopecurus geniculatus* L. Сорняки из семейства бобовых представлены *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L., *Vicia cracca* L. Адвентивные сеgetальные виды относящиеся к кормовым представлены *Amaranthus albus* L. *Amaranthus retroflexus* L. Встречаются в посевах представители рода *Rumex* – *R. confertus* Willd., *R. crispus* L., *R. obtusifolius* L. Большие популяции отмечены для таких видов как *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Malva pusilla* Sm., *Taraxacum officinale* F.H. Wigg.

Насекомые – опылители играют большую роль в развитии сельского хозяйства [22]. По данным Aizen M.A. et al. [23] от интенсивности опыления зависит получение урожая 87 культурных видов, валовый сбор которых составляет до 35 % общемировой продукции

растениеводства. Глобальный рынок продукции, получаемой от насекомоопыляемых растений оценивается в 153 миллиарда евро [24]. В регионах бореального климата пчелы (домашние и дикие) вносят основной вклад в опыление культурных растений [25]. В тоже время интенсивность опыления на современном этапе развития земледелия заметно снижается на фоне интенсификации производства растениеводческой продукции [26]. Возрастает роль агроландшафтов с естественной растительностью как среды обитания насекомых-опылителей и источников сбора нектара и пыльцы [27]. При этом сеgetальные растения занимают все большую нишу как пищевые ресурсы для медоносных насекомых. Многочисленными исследованиями подтверждается их основная роль в рационе различных групп насекомых-опылителей [28; 29].

В период экстенсивного земледелия исследуемые агроландшафты отличались высоким биологическим разнообразием растений-медоносов. В посевах отмечались малолетние виды *Sinapis arvensis* L., *Sonchus oleraceus* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Camelina sativa* (L.) Crantz, *Centaurea cyanus* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, *Viola arvensis* Murray, *Viola tricolor* L. Высоким было разнообразие и многолетних медоносных растений. Среди них можно выделить *Geranium pratense* L., *Origanum vulgare* L., *Symphytum officinale* L., *Campanula patula* L. в настоящее время не отмечающиеся в посевах.

В 80-е гг. прошлого века установлено закономерное снижение медоносов в агрофитоценозах. Основу этой группы составляли малолетние виды устойчивые к гербицидам *Centaurea cyanus* L., *Delphinium consolida* L., *Stachys annua* (L.) L. Редко в посевах отмечены *Lamium amplexicaule* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Echium vulgare* L. и *Carduus crispus* L. Среди многолетних видов, относящихся к медоносам сохранились устойчивые к интенсивной почвообработке *Sonchus arvensis* L. и *Linaria vulgaris* Mill.

В современных условиях количество медоносных видов в агроландшафтах расширилось до 56. Большие популяции характерны для *Cirsium setosum* (Willd.) Besser *Convolvulus arvensis* L. Редко в посевах встречаются малолетники *Bidens tripartita* L., *Galeopsis bifida* Boenn., *Arctium lappa* L., *Erysimum cheiranthoides* L., *Hieracium umbellatum* L. Среди многолетников можно выделить *Campanula persicifolia* L., *Tussilago farfara* L., *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Leucanthemum vulgare* Lam. вновь появившиеся в посевах по сравнению с периодом интенсификации земледелия.

В последние несколько лет возник интерес к изучению сеgetальных видов как съедобных и витаминных растений. Зачастую высокое содержание в них полезных фитохимических соединений позволяют определять сорняки как «новые функциональные продукты питания» [30; 31]. Ceccanti C. et al. [32] отмечают что некоторые виды (*Rumex acetosa* L., *Plantago coronopus* L., *Sanguisorba minor* Scop.) не только обладают высоким содержанием витаминов и других полезных фитосоединений, но и могут в ближайшее время возделываться как новые зеленые культуры.

В первые периоды исследований флора агроландшафтов Республики Мордовии отличалась значительным разнообразием пищевых, овощных, витаминных и пряных видов. Из овощных следует выделить широко распространенные *Allium rotundum* L.,

Taraxacum officinale F.H. Wigg., *Sonchus oleraceus* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Geum urbanum* L., *Geum rivale* L., *Heracleum sibiricum* L. Из витаминных были представлены виды рода *Rumex*, *Stellaria media* (L.) Vill., *Saponaria officinalis* L. Группа пряных включала *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hypericum perforatum* L., *Origanum vulgare* L., *Convolvulus arvensis* L.

В 80 гг. XX разнообразие видов из данных групп закономерно снизилось. Из видов, относящихся к пищевым сохранились *Chenopodium album* L., *Plantago major* L. и некоторые другие. Витаминные были представлены видами рода *Rumex*, пряные – рода *Artemisia*.

Исследования 2008–2022 гг. выявили рост разнообразия перспективных для использования в функциональном питании видов в посевах. Группа пищевых видов включала в себя достаточно распространенные *Arctium lappa* L., *Arctium tomentosum* Mill., *Atriplex patula* L., *Atriplex sagittata* Borkh., *Malva pusilla* Sm., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Oenothera biennis* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Среди витаминных следует отметить *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Urtica urens* L., *Urtica dioica* L. не выявленных ранее в агрофитоценозах. Нередко в агроландшафтах отмечено присутствие *Achillea millefolium* L., *Mentha arvensis* L., *Tanacetum vulgare* L.

Растения в течение своей жизни продуцируют разнообразный комплекс вторичных метаболитов (терпенов, флавоноидов, алкалоидов), оказывающих различное действие на другие компоненты биоценоза [33]. Одним из таких эффектов является инсектицидная активность отдельных соединений, заключающаяся в отпугивающем, контактном и фугирующем действии против фитофагов [34]. В конце прошлого века виды семейств *Meliaceae*, *Rutaceae*, *Asteraceae*, *Annonaceae*, *Labiatae* и *Canellaceae* были отмечены как наиболее перспективный источник растительных компонентов инсектицидов [35]. Наиболее распространенной группой инсектицидов до настоящего времени остаются пиретроиды – соединения синтезированные на основе метаболита *Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) Sch. Bip. [36]. Внедрение устойчивых методов в растениеводство в том числе на основе применения биоинсектицидов по мнению ряда исследователей должно стать «новой зеленой революцией» [37].

Видовой состав инсектицидных растений, встречавшихся в агрофитоценозах Юга нечерноземной зоны за исследуемый период времени оставался практически неизменным. Основу его составляли *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Matricaria discoidea* DC., *Lepidium ruderale* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Anthemis tinctoria* L.

Еще одним недостаточно оцененным ресурсом сеgetальной флоры являются виды относящиеся к декоративным. Сучкова А.А. и Граница Ю.В. [38] приводят список из 27 видов сеgetальных растений, распространенных в европейской части РФ, которые могут быть применимы в различных проектах озеленения территорий.

Сеgetальные виды агрофитоценозов относящиеся к декоративным во все изучаемые периоды составляли на более 7 % от общего количества. Данной группе присуще незначительные изменения представителей. В настоящее время практически не встречаются в агрофитоценозах *Equisetum sylvaticum* L. *Lathyrus pratensis* L. *Potentilla*

recta L. *Eryngium planum* L. *Prunella vulgaris* L. Вместе с тем стабильно во все периоды присутствовали *Centaurea cyanus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Viola tricolor* L., *Geranium pratense* L. *Knautia arvensis* (L.) Coult. В связи с повторным введением в интенсивное использование залежей в настоящее время в посевах отмечены ранее не встречавшиеся *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Oenothera biennis* L., *Campanula persicifolia* L., *Lathyrus tuberosus* L., *Veronica longifolia* L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа свидетельствуют о значительном представительстве хозяйственно-значимых видов растений в составе сеgetальной флоры Юга Нечерноземной зоны. На всех этапы исследований высоким разнообразием отличались представители групп кормовых (27–53 вида), лекарственных (45–85 видов) и медоносных (33–66 видов) растений. Несколько меньшее число видов характерно для групп пищевых (11–24 вида), витаминных (6–10 видов), инсектицидных (7–10 видов) и декоративных (6–20 видов) растений.

Изменения видовой представительства хозяйственно-полезных групп сеgetальных растений связаны с усилением интенсивности антропогенной нагрузки. Наименьшее количество хозяйственно-полезных растений отмечалось в 80-е гг. прошлого века. В настоящее время их число расширилось в связи со снижением интенсивности земледелия в регионе (увеличение доли залежных земель, неиспользуемых сенокосов и пастбищ).

Представленные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения наиболее перспективных сеgetальных видов с точки зрения их хозяйственного использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lososová Z., Simonová D. Changes during the 20th century in species composition of synanthropic vegetation in Moravia (Czech Republic) // *Preslia*. 2008. V. 80. P. 291–305.
2. Meyer S., Wesche K., Krause B., Leuschner C. Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis // *Diversity and Distributions*. 2013. V. 19. P. 1175–1187. <https://doi.org/10.1111/ddi.12102>
3. Dauber J., Jones M.B., Stout J.C. The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity // *Gcb Bioenergy*. 2010. V. 2. N 6. P. 289–309. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01058.x>
4. Storkey J., Moss S.R., Cussans J.W. Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification // *Weed Science*. 2010. V. 58. N 1. P. 39–46. <https://doi.org/10.1614/WS-09-096.1>
5. Brooker R.W., Hawes C., Iannetta P.P., Karley A.J., Renard D. Plant diversity and ecological intensification in crop production systems // *Journal of Plant Ecology*. 2023. V. 16. N 6. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad015>
6. Проблемы изучения синантропной флоры СССР / отв. ред. В. Н. Тихомиров. М. : Наука, 1989. 89 с.
7. Ульянова Т.Н. Сорные растения во флоре России и сопредельных государств / Барнаул : АзБука, 2005. 297 с.
8. Лунева Н.Н. Исследование биоразнообразия в агроландшафтах // *Материалы V Международного симпозиума «Innovations in life sciences»*, Белгород, 24–26 мая, 2023. С. 152–154.

9. Лулева Н.Н. К вопросу сохранения фиторазнообразия на территориях агроэкосистем // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2023. Т. 17. N 2. С. 49–75. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2023-17-2-49-75>
10. ГБУ "Государственный архив Пензенской области". ФР-28-37 (Личный фонд И. И. Спрыгина). URL: arhiv-pnz.ru (дата обращения: 20.01.2024)
11. Кузьмин П.К. Сорные растения полей Мордовской АССР и меры борьбы с ними. Саранск: Мордгиз, 1941. 230 с.
12. Балабаева Р.М., Смолин Н.В. Динамика засоренности посевов в условиях Мордовии // Межвуз. сборник научных трудов «Рациональное использование земельных ресурсов и повышение плодородия почв». Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 1985. С. 85–88.
13. Бочкарев Д.В. Хронологическая трансформация сорной флоры агрофитоценозов при различном уровне антропогенного воздействия // Вестник Саратовского государственного университета им. Н.И. Вавилова. 2013. N 6. С. 22–28.
14. Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах // Сост.: И.В. Фетюхин, А.П. Авдеенко, С.С. Авдеенко, В.В. Черненко, Н.А. Рябцева. Персиановский: Донской ГАУ. 2018. 76 с.
15. Plants of the World Online (POWO) URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата обращения: 18.02.2024)
16. Матвеев Н.М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны). Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2006. 311 с.
17. Khan R., Khan M.A., Sultan S., Marwat K.B., Khan I., Hassan G., Shah H.U. Nutritional quality of sixteen terrestrial weeds for the formulation of cost-effective animal feed // Journal of Animal and Plant Sciences. 2013. Т. 23. N 1. P. 75–79.
18. Kirilov A., Georgieva N., Stoycheva I. Determination of Composition and Palatability of Certain Weeds // International Journal of Agricultural Science and Food Technology. 2016. N 2. P. 41–43. <https://doi.org/10.17352/2455-815X.000013>
19. Kumalasari N.R., Abdullah L., Khotijah L., Wahyuni L., Indriyani I., Ilman N., Janato F. Evaluation of *Asystasia gangetica* as a potential forage in terms of growth, yield and nutrient concentration at different harvest ages // Tropical Grasslands-Forrajcs Tropicales. 2020. V. 8. N. 2. P. 153–157. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)153-157](https://doi.org/10.17138/tgft(8)153-157)
20. Akinfemi A., Mako A.A. Assessment of nutritive value of four dominant weed species in North central Nigeria // Livestock Research for Rural Development. 2012. V. 24. N 11. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/akin24208.htm>
21. Gutiérrez D., Mendoza S., Serrano V., Bah M., Pelz R., Balderas P., Leon F. Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder // Weed Biology and Management. 2008. T. 8. N 4. P. 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00307.x>
22. Klein A.-M., Boreux V., Fornoff F., Mupapele A.-C., Pufal G. Relevance of wild and managed bees for human well-being // Current Opinion in Insect Science. 2018. V. 26. P. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.011>
23. Aizen M.A., Aguiar S., Biesmeijer J.C., Garibaldi L.A. et al. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification // Global change biology. 2019. V. 25. P. 3516–3527. <https://doi.org/10.1111/gcb.14736>
24. Schweiger O., Franzén M., Frenzel M., Galpern P., et al. Minimising risks of global change by enhancing resilience of pollinators in agricultural systems // Atlas of Ecosystem Services. Drivers, Springer. P. 105–111. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_17
25. Basset Y., Lamarre G.P.A. Toward a world that values insects // Science. 2019. V. 364. P. 1230–1231. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7071>
26. Fijen T.P.M., Scheper J.A., Boom T.M., Janssen N., Raemakers I., Kleijn D. Insect pollination is at least as important for marketable crop yield as plant quality in a seed crop // Ecology Letters. 2018. V. 21. P. 1704–1713. <https://doi.org/10.1111/ele.13150>
27. Phillips B.B., Bullock J.M., Osborne J.L., Gaston K.J. Ecosystem service provision by road verges // Journal of Applied Ecology. 2020. V. 57. N 3. P. 488–501. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13556>
28. Barbercheck M.E., Wallace J. Weed–insect interactions in annual cropping systems // Annals of the Entomological Society of America. 2021. V. 114. N 2. P. 276–291. <https://doi.org/10.1093/aesa/saab002>
29. Gaba S., Cheviron N., Perrot T., Piutti S., Gautier J.L., Bretagnolle V. Weeds enhance multifunctionality in arable lands in south-west of France // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2020. V. 4. P. 71. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00071>
30. Iyda J.H., Fernandes Â., Calheta R.C., Alves M.J. et al. Nutritional composition and bioactivity of *Umbilicis rupestris* (Salisb.) Dandy: An underexploited edible wild plant // Food chemistry. 2019. V. 295. P. 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.139>
31. Lachowicz S., Oszmiański J. Profile of bioactive compounds in the morphological parts of wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and their antioxidative activity // Molecules. 2019. V. 24. N 7. P. 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>
32. Ceccanti C., Landi M., Incrocci L., Pardossi A. et al. Comparison of Three Domestications and Wild-Harvested Plants for Nutraceutical Properties and Sensory Profiles in Five Wild Edible Herbs: Is Domestication Possible? // Foods 2020. V. 9. P. 1065. <https://doi.org/10.3390/foods9081065>
33. Zaynab M., Fatima M., Abbas S., Sharif Y., et al. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens // Microbial pathogenesis. 2018. V. 124. P. 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034>
34. Lyubenova A., Georgieva L., Antonova V. Utilization of plant secondary metabolites for plant protection // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2023. V. 37. N 1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/13102818.2023.2297533?scroll=top&needAccess=true> (дата обращения 21.02.2024). <https://doi.org/10.1080/13102818.2023.2297533>
35. Jacobson M. Botanical pesticides: past, present, and future // ACS Symposium Series «Insecticides of Plant Origin». Washington: American Chemical Society, 1989. P. 1–10. <https://doi.org/10.1021/bk-1989-0387.ch001>
36. Isman M.B. Plant essential oils for pest and disease management // Crop protection. 2000. V. 19. N 8–10. P. 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
37. Nicolopoulou-Stamati P., Maipas S., Kotampasi C., Stamatis P., Hens L. Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture // Frontiers in public health. 2016. V. 4. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/publichealth/articles/10.3389/fpubh.2016.00148/full>. (дата обращения 21.02.2024). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
38. Сучкова А.А., Граница Ю.В. Использование сорных растений в декоративном садоводстве // Сельское хозяйство. 2019. N 4. С. 1–9. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33024 (дата обращения 06.04.2024). <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2019.4.33024>

REFERENCES

- Lososová Z., Simonová D. Changes during the 20th century in species composition of synanthropic vegetation in Moravia (Czech Republic). *Preslia*, 2008, vol. 80, pp. 291–305.
- Meyer S., Wesche K., Krause B. Leuschner C. Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. *Diversity and*

- Distributions, 2013. vol. 19, pp. 1175–1187. <https://doi.org/10.1111/ddi.12102>
3. Dauber J., Jones M.B., Stout J.C. The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. *Gcb Bioenergy*, 2010, vol. 2, no. 6, pp. 289–309. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01058.x>
4. Storkey J., Moss S.R., Cussans J.W. Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification. *Weed Science*, 2010, vol. 58, no. 1, pp. 39–46. <https://doi.org/10.1614/WS-09-096.1>
5. Brooker R.W., Hawes C., Iannetta P.P., Karley A.J., Renard D. Plant diversity and ecological intensification in crop production systems. *Journal of Plant Ecology*, 2023, vol. 16, no. 6. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad015>
6. Tikhomirov V.N., ed. *Problemy izucheniya sinantropnoi flory SSSR* [Problems of studying the synanthropic flora of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1989, 89 p. (In Russian)
7. Ul'yanova T.N. *Sornye rasteniya vo flore Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Weeds in the flora of Russia and neighboring countries]. Barnaul, AzBuka Publ., 2005, 297 p. (In Russian)
8. Luneva N.N. Issledovanie bioraznoobraziya v agrolandshaftakh [Research of biodiversity in agricultural landscapes]. *Materialy V Mezhdunarodnogo simpoziuma «Innovations in life sciences», Belgorod, 24–26 maya 2023* [Proceedings of the V International Symposium "Innovations in life sciences", Belgorod, May 24–26, 2023]. Belgorod, 2023, pp. 152–154. (In Russian)
9. Luneva N.N. On the issue of preserving phytodiversity in the territories of agroecosystems. *Phytodiversity of Eastern Europe*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 49–75. (In Russian) <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2023-17-2-49-75>
10. GBU "Gosudarstvennyi arkhiv Penzenskoi oblasti". FR-28-37 (Lichnyi fond I. I. Sprygina) [The State Archive of the Penza region. I. I. Sprygina's Personal Fund]. Available at: <https://arhiv-pnz.ru> (accessed 20.01.2024)
11. Kuz'min P.K. *Sornye rasteniya polei Mordovskoi ASSR i mery bor'by s nimi* [Weeds of the fields of the Mordovian ASSR and measures to combat them]. Saransk, Mordovian State Publ., 1941, 230 p. (In Russian)
12. Balabaeva R.M., Smolin N.V. Dinamika zasorennosti posevov v usloviyakh Mordovii [Dynamics of crop contamination in the conditions of Mordovia]. *Mezhvuz. sbornik nauchnykh trudov «Racionalnoe ispolzovanie zemelnykh resursov i povyshenie plodorodiya pochv»* [Interuniversity collection of scientific papers "Rational use of land resources and improvement of soil fertility"]. Saransk, Mordovia University Publ., 1985, pp. 85–88. (In Russian)
13. Bochkarev D.V. Chronological transformation of the weed flora of agrophytocenoses at different levels of anthropogenic impact. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov]. 2013, no. 6, pp. 22–28. (In Russian)
14. *Metody ucheta struktury sornogo komponenta v agrofytocenoazah* [Methods of accounting for the structure of the weed component in agrophytocenoses]. Persianovskiy, Donskoy GAU Publ., 2018, 76 p. (In Russian)
15. Plants of the World Online (POWO). Available at: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 18.02.2024)
16. Matveev N.M. *Bioekologicheskij analiz flory i rastitel'nosti (na primere lesostepnoj i stepnoj zony)* [Bioecological analysis of flora and vegetation (on the example of forest-steppe and steppe zones)]. Samara, Samara National Research University named after academician S.P. Korolev Publ., 2006, 311 p. (In Russian)
17. Khan R., Khan M.A., Sultan S., Marwat K.B., Khan I., Hassan G., Shah H.U. Nutritional quality of sixteen terrestrial weeds for the formulation of cost-effective animal feed. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2013, vol. 23, no. 1, pp. 75–79.
18. Kirilov A., Georgieva N., Stoycheva I. Determination of Composition and Palatability of Certain Weeds. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 2016, no. 2, pp. 41–43. <https://doi.org/10.17352/2455-815X.000013>
19. Kumalasari N.R., Abdullah L., Khotijah L., Wahyuni L., Indriyani I., Ilman N., Janato F. Evaluation of *Asystasia gangetica* as a potential forage in terms of growth, yield and nutrient concentration at different harvest ages. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 153–157. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)153-157](https://doi.org/10.17138/tgft(8)153-157)
20. Akinfemi A., Mako A.A. Assessment of nutritive value of four dominant weed species in North central Nigeria. *Livestock Research for Rural Development*, 2012, vol. 24, no. 11. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/akin24208.htm> (accessed 20.08.2024)
21. Gutiérrez D., Mendoza S., Serrano V., Bah M., Pelz R., Balderas P., Leon F. Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder. *Weed Biology and Management*, 2008, vol. 8, no. 4, pp. 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00307.x>
22. Klein A.-M., Boreux V., Fornoff F., Mupepele A.-C., Pufal G. Relevance of wild and managed bees for human well-being. *Current Opinion in Insect Science*, 2018, vol. 26, pp. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.011>
23. Aizen M.A., Aguiar S., Biesmeijer J.C., Garibaldi L.A. et al. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global change biology*, 2019, vol. 25, pp. 3516–3527. <https://doi.org/10.1111/gcb.14736>
24. Schweiger O., Franzén M., Frenzel M., Galpern P., et al. Minimising risks of global change by enhancing resilience of pollinators in agricultural systems. *Atlas of Ecosystem Services, Drivers*, Springer, pp. 105–111. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_17
25. Basset Y., Lamarre G.P.A. Toward a world that values insects. *Science*, 2019, vol. 364, pp. 1230–1231. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7071>
26. Fijen T.P.M., Scheper J.A., Boom T.M., Janssen N., Raemakers I., Kleijn D. Insect pollination is at least as important for marketable crop yield as plant quality in a seed crop. *Ecology Letters*, 2018, no. 21, pp. 1704–1713. <https://doi.org/10.1111/ele.13150>
27. Phillips B.B., Bullock J.M., Osborne J.L., Gaston K.J. Ecosystem service provision by road verges. *Journal of Applied Ecology*. 2020, vol. 57, no. 3. pp. 488–501. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13556>
28. Barbercheck M.E., Wallace J. Weed-insect interactions in annual cropping systems. *Annals of the Entomological Society of America*, 2021, vol. 114, no. 2. pp. 276–291. <https://doi.org/10.1093/aesa/saab002>
29. Gaba S., Cheviron N., Perrot T., Piutti S., Gautier J.L., Bretagnolle V. Weeds enhance multifunctionality in arable lands in south-west of France. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, vol. 4, pp. 71. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00071>
30. Iyda J.H., Fernandes Â., Calhelha R.C., Alves M.J. et al. Nutritional composition and bioactivity of *Umbilicus rupestris* (Salisb.) Dandy: An underexploited edible wild plant. *Food chemistry*, 2019, vol. 295, pp. 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.139>
31. Lachowicz S., Oszmiański J. Profile of bioactive compounds in the morphological parts of wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and their antioxidative activity. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 7, pp. 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>
32. Ceccanti C., Landi M., Incrocci L., Pardossi A. et al. Comparison of Three Domestications and Wild-Harvested Plants for Nutraceutical Properties and Sensory Profiles in Five

- Wild Edible Herbs: Is Domestication Possible? *Foods*, 2020, vol. 9, article id: 1065. <https://doi.org/10.3390/foods9081065>
33. Zaynab M., Fatima M., Abbas S., Sharif Y., et al. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. *Microbial pathogenesis*, 2018, vol. 124, pp. 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034>
34. Lyubanova A., Georgieva L., Antonova V. Utilization of plant secondary metabolites for plant protection // *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2023, vol. 37, no. 1. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/13102818.2023.2297533?scroll=top&needAccess=true> (accessed 21.02.2024). <https://doi.org/10.1080/13102818.2023.2297533>
35. Jacobson M. Botanical pesticides: past, present, and future. ACS Symposium Series «Insecticides of Plant Origin». Washington: American Chemical Society, 1989. pp. 1–10. <https://doi.org/10.1021/bk-1989-0387.ch001>
36. Isman M.B. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*, 2000, vol. 19, no. 8-10, pp. 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
37. Nicolopoulou-Stamati P., Maipas S., Kotampasi C., Stamatis P., Hens L. "Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture." *Frontiers in public health*. 2016, vol. 4. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/publichealth/articles/10.3389/fpubh.2016.00148/full>. (accessed 21.02.2024) <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
38. Suchkova A., Granica Y. The use of weeds in decorative gardening. *Agriculture*, 2019, no. 4, pp. 1–9. Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33024 (accessed 06.04.2024). <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2019.4.33024>. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Никольский собрал и обработал материал. Владимир Д. Бочкарев и Дмитрий В. Бочкарев обработали результаты. Ксения О. Дроздова подготовила рукопись к подаче в редакцию, сверстала текст. 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

Aleksandr N. Nikolskii collected and processed material. Vladimir D. Bochkarev and Dmitrii V. Bochkarev processed the results. Kseniya O. Drozdova prepared the manuscript for submission to the Editor and word processed the text. 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

Александр Н. Никольский / Aleksandr N. Nikolskii <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>
Владимир Д. Бочкарев / Vladimir D. Bochkarev <https://orcid.org/0000-0003-4530-0608>
Дмитрий В. Бочкарев / Dmitrii V. Bochkarev <https://orcid.org/0000-0002-9165-3634>
Ксения О. Дроздова / Kseniya O. Drozdova <https://orcid.org/0009-0005-8856-5595>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 636.32/.38.

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-14



Ассоциации разных генотипов с мясной продуктивностью овец

Алимсолтан А. Оздемиров, Абдусалам А. Хожоков, Рабият А. Акаева, Етар М. Алиева, Патимат О. Алиева, Зухра М. Гусейнова, Мадина А. Даветеева

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», Махачкала, Россия

Контактное лицо

Алимсолтан А. Оздемиров, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр РД»; 367014 Россия, г. Махачкала, ул. А. Шахбанова, 30.
Тел. +7(909)4806199
Email alim72@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Формат цитирования

Оздемиров А.А., Хожоков А.А., Акаева Р.А., Алиева Е.М., Алиева П.О., Гусейнова З.М., Даветеева М.А. Ассоциации разных генотипов с мясной продуктивностью овец // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 141-146.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-14

Получена 22 апреля 2024 г.

Прошла рецензирование 18 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Выявление потенциальных возможностей сельскохозяйственных животных, увеличения сельскохозяйственной продукции, стало возможным посредством применения методов геномной селекции, причем совершенствование племенных и породных качеств целесообразно проводить на локальных породах, так как именно такие породы имеют наилучшую приспособляемость к особенностям природно-географических условий на данной местности.

Контрольные убои животных с разными генотипами, позволили определить их мясные качества, такие как биологическая ценность, убойный выход, убойная масса. Отношение убойной массы и предубойной давали убойный выход в процентах.

ПЦР методом (полимиразно-цепной реакции), посредством использования специфических синтезируемых наборов олигонуклеотидов провели генотипирование подопытных популяций овец с целью изучения аллельных вариантов генов CAST и GH.

При изучении показателей, характеризующий массу тела, у овец с разными генотипами, можно было наблюдать значительные увеличения показателей в период перед отгоном на летние пастбища (17,2 кг) и при отбивке ягнят (25,8 кг). Наиболее низкие показатели были отмечены во время перегона как с зимних пастбищ на летние, так и с летних пастбищ на зимние (30,5 кг).

В период перед отгоном показатель по живой массе был выше у генотипа CASTMM на 5,8 %; по прибытию в горы разница составила 6,1%; при отбивке – 4,7 %; перед отбиванием на зимние пастбища – 8,4 % и при прибытии на зимние пастбища – 9,5 %.

Ключевые слова

Помесное поголовье, генотипы, ассоциации с мясной продуктивностью, селекционно-значимые аллели генов.

Associations of different genotypes with the meat productivity of sheep

Alimsoltan A. Ozdemirov, Abdusalam A. Khozhokov, Rabiya A. Akaeva, Etar M. Alieva, Patimat O. Alieva, Zukhra M. Guseynova and Madina A. Daveteeva

FSBSI Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

Principal contact

Alimsoltan A. Ozdemirov, Head, Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Scientific Centre of the Republic of Dagestan; 30 A. Shakhbanova St, Makhachkala, Russia 367014.

Tel. +7(909)4806199

Email alim72@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

How to cite this article

Ozdemirov A.A., Khozhokov A.A., Akaeva R.A., Alieva E.M., Alieva P.O., Guseynova Z.M., Daveteeva M.A. Associations of different genotypes with the meat productivity of sheep. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):141-146. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-14

Received 22 April 2024

Revised 18 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Identification of the potential to increase the agricultural production of farm animals has become possible through the use of genomic selection methods. It is advisable to improve breeding and pedigree qualities of local breeds, since these have the best adaptability to the features of the natural and geographical conditions in a given area.

He controlled slaughter of animals with different genotypes allowed us to determine their meat qualities, such as biological value, slaughter yield and slaughter weight. The ratio of slaughter weight and pre-slaughter weight gives the slaughter yield in percent.

PCR (polyamino acid chain reaction) using specific synthesised sets of oligonucleotides in the genotyping of experimental sheep populations was carried out in order to study the allelic variants of the CAST and GH genes.

When studying the indices characterising body weight in sheep which have different genotypes, significant increases in the indices could be observed before the periods of driving to summer pastures (17.2 kg) and during lambing (25.8 kg). The lowest indices were noted during driving both from winter pastures to summer pastures and from summer pastures to winter pastures (30.5 kg).

In the period before driving, the live weight index was higher in the CASTMM genotype by 5.8 %; upon arrival in the mountains the difference was 6.1 %; during lambing — 4.7 %; before leaving for winter pastures — 8.4 % and upon arrival at winter pastures — 9.5 %.

Key Words

Crossbred livestock, genotypes, associations with meat productivity, selection-significant gene alleles.

ВВЕДЕНИЕ

Тщательный анализ нуклеотидных пар, привел к пониманию того, что в хромосомах имеются отдельные участки ДНК, не влияющие на количественные признаки, и в тоже время имеющими связь с генами, которые детерминируют эти признаки. Это SNP-маркеры, которые передаются по наследству в купе с той или иной группой генов [1; 2].

Ученые определили ассоциации тех или иных маркеров-генов с хозяйственно-полезными признаками у сельскохозяйственных животных и объединили эти данные в так называемые генетические карты [3; 4].

Выявление потенциальных возможностей сельскохозяйственных животных [5], увеличения сельскохозяйственной продукции, стало возможным посредством применения методов геномной селекции [6; 7], причем совершенствование племенных и породных пород целесообразно проводить на локальных породах [8; 9], так как именно такие породы имеют наилучшую приспособляемость к особенностям природно-географических условий на данной местности [10; 11].

Рост и развитие молодняка, с хорошими фенотипическими данными и генетическим потенциалом возможен, только при достаточной изученности всех происходящих в организме процессов в купе с генотипическими данными [12]. Детерминация фенотипических признаков, различимых у разных особей происходит посредством генетических маркеров [13; 14].

Живая масса относится к признакам, отображающим помимо продуктивных показателей – метаболическую реактивность и здоровье исследуемого скота. Рассматривая живую массу тела как лабильный показатель, надо понимать, что данный генетический признак, является индивидуальным по отношению к каждому генотипу [15; 16].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На протяжении всей научной работы, животные содержались в стандартных условиях: одинаковое питание, уход, ветеринария, при этом ферма не имела проблем с остро заразными заболеваниями. Изучались основные показатели животных: их рост, развитие, быстрота откорма, качество мяса, а также воспроизводительные функции и устойчивость к болезням у молодняка. Для оценки размеров и внешнего вида особей проводили утренние взвешивания (до кормежки и поения). На основе полученных данных рассчитывались индексы, отражающие пропорции тела.

Контрольные убои животных с разными генотипами, позволили определить их мясные качества, такие как биологическая ценность, убойный выход, убойная масса. Показатель по убойной массе включал в себя помимо мяса вместе с костями еще и внутренний жир, голову, почки, ноги и шкуру.

Отношение убойной массы и предубойной давали убойный выход в процентах.

ПЦР методом (полимеразно-цепной реакции), посредством использования специфических синтезируемых наборов олигонуклеотидов провели генотипирование подопытных популяций овец с целью изучения аллельных вариантов генов CAST и GH.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ассоциация полиморфизма генов CAST и GH с динамикой живой массы

В процессе исследования анализировались изменения массы тела ягнят в разные периоды их развития (рис. 1).

При изучении показателей, характеризующий массу тела, у овец с разными генотипами, можно было наблюдать значительные увеличения показателей в период перед отгоном на летние пастбища (17,2 кг) и при отбивке ягнят (25,8 кг). Наиболее низкие показатели были отмечены во время перегона как с зимних пастбищ на летние, так и с летних пастбищ на зимние (30,5 кг).

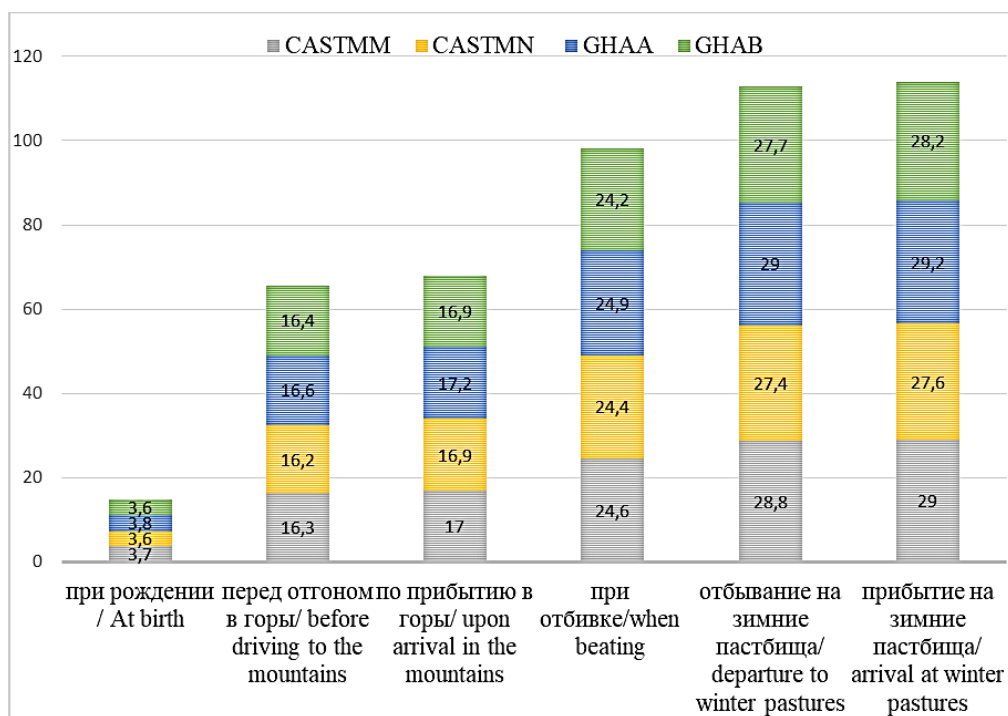


Рисунок 1. Показатели живой массы ягнят дагестанской горной породы (баранчики) разных генотипов
Figure 1. Live weight indicators of Dagestan Mountain lambs (rams) of different genotypes

Здесь важно отметить, что на всех изученных этапах онтогенеза, особый интерес представляли связи между массой животных и различными формами генов CAST и GH. Выявлено, что лучшие темпы роста и суточные приросты массы тела наблюдались у особей с генотипами MM для гена CAST и AA для гена GH. Отметим, что в ходе исследования мы не встретили ягнят с генотипами CASTNN и GHBB, что исключило возможность их анализа в данной работе.

Проведенное исследование указывает на лучшие результаты по массе тела у особей с генотипом CASTMM по сравнению с CASTMN. Так в период перед отгоном данный показатель был выше у генотипа CASTMM на 5,8 %; по прибытию в горы разница составила 6,1%; при отбивке – 4,7 %; перед отбиванием на зимние пастбища – 8,4 % и при прибытии на зимние пастбища – 9,5 %.

Аналогичное преимущество по тому же показателю прослеживается и в отношении генотипа GHAA над генотипом GHAB (рис. 1).

Выявленная закономерность в отношении более высоких показателей по живой массе, прослеживается также и в данных по среднесуточным приростам, где генотипы CASTMM и GHAA имели очевидное преимущество.

Так, в периоды перед отгоном в горы, далее по прибытию на летние пастбища, при отбивке, перед отбиванием на зимние пастбища и при прибытии на зимние пастбища, повышение исследуемых показателей у генотипов CASTMM и GHAA, в сравнении с генотипами CASTMN и GHAB было на уровне: 6,2 и 9,9; 37,8 и 44,7; 1,4 и 8,7; 32,0 и 2,7; 38,7 и 8,5 % соответственно.

Мясная продуктивность молодняка овец разных генотипов

Объективные сведения о качестве мяса, его химическом составе, биологической ценности позволяет получить контрольный убой животных (рис. 2).

После того как провели поголовное индивидуальное взвешивание баранов, носителей генотипов CASTMM и CASTMN, приступили к отбору животных, необходимых в целях контрольного убоя, имеющими схожие показателями живой массы. Перед убоем провели предубойный осмотр животных.

Для определения мясной продуктивности мелкого рогатого скота необходимо учитывать различные факторы. Все эти факторы относятся либо к генотипическим, либо к паратипическим, первые из которых можно отнести к совокупности наследственности, которая имеет наследственные задатки нескольких пород. В овцеводстве описанные методы селекции стали широко изучаться и использоваться в производстве.

В животноводческой отрасли успешно внедряется породообразовательный процесс, это заставляет исследователей искать ответы на вопросы, каким образом разные совокупности генотипов оказывают воздействие на качественные параметры мясо-шерстной продуктивности.

Основными признаками, характеризующими мясную продуктивность, которые выявляются в результате проводимых контрольных убоев, зоотехники указывают на убойный выход, а также на убойную массу животного. Многие авторы указывают на существующую связь вышеописанных параметров с теми или иными генотипами крупного и мелкого рогатого скота.

Данные по контрольному убое баранов, говорят о наличии некоторых отличий в отношении животных с изучаемыми генотипами. Проведенное исследование указывает на лучшие результаты по массе тела у особей с генотипом CASTMM по сравнению с CASTMN.

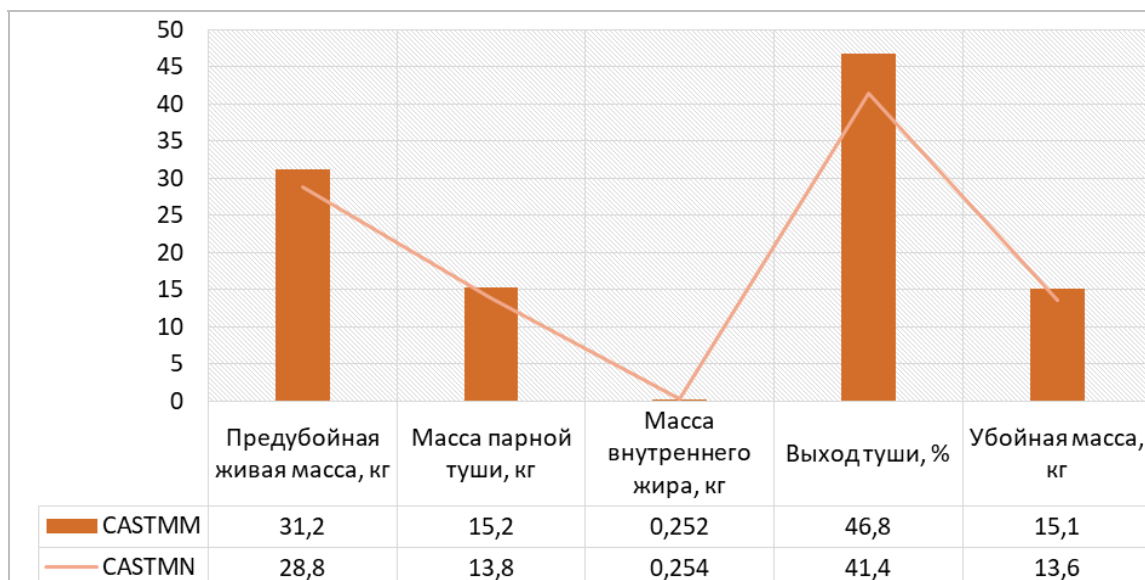


Рисунок 2. Результаты контрольного убоя овец породы дагестанская горная разных генотипов по гену CAST
Figure 2. Results of controlled slaughter of Dagestan Mountain sheep of different genotypes for the CAST gene

Особь с генотипом CASTMM показали более высокие цифры по ключевым показателям массы. Предубойный вес у них оказался на 7,7 % больше, а масса туши на 9,2% превышала аналогичный показатель у CASTMN. Тем не менее, CASTMN слегка обошли CASTMM по

содержанию внутреннего жира (на 0,8 %). Выход туши также демонстрировал преимущество у CASTMM, здесь разница составила 11,5 %. Наконец, убойная масса у CASTMM превзошла CASTMN на 10 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. Создана генетическая база данных по генам GH, CAST, ассоциируемые с селекционно-значимыми признаками продуктивности овец. Проведенная исследовательская работа показала, что ягнята с генотипом CASTMM обладают большей живой массой по сравнению с особями, несущими CASTMN. Подобные результаты наблюдались и при сравнении генотипов GHAA и GHAB, где первый также способствовал увеличению живой массы. Особи с генотипом CASTMM демонстрировали лучшие результаты по таким параметрам, как масса перед забоем, вес свежеснятой туши, процентный выход туши и окончательная убойная масса, в сравнении с ягнятами, которые имели генотип CASTMN.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Сердюк Г.Н., Пrituzhalova A.O. ДНК-маркеры в селекции овец // Овцы, козы, шерст. дело. 2019. N 2. С. 10–12.
- Омаров А., Скорых Л., Маслова Л., Искадарова К. и др. Формирование мясной продуктивности молодняка создаваемого типа скороспелых овец при разных технологиях выращивания // Главный зоотехник. 2018. N 5. С. 8–13.
- Оздемиров А.А., Хождоков А.А., Гусейнова З.М., Даветеева М.А. Анализ полиморфизмов в генах, ассоциируемых с молочной продуктивностью у районированных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях республики Дгестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 3. С. 196–200. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-196-200>
- Колосов Ю.А., Романец Т.С. Характеристика роста баранчиков улучшенных генотипов. // Изв. Горск. гос. аграр. ун-та. 2018. Т. 55. N 3. С. 70–74.
- Тайгузин Р.Ш., Ляпин О.А., Макаев Ш.А. Использование быков-производителей при создании высокорослого типа казахской белоголовой породы с генотипом генов, контролирующей мясную продуктивность животных // Оренбург гос. аграр. ун-та. 2018. Т. 55. N 3. С. 204–207.
- Омаров А., Скорых Л., Коваленко Д., Афанасьев М. и др. Особенности метаболизма у молодняка создаваемого типа скороспелых овец при разных технологиях выращивания // Гл. Зоотехн. 2018. N 4. С. 33–38.
- Андрейченко И.Н., Ковальчук С.Н., Архипова А.Л., Бабий А.В. Дифференциация аллелей a/k dgat1 крупного рогатого скота методом пцр в режиме реального времени // Актуальная биотехнология. 2018. N 3. С. 361–363.
- Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Глазко Т.Т. Поколения молекулярно-генетических маркеров в решении задач геномной селекции // Вестник Российской академии естественных наук. 2017. 17. N 2. С. 66–70.
- Харламов А.В., Панин В.А., Косилов В.И. Повышение эффективности геномной селекции молочного скота // Оренбург гос. аграр. ун-та. 2019. N 3. С. 256–259.
- Новиков А.А., Букаров Н.Г., Рыжова Н.Г., Хрунова А.И., Дунин М.И. Генетическое маркирование в племенном скотоводстве // Зоотехния. 2019. N 5 С. 2.
- Дунин И.М., Тяпугин С.Е., Калашникова Л.А., Мещеров Р.К. Генофонд пород молочного скота в России: состояние, перспективы сохранения и использования // Зоотехния 2019. N 5. С. 1.
- Бахтушкина А.И., Подкорытов А.Т. Мясное скотоводство Республики Алтай // Вестн. Алтайск. гос. аграр. ун-та. 2019. N 1. С. 92–95.
- Ковров А.В. Оценка молочной продуктивности и воспроизводительных качеств коров // Науч. жизнь. 2018. N 11. С. 40.

- Сафина Н.Ю., Зиннатова Ф.Ф., Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К. и др. Полиморфизм гена β -лактоглобулина (LGB) и его взаимосвязь экономически важными признаками голштинского скота // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. N 9. С. 78–80.
- Бейшова И.С., Траисов Б.Б., Косилов В.И. Ассоциация Sna BI- полиморфизм гена инсулиноподобного фактора-1 (bIGF-1) с мясной продуктивностью рогатого скота аулиекольской породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. N 3. С. 221–226.
- Хакимов И.Н., Мударисов Р.М. Улучшение мясных качеств герефордской породы при использовании быков канадской селекции // Материалы международной научно-практической конференции, посвящается 100-летию со дня рождения А. П. Калашникова «Фундаментальные и прикладные аспекты кормления сельскохозяйственных животных», Дубровицы, Моск. обл., 13-16 июня, 2018. С. 324–326.

REFERENCES

- Serdyuk G.N., Prituzhalova A.O. DNA markers in sheep breeding. Ovtzy, kozy, sherstyanoe delo [Sheep, goats, wool business]. 2019, no. 2, pp. 10–12. (In Russian)
- Omarov A., Skorykh L., Maslova L., Iskandarov K. et al. Formation of meat productivity of young animals of the created type of early maturing sheep under different growing technologies. Glavnyi zootekhnik [Chief Zootechnician]. 2018, no. 5, pp. 8–13. (In Russian)
- Ozdemirov A.A., Khozhokov A.A., Guseynova Z.M., Daveteeva M.A. Analysis of polymorphisms in genes associated with milk productivity in zoned cattle breeds raised in the conditions of the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 196–200. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-196-200>
- Kolosov Yu.A., Romanets T.S. Characteristics of the growth of rams of improved genotypes. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Gorsky State Agrarian University]. 2018, vol. 55, no. 3, pp. 70–74. (In Russian)
- Taiguzin R.Sh., Lyapin O.A., Makayev Sh.A. Use of breeding bulls in creating a tall type of the Kazakh white-headed breed with a genotype of genes controlling the meat productivity of animals Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Izvestia Orenburg State Agrarian University]. 2018, vol. 55, no. 3, pp. 204–207. (In Russian)
- Omarov A., Skorykh L., Kovalenko D., Afanasyev M. et al. Features of metabolism in young animals of the created type of early maturing sheep under different growing technologies. Glavnyi zootekhnik [Chief Zootechnician]. 2018, no. 4, pp. 33–38. (In Russian)
- Andreychenko I.N., Kovalchuk S.N., Arkhipova A.L., Babiy A.V. Differentiation of a/k dgat1 alleles in cattle by real-time PCR. Aktualnaja biotekhnologija [Topical biotechnology]. 2018, no. 3, pp. 361–363. (In Russian)
- Glazko V.I., Kosovsky G.Yu., Glazko T.T. Generations of molecular genetic markers in solving problems of genomic selection. Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences]. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 66–70. (In Russian)
- Kharlamov A.V., Panin V.A., Kosilov V.I. Increasing the efficiency of genomic selection of dairy cattle. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Izvestia Orenburg State Agrarian University]. 2019, no. 3, pp. 256–259. (In Russian)
- Novikov A.A., Bukarov N.G., Ryzhova N.G., Khrunova A.I., Dunin M.I. Genetic marking in breeding cattle breeding. Zootekhnika [Zootechnics]. 2019, no. 5, p. 2. (In Russian)
- Dunin I.M., Tyapugin S.E., Kalashnikova L.A., Meshcherov R.K. Gene pool of dairy cattle breeds in Russia: state, prospects

for conservation and use. *Zootekhnika* [Zootechnics]. 2019, no. 5, p. 1. (In Russian)

12. Bakhtushkina A.I., Podkorytov A.T. Beef cattle breeding of the Altai Republic. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University]. 2019, no. 1, pp. 92–95. (In Russian)

13. Kovrov A.V. Assessment of milk productivity and reproductive qualities of cows. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life]. 2018, no. 11, p. 40. (In Russian)

14. Safina N.Yu., Zinnatova F.F., Yulmetyeva Yu.R., Shakirov Sh.K. et al. Polymorphism of the β -lactoglobulin (LGB) gene and its relationship with economically important traits of Holstein cattle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC]. 2018, vol. 32, no. 9, pp. 78–80. (In Russian)

15. Beyshova I.S., Traisov B.B., Kosilov V.I. Association of Sna BI- polymorphism of the insulin-like factor-1 (bIGF-1) gene with

meat productivity of Auliekol cattle. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia Orenburg State Agrarian University]. 2018, no. 3, pp. 221–226. (In Russian)

16. Khakimov I.N., Mudarisov R.M. Uluchshenie myasnykh kachestv gerefordskoi porody pri ispol'zovanii bykov kanadskoi selektsii [Improving the meat qualities of the Hereford breed using Canadian-bred bulls]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchaetsya 100-letiyu so dnya rozhdeniya A. P. Kalashnikova «Fundamental'nye i prikladnye aspekty kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh»*, Dubrovitsy, 13-16 iyunya, 2018 [Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of A.P. Kalashnikov's birth "Fundamental and applied aspects of feeding farm animals", Dubrovitsy, June 13-16, 2018]. Dubrovitsy, 2018, pp. 324–326. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рабият А. Акаева, Етар М. Алиева, Патимат О. Алиева, Зухра М. Гусейнова и Мадина А. Даветеева отобрали биоматериал и взвешивали животных для исследования. Алимсолтан А. Оздемиров и Абдусалам А. Хожоков провели ДНК исследования, проанализировали данные. 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

Rabiyat A. Akaeva, Etar M. Alieva, Patimat O. Alieva, Zukhra M. Guseynova and Madina A. Daveteeva selected biomaterial and weighed animals for research. Alimsoltan A. Ozdemirov and Abdusalam A. Khozhokov conducted DNA research and analyzed the data. 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

Алимсолтан А. Оздемиров / Alimsoltan A. Ozdemirov <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>
Абдусалам А. Хожоков / Abdusalam A. Khozhokov <https://orcid.org/0000-0002-7303-0222>
Рабият А. Акаева / Rabiyat A. Akaeva <https://orcid.org/0000-0002-5682-6712>
Етар М. Алиева / Etar M. Alieva <https://orcid.org/0000-0002-7437-9231>
Патимат О. Алиева / Patimat O. Alieva <https://orcid.org/0000-0002-1482-417X>
Зухра М. Гусейнова / Zukhra M. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-1728-2844>
Мадина А. Даветеева / Madina A. Daveteeva <https://orcid.org/0000-0002-6429-7697>

Оригинальная статья / Original article

УДК 528.94:332.142

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-15



Индекс развития транспортной инфраструктуры как фактор устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря

Ольга Е. Архипова, Ольга Ю. Патракеева

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

Контактное лицо

Ольга Е. Архипова, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Южный научный центр РАН; 344006 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

Тел. +79034050154

Email olga_arkhipov@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-2218-3077>**Формат цитирования**

Архипова О.Е., Патракеева О.Ю. Индекс развития транспортной инфраструктуры как фактор устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 147-153. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-15

Получена 2 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 24 сентября 2023 г.

Принята 29 ноября 2023 г.

Резюме

Являясь зоной взаимодействия суши и моря, прибрежные зоны становятся стратегическим районом для достижения устойчивого расширения экономического пространства. Объект исследования – прибрежная зона Азовского моря (Ростовская область и Краснодарский край). Предмет исследования – оценка динамики индекса развития транспортной инфраструктуры как фактора устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря.

В основу методологических подходов к оценке устойчивого развития территории положена методика, опирающаяся на методы системного анализа, математического моделирования, ГИС-технологий. Предложен индикатор, учитывающий площадь территории, численность населения, протяженность автодорог общего пользования местного значения, отгрузку товаров собственного производства выполнено работ и услуг собственными силами, как способ измерения «экономической» нагрузки на транспортную инфраструктуру.

Проведен анализ состояния транспортной инфраструктуры регионов прибрежной зоны за период с 2015 по 2021 г. На основе анализа индекса транспортной инфраструктуры сделан вывод, что тяготение муниципальных образований к Ростовской агломерации, усиление социальных, торговых и инфраструктурных контактов с мегаполисов приведет к дальнейшему росту антропогенной нагрузки на территории. Исследуемые районы Краснодарского края относятся к Северной экономической зоне – территории с диверсифицированной экономикой, характеризующаяся трансграничными связями с соседними регионами.

Автомобильные дороги являются важнейшим звеном транспортно-логистической системы. Уровень развития и техническое состояние дорожной сети оказывают значительное и разнообразное влияние на экономическое и социальное развитие как государства в целом, так и отдельных регионов.

Ключевые слова

Картография, транспортная инфраструктура, устойчивое развитие, прибрежная зона, Азовское море.

Index of development of transport infrastructure as a factor of sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov, Russia

Olga E. Arkhipova and Olga Yu. Patraakeeva

Federal Research Centre Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Principal contact

Olga E. Arkhipova, PhD, Associate Professor, Leading Researcher, Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences; 41 Chekhov Ave, Rostov-on-Don Russia 344006.
Tel. +79034050154
Email olga_arkhipov@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2218-3077>

How to cite this article

Arkhipova O.E., Patraakeeva O.Yu. Index of development of transport infrastructure as a factor of sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):147-153. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-15

Received 2 May 2023

Revised 24 September 2023

Accepted 29 November 2023

Abstract

As a zone of interaction between land and sea, coastal zones are becoming a strategic area for achieving a sustainable expansion of economic space. The object of study is the coastal zone of the Sea of Azov (Rostov Region and Krasnodar Territory). The subject of the study is an assessment of the dynamics of transport infrastructure development index as a factor in the sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov.

Methodological approaches to assessing the sustainable development of the territory were based on a methodology based on methods of system analysis, mathematical modeling, and GIS technologies. An indicator has been formulated that considers the area of the territory, the population, the length of public roads of local importance, the shipment of goods of local production, the work and services performed on their own, in order to measure the 'economic' load on the transport infrastructure.

The analysis of the state of the transport infrastructure of the regions of the coastal zone for the period from 2015 to 2021 was carried out. Based on an analysis of the transport infrastructure index, it was concluded that the attraction of municipalities to the Rostov agglomeration, together with the strengthening of social, trade and infrastructure contacts with megacities will lead to a further increase in the anthropogenic load on the territory. The areas studied of the Krasnodar Territory belong to the Northern Economic Zone – a territory with a diversified economy, characterised by cross-border links with neighboring regions.

Highways are the most important link in the transport and logistics system. The level of development and the technical condition of the road network have a significant and diverse impact on the economic and social development of both the state as a whole and its individual regions.

Key Words

Cartography, transport infrastructure, sustainable development, coastal zone, Sea of Azov.

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные зоны обладают определенной способностью справляться с неблагоприятными последствиями экологического давления и восстанавливаться после них, что является уязвимостью экосистем прибрежных зон. Учитывая уязвимость экосистем прибрежной зоны и наличие значительной экологической нагрузки, необходимо проводить их систематическую оценку. Устойчивое развитие региона предполагает согласованное взаимодействие хозяйственной деятельности, социальных и экологических процессов, их последовательных положительных изменений, обеспечивающих устойчивость и конкурентоспособность экономической системы, отвечающей потребностям общества в настоящем и в будущем [1; 2].

Для выработки стратегии, обеспечивающей устойчивое развитие той или иной территории, требуется составить характеристику ее развития на основе ключевых демографических, социо-эколого-экономических индикаторов, а затем выделить определить ключевые тенденции и траектории их изменений. В рамках представленного исследования предложена методика оценки устойчивого развития Азовского побережья, концептуальную основу которой составляют методы системного анализа, математического моделирования, ГИС-технологий [3]. ГИС, обеспечивающие интеграцию многомерных данных для последующего пространственного анализа и моделирования, а также визуального представления полученных результатов (например, в виде тематических карт и/или схем) [4]. Область исследования охватывает следующие прибрежные зоны Азовского моря: шесть муниципальных образований Краснодарского края (Ейский, Каневской, Приморско-Ахтарский, Славянский, Темрюкский, Щербиновский районы), два муниципальных района и два городских округа Ростовской области (Азовский, Неклиновский районы, Таганрог, Азов). На рассматриваемых территориях размещены портовые и промышленные комплексы, рекреационные объекты, активно развивается сельское хозяйство и другие виды деятельности, создающие повышенную нагрузку на побережье [5].

На долю Ростовской области (Неклиновский, Азовский, г. Азов, г. Таганрог) приходится 36,7 % площади, 49,6 % населения прибрежной территории Азовского моря. На территории Щербиновского, Ейского, Каневского, Темрюкского районов (12029,2 км², или 45 % от общей площади побережья) проживает 391,1 тыс. чел., плотность населения зоны – 49 чел/км². Основной отраслью специализации является сельское хозяйство, а именно, выращивание зерновых и зернобобовых культур. Несмотря на относительно низкую демографическую, промышленную, транспортную нагрузку, главным фактором нарушения естественных ландшафтов побережья выступает сельскохозяйственное производство – прежде всего высокая степень распаханности территорий (60–80 %). Берега данных районов в основном относятся к абразионно-оползневому типу, где скорости абразии могут достигать от 1 до 10 м в год, что может приводить к утрате ценных плодородных сельскохозяйственных земель. На территории Темрюкского района расположены три

крупных порта Кавказ, Тамань, Темрюк с грузооборотом 21,4 млн т, 40,5 млн т и 3,8 млн т соответственно.

Приморско-Ахтарский и Славянский районы Краснодарского края имеют самые низкие показатели заселенности относительно других рассматриваемых районов: 182,5 тыс. чел., плотность – 38,8 чел/км². Для районов характерна низкая антропогенная нагрузка, поскольку на их территории нет крупных промышленных предприятий. Но в то же время основным источником загрязнения почв и поверхностных водных объектов является деятельность аграрного и нефтедобывающего комплексов. Данные территории имеют потенциал и благоприятные природными условиями для развития аквакультуры, зон рекреации, создания заповедников.

Данная работа посвящена оценке одного из показателей экономического развития региона, в частности оценке транспортной инфраструктуры. Интенсивность хозяйственной деятельности обусловлена развитием инфраструктуры, являющейся фактором связанности экономического пространства. Эффективное осуществление транспортных услуг имеет стратегическое значение для развития экономики и обеспечения экономической безопасности, удовлетворения потребностей хозяйствующих субъектов и населения в грузовых и пассажирских перевозках. В то же время важнейшим звеном транспортно-логистической системы являются автомобильные дороги. Уровень развития и техническое состояние дорожной сети оказывают значительное и разнообразное влияние на экономическое и социальное развитие как государства в целом, так и отдельных регионов [6]. Исследователи отмечают [7], что улучшение сети магистралей снижает транспортные расходы и может привести как к более высокой степени географической агломерации экономической деятельности, так и к ее пространственному рассредоточению, распространяя эффекты от мегаполисов до средних городов. Пространственная организация транспортной сети влияет на систему расселения, размещение промышленных объектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эмпирическими источниками исследования послужили материалы государственной статистики Ростовской области и Краснодарского края, база данных Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Ростовской области и Краснодарскому краю за период (2015–2021 гг.) «Показатели муниципальных образований Ростовской области», «Показатели муниципальных образований Краснодарский край» Основу исследования составляют базы данных «Показатели муниципальных образований» Единого Интернет-портала Росстат [8].

Транспортная система выступает носителем связей, влияющих на степень распространения или затухания импульсов социально-экономического развития региона [9]. Для оценки уровня развития транспортной инфраструктуры территории используются различные коэффициенты. Наиболее распространенными из них являются коэффициенты Энгеля, Гольца, Успенского, Василевского. Коэффициент Энгеля рассчитывается по следующей формуле [10]:

$$d = \frac{L}{\sqrt{SH}} \quad (1)$$

где L – общая длина транспортных путей; S – площадь территории; H – численность населения.

Коэффициент Василевского рассчитывается как [10]:

$$d = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}} \quad (2)$$

где Q – общий вес произведенной продукции.

Используемая в данном исследовании формула расчета показателя уровня развития транспортной инфраструктуры для муниципальных образований ($TI(i,t)$) является модификацией расчета коэффициента Энгеля и коэффициента Василевского. Для оценки развития автодорожной инфраструктуры (TI) (далее Индекс развития транспортной инфраструктуры, или Индекс) рассматриваемых территорий рассчитан индикатор, учитывающий площадь территории, численность населения, протяженность автодорог общего пользования местного значения, отгрузку товаров собственного производства выполнено работ и услуг собственными силами.

Поскольку в разрезе муниципальных образований отсутствует статистика по объему отправляемых грузов, то для измерения «экономической» нагрузки на транспортную инфраструктуру выбран показатель $Prod(i,t)$ – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства), млн рублей. Для возможности сопоставления расчетных значений $TI(i,t)$ по годам величины $Prod(i,t)$, начиная с 2016 гг. скорректированы на индекс цен производителей промышленных товаров Ростовской области или Краснодарского края в зависимости от принадлежности муниципального образования к тому или иному региону.

Поясним методику его расчета (3):

$$TI_{i,t} = \frac{L_{i,t}}{\sqrt[3]{S_i \cdot P_{i,t} \cdot Prod_{i,t}}} \quad (3)$$

где $L_{i,t}$ – протяженность автодорог общего пользования местного значения с твердым покрытием i – го муниципального образования за период времени t , км;

S_i – площадь i – го муниципального образования, кв. км;

$P_{i,t}$ – численность населения i – го муниципального образования за период времени t ; человек;

$Prod_{i,t}$ – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства), млн рублей.

Значения $Prod_{i,t}$ за 2016 гг. скорректирована на индекс цен производителей промышленных товаров Ростовской области или Краснодарского края в зависимости от принадлежности муниципального образования к тому или иному региону.

Таким образом индекс транспортной инфраструктуры является синтетическим индикатором, напрямую зависимым от экономических ($Prod_{i,t}$, $L_{i,t}$) и демографических индикаторов ($P_{i,t}$).

Процесс принятия решений зачастую связан анализом большого количества альтернативных решений, при этом, основной сложностью в выборе одного из них является тот факт, что критерии, или атрибуты, могут быть как качественными, так и количественными, могут иметь различные шкалы и единицы измерения, и наконец, не последнюю роль играет определение значимости критериев относительно друг друга [11]. Для ранжирования регионов по индикатору транспортной инфраструктуры в качестве оптимального критерия выбран набор атрибутов, соответствующий сбалансированному развитию региона, когда развитие транспортной сети соответствует объему грузоперевозок в регионе, при постоянном значении параметров площади региона и численности населения. Сопоставление производится на основе значений атрибутов или ранжированных атрибутов. Если имеется более одного входного объекта для сопоставления, атрибуты для всех объектов усредняются для создания составного целевого объекта, который будет использоваться в процессе сопоставления. Использование приведенных методов позволяет провести оценку развития территории по выбранным группам показателей за исследуемый период.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе данных из открытых источников за период с 2015 по 2021 год были рассчитаны значения основных индикаторов по регионам прибрежной зоны Ростовской области (Таганрог, Азов, Азовский, Неклиновский районы) и Краснодарского края (Щербиновский, Ейский, Каневской, Приморско-Ахтарский, Славянский, Темрюкский районы). Проведена оценка изменения основных факторов, оказывающих влияние на индикатор транспортной инфраструктуры. На рисунке 1 приведены расчеты Индекса за 2015 и 2021 гг. и динамика Индекса за этот же период (рис. 2).

Расчеты за период 2015–2021 гг. показали, что наибольший прирост Индекса зафиксирован в Азовском, Неклиновском районе (рис. 1, рис. 2), обеспеченный значительным увеличением протяженности дорожной сети при незначительном росте как численности населения, так и экономической активности (рис. 3). Спад Индекса для Азова и Таганрога обусловлен более чем двукратным ростом отгрузки товаров при неизменной протяженности автодорог (рис. 3).

Каневский, Приморско-Ахтарский районы характеризуются умеренным ростом обеспеченности инфраструктурой. В Щербиновском и Ейском районе значение Индекса практически не изменилось. В Славянском районе наблюдался его спад, что обуславливается ростом объема отгруженной продукции, в противовес в Темрюкском районе процесс более сбалансированный, так как рост грузоперевозок сопровождается развитием транспортной инфраструктуры.

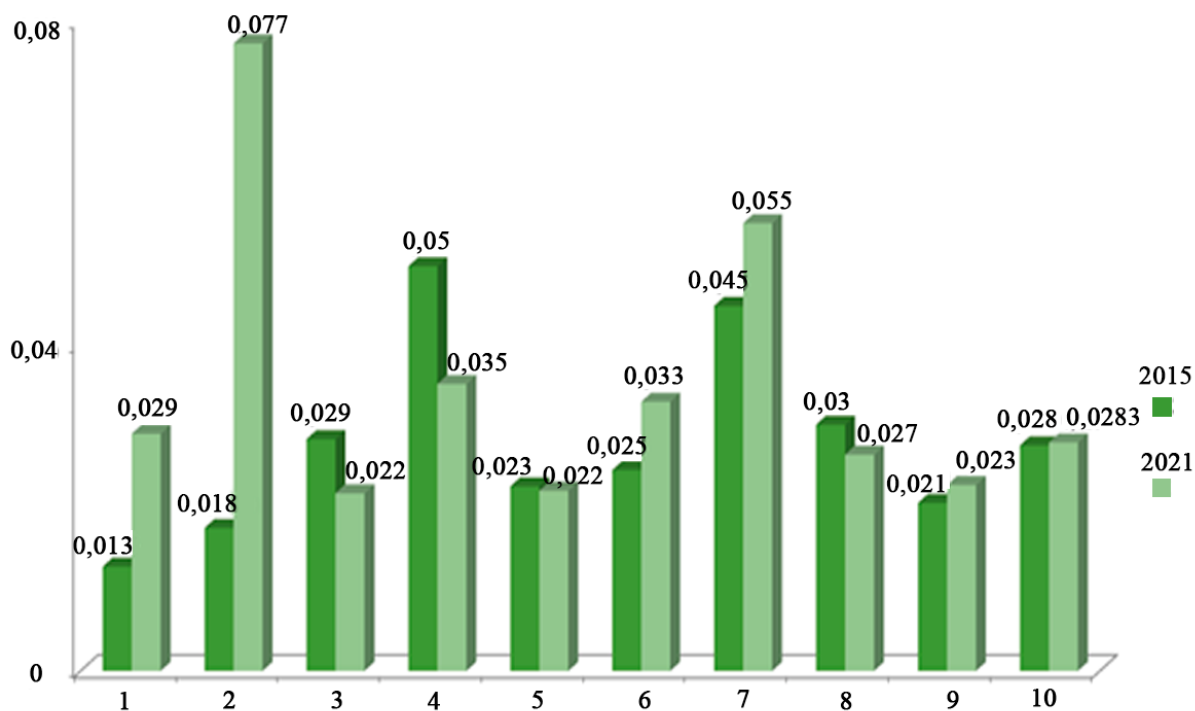


Рисунок 1. Индекс развития транспортной инфраструктуры по муниципальным районам и городам в 2015 и 2021 гг. (1 – Азовский, 2 – Неклиновский, 3 – Азов, 4 – Таганрог, 5 – Ейский, 6 – Каневский, 7 – Приморско-Ахтарский, 8 – Славянский, 9 – Темрюкский, 10 – Щербиновский)

Figure 1. Index of transport infrastructure development by municipal districts and cities in 2015 and 2021 (1 – Azovsky, 2 – Neklinovsky, 3 – Azov, 4 – Taganrog, 5 – Eeysky, 6 – Kanevsky, 7 – Primotsko-Akhtarsky, 8 – Slaviansky, 9 – Temryuksky, 10 – Shcherbinovsky)

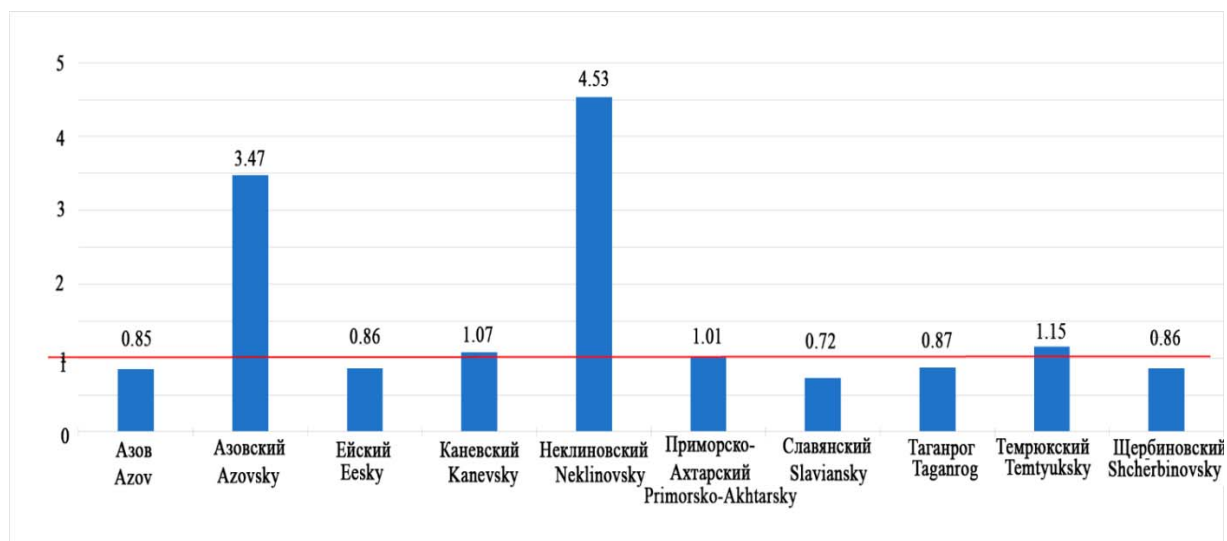


Рисунок 2. Прирост индекса транспортной инфраструктуры за период с 2015 по 2021 год

Figure 2. Growth in the Transport Infrastructure Index for the period from 2015 to 2021

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе анализа индекса транспортной инфраструктуры сделан вывод, что тяготение данных муниципальных образований Неклиновского и Азовского района к Ростовской агломерации, усиление социальных, торговых и инфраструктурных контактов с мегаполисом приведет к дальнейшему росту антропогенной нагрузки на территории.

Ейский, Каневской, Щербиновский районы относятся к Северной экономической зоне Красно-

дарского края – территории с диверсифицированной экономикой: развитым агропромышленным комплексом с многоступенчатой переработкой сельскохозяйственной продукции в рамках межмуниципальной кооперации со сбытом на внутренний и внешний рынки, эффективно реализуемым торговым, транспортно-логистическим и туристско-рекреационным потенциалом, характеризующаяся трансграничными связями с соседними регионами.

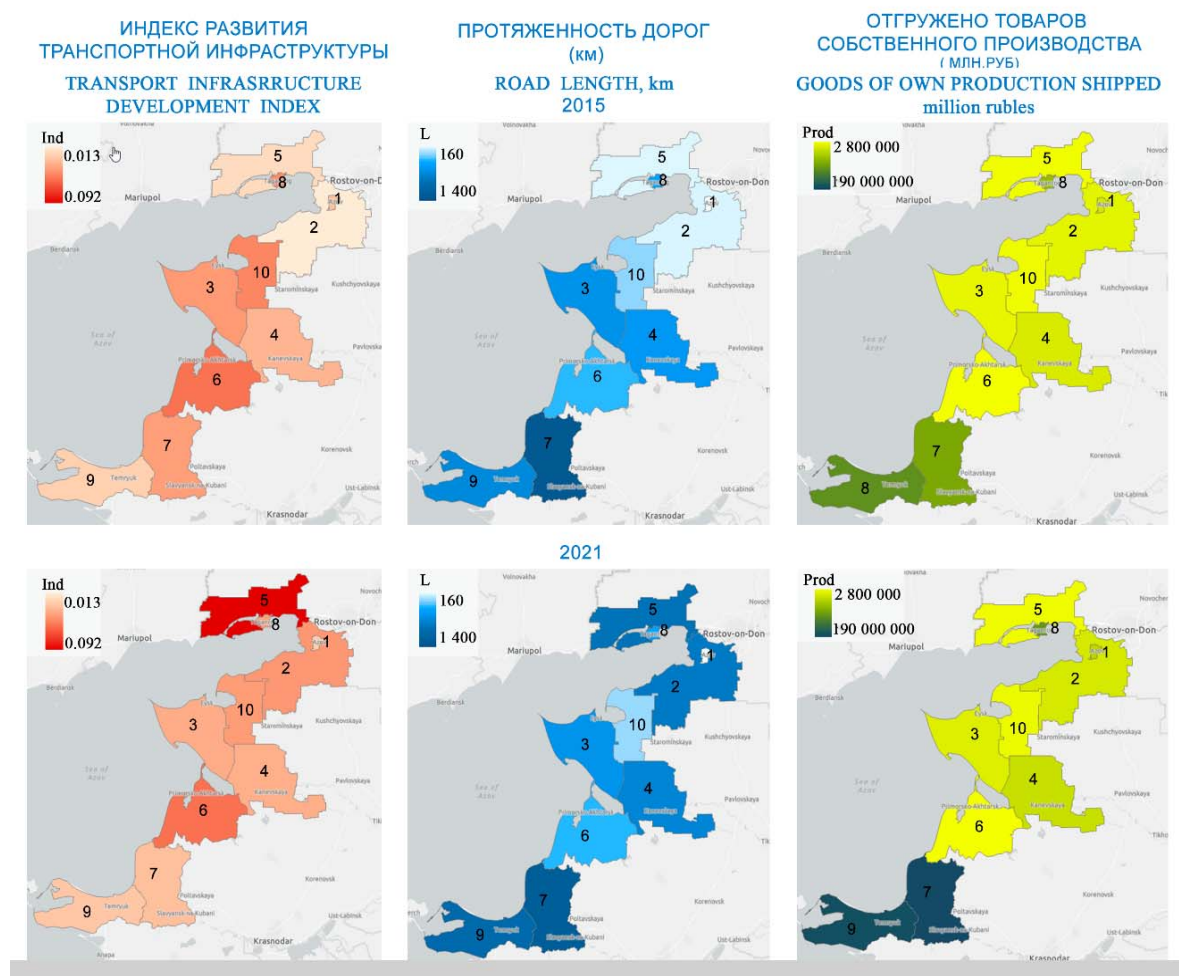


Рисунок 3. Динамика Индекса и его компонентов за 2015–2021 гг. (1 – Азов; 8 – Таганрог; Районы: 2 – Азовский; 3 – Ейский; 4 – Каневский; 5 – Неклиновский; 6 – Приморско-Ахтарский; 7 – Славянский; 9 – Темрюкский; 10 – Щербиновский)

Figure 3. Dynamics of the Index and its components for 2015–2021 (1 – Azov; 8 – Taganrog; Districts: 2 – Azovsky; 3 – Eisky; 4 – Kanevsky; 5 – Neklinovsky; 6 – Primorsko-Akhtarsky; 7 – Slaviansky; 9 – Temryuksky; 10 – Shcherbinovsky)

Темрюкский район принадлежит Черноморской экономической зоне. Наиболее развитыми и перспективными отраслями хозяйственной деятельности района являются агропромышленный сектор, транспортный и санаторно-курортный комплекс. Прирост населения в 4 % за рассматриваемый период свидетельствует об экономических перспективах территории и привлекательности проживания.

Приморско-Ахтарский, Славянский район относятся к Центральной экономической зоне. Эти территории с развитым агропромышленным комплексом характеризуются высокой транспортной доступностью, образуют транспортно-логистическую и экономическую основу «Краснодарского пояса». Благодаря выходу районов к Азовскому морю активно развивается санаторно-курортный комплекс. Спад Индекса развития транспортной инфраструктуры в Славянском районе обусловлен запаздывающими темпами расширения дорожной сети относительно темпов роста экономики.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Публикация подготовлена в рамках реализации гранта РНФ № 23-27-00408 «Интегральный анализ региональных факторов риска устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря – индикаторы, инструменты, модели».

ACKNOWLEDGMENT

The publication was prepared as part of the implementation of RSF grant No. 23-27-00408, Integral Analysis of Regional Risk Factors for Sustainable Development of the Coastal Zone of the Sea of Azov-Indicators, Tools, Models.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыдыпова Э.С. Критерии устойчивого развития региона // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. N 2-2(24). С. 125–131.
2. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Архипова К.Э. Концепция устойчивого развития. Современное состояние исследований в мировой науке // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2021. Т. 1. N 6. С. 255–264. DOI: 10.23885/2500-395X-2021-1-6-255-264
3. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Тарасова Т.Т., Архипова К.Э. Оценка устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря (Российский сектор) на основе интегрального подхода // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Международной конференции. Москва: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 1. С. 99–111. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-99-111
4. Архипова О.Е., Булышева Н.И., Гаргола Ю.М., Голубева Н.И., Инжебейкин Ю.И., Ковалева Г.В., Кондаков А.А., Красноруцкая К.В., Лебедева Н.В., Лужняк В.А., Набоженко М.В., Панасюк Н.В., Савицкий Р.М., Саяпин В.В., Сорокина

- В.В., Степаньян О.В., Титов В.В., Толочко И.В., Шохин И.В. Экологический атлас Азовского моря. Ростов-на-Дону, 2011. 328 с.
5. Кропянко Л.В., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. Оценка Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края по степени благоприятности природной среды и уровню антропогенного воздействия для эффективного развития экономики региона // *Наукоедение*. 2015. Т. 7. N 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/63EVN315.pdf>. DOI: 10.15862/63EVN315 (дата обращения 20.03.2023).
6. Ermoshin N., Romanchikov S., Denisov A. Adaptive approach to economic security management of transport and logistics systems // *X International Scientific Siberian Transport Forum. Transportation Research Procedia*. 2022. N 63. P. 195–202. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.005.
7. Yu N., de Roo G., De Jong M., Storm S. Does the expansion of a motorway network lead to economic agglomeration? Evidence from China Transport Policy, 2016. N 45. P. 218–227. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.03.014.
8. Базы данных // Интернет-портал Росстата. URL: <https://rosstat.gov.ru/databases> (дата обращения 20.03.2023)
9. Мыслякова Ю.Г., Котлярова С.Н., Матушкина Н.А. Генетический подход к оценке инфраструктурной связанности индустриального региона // *Экономика региона*. 2021. Т. 17. N 3. С. 784–798. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-5>
10. Дабиев Д.Ф., Дабиева У.М. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. N 11-2. С. 283–284. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7726> (дата обращения: 27.04.2023)
11. Демидовский А.В. Сравнительный анализ методов многокритериального принятия решений: ELECTRE, TOPSIS и ML-LDM // XXIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2020). Сборник докладов. 2020. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», С. 234–237.

REFERENCES

1. Tsydyrova E.S. Criteria for sustainable development of the region. *Nauka vchera, segodnya, zavtra* [Science yesterday, today, tomorrow]. 2016, no. 2-2(24), pp. 125–131. (In Russian)
2. Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Arkhipova K.E. The concept of sustainable development. The current state of research in world science. *Ecology. Economy. Informatics. Series: System Analysis and Modeling of Economic and Ecological Systems*. 2021, vol. 1, no. 6, pp. 255–264. (In Russian) DOI: 10.23885/2500-395X-2021-1-6-255-264
3. Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Tarasova T.T., Arkhipova K.E. Assessment of sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov (Russian sector) based on an integral approach. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International*

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Е. Архипова проанализировала данные, подготовила рукопись. Ольга Ю. Патракеева собрала данные и выбрала индекс. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

- conference*. Moscow, MSU, Faculty of Geography, 2021. vol. 27, part 1, pp. 99–111. (In Russian) DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-99-111
4. Arkhipova O.E., Bulysheva N.I., Gargopa Yu.M., Golubeva N.I., Inzhebeikin Yu.I., Kovaleva G.V., Kondakov A.A., Krasnorutskaya K.V., Lebedeva N.V., Luzhnyak V.A., Nabozhenko M.V., Panasyuk N.V., Savitsky R.M., Sayapin V.V., Sorokina V.V., Stepanyan O.V., Titov V.V., Tolochko I.V., Shokhin I.V. *Ekologicheskiy atlas Azovskogo morya* [Ecological Atlas of the Sea of Azov]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of RAS Publ., 2011, 328 p. (In Russian)
5. Kropanyko L.V., Bepalova L.A., Bepalova E.V. *Otsenka Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya Rostovskoy oblasti i Krasnodarskogo kraya po stepeni blagopriyatnosti prirodnoy sredy i urovnyu antropogennogo vozdeystviya dlya effektivnogo razvitiya ekonomiki regiona* [Assessment of the Azov-Black Sea coast of the Rostov Region and the Krasnodar Territory in terms of the degree of environmental friendliness and the level of anthropogenic impact for the effective development of the region's economy]. *Naukovedenie*. 2015, vol.7. no. 2. (In Russian) Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/63EVN315.pdf> (free access) (accessed 20.03.2023). (In Russian)
6. Ermoshin N., Romanchikov S., Denisov A. Adaptive approach to economic security management of transport and logistics systems. *X International Scientific Siberian Transport Forum. Transportation Research Procedia*. 2022, no. 63, pp. 195–202. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.005
7. Yu N., de Roo G., De Jong M., Storm S. Does the expansion of a motorway network lead to economic agglomeration? *Evidence from China Transport Policy*, 2016, no. 45, pp. 218–227. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.03.014
8. Myslyakova Yu.G., Kotlyarova S.N., Matushkina N.A. Genetic approach to assessing the infrastructure connectivity of an industrial region. *Economy of the region*, 2021, vol.17, no. 3, pp. 784–798. (In Russian) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-5>
9. *Bazy dannykh* [Databases]. Internet-portal Rosstat. (In Russian) Available at: <https://rosstat.gov.ru/databases> (accessed 20.03.2023)
10. Dabiev D.F., Dabiev U.M. Estimation of transport infrastructure of macroregions of Russia. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research]. 2015, no. 11-2, pp. 289–284 (In Russian).
11. Demidovsky A.V. Sravnitel'nyy analiz metodov mnogokriterial'nogo prinyatiya resheniy: ELECTRE, TOPSIS i ML-LDM [Comparative analysis of multicriteria decision making methods: ELECTRE, TOPSIS and ML-LDM]. *XXIII Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2020)* [XXIII Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM-2020)]. St. Petersburg, SPbGETU "LETI" Publ., 2020, pp. 234–237. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga E. Arkhipova undertook data analysis and manuscript preparation. Olga Yu. Patrakeeva collected data and choose index. Both 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

Ольга Е. Архипова / Olga E. Arkhipova <https://orcid.org/0000-0002-2218-3077>

Ольга Ю. Патракеева / Olga Yu. Patrakeeva <https://orcid.org/0000-0002-9320-2327>

Оригинальная статья / Original article

УДК 911:330.15

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-16



Оценка перспектив устойчивого приграничного взаимодействия российских постцелинных регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан

Александр А. Чибилёв (мл.)¹, Татьяна В. Лебедева^{1,2}, Лилия М. Туктамышева^{1,2}, Иван С. Свиридов¹¹Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Александр А. Чибилёв, кандидат экономических наук, заведующий отделом социально-экономической географии, Институт степи ОФИЦ УрО РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская 11.
Тел. +73532774432

Email economgeo-is@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>

Формат цитирования

Чибилёв А.А. (мл.), Лебедева Т.В., Туктамышева Л.М., Свиридов И.С. Оценка перспектив устойчивого приграничного взаимодействия российских постцелинных регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 154-168.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-16

Получена 21 января 2024 г.

Прошла рецензирование 11 июня 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель: комплексная оценка устойчивости приграничного взаимодействия российских степных субъектов Урала и Сибири с Республикой Казахстан в сфере внешней торговли и миграции.

Для достижения поставленной цели исследования разработана модель оценки перспектив устойчивого приграничного взаимодействия российских степных регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан.

Проведенное исследование с использованием разработанной методики позволило выявить проблемы приграничного взаимодействия степных регионов с Республикой Казахстан. На фоне снижения общей подвижности населения степных регионов России, доля выбывших в Республику Казахстан в общем числе выбывших за рубеж имела положительную динамику в анализируемом периоде в подавляющем большинстве степных субъектов Российской Федерации. В пяти регионах из восьми рассматриваемых, взаимодействие характеризуется как «стабильное» и «устойчивое», «нестабильное» взаимодействие в сфере миграции только в Алтайском крае.

Лидером по доле в экспортно-импортных операциях страны, среди степных субъектов Российской Федерации в 2015–2021 годы была Тюменская область. В рассматриваемом периоде внешнеторговый оборот оказывал стимулирующее воздействие на хозяйство Челябинской области, Республики Башкортостан и Новосибирской области. При этом наиболее активная внешнеторговая деятельность с Республикой Казахстан наблюдалась у Алтайского края, Омской и Курганской областей. Устойчивое приграничное взаимодействие в сфере внешней торговли с Республикой Казахстан только у Курганской области.

Ключевые слова

Устойчивое приграничное взаимодействие, постцелинные регионы, степные субъекты Российской Федерации, внешняя торговля, экономическое сотрудничество.

Assessment of Prospects for Sustainable Cross-Border Cooperation of the Russian Post-Virgin Regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan

Alexander A. Chibilev (jr.)¹, Tatiana V. Lebedeva^{1,2}, Lilia M. Tuktamysheva^{1,2} and Ivan S. Sviridov¹

¹Institute of Steppe, Ural Branch Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

Principal contact

Alexander A. Chibilev Jr, Candidate of Economics, Head, Department of Socio-Economic Geography, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionreskaya St, Orenburg, Russia 460000.

Tel. +73532774432

Email economgeo-is@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>

How to cite this article

Chibilev A.A. (jr.), Lebedeva T.V., Tuktamysheva L.M., Sviridov I.S. Assessment of Prospects for Sustainable Cross-Border Cooperation of the Russian Post-Virgin Regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):154-168. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-16

Received 21 January 2024

Revised 11 June 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

Aim. Comprehensive assessment of the stability of cross-border cooperation between the Russian steppe regions of the Urals and Siberia and the Republic of Kazakhstan in the fields of foreign trade and migration. To achieve the goal, a model has been developed to assess the prospects for sustainable cross-border interaction of the Russian steppe regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan.

The research conducted using the methodology developed made it possible to identify the problems of cross-border interaction of Russian steppe regions with the Republic of Kazakhstan. Against the background of a decrease in general mobility of the population of the Russian steppe regions, the share of those who left for the Republic of Kazakhstan among the total number of those who left abroad had a positive trend during the period analysed in the vast majority of steppe regions of the Russian Federation. In five of the eight regions considered, the interaction is characterized as "stable" and "steady", "unstable" interaction in the field of migration only in the Altai Territory.

The Tyumen Region was the leader in terms of the share in the country's export-import operations among the steppe regions of the Russian Federation for 2015–2021. In the period under review, foreign trade turnover had a stimulating effect on the economy of the Chelyabinsk region, the Republic of Bashkortostan and the Novosibirsk region. At the same time, the most active foreign trade activity with the Republic of Kazakhstan was observed in the Altai Territory and Omsk and Kurgan regions. Stable cross-border cooperation in the field of foreign trade with the Republic of Kazakhstan is only in place in the Kurgan region.

Key Words

Sustainable cross-border cooperation, post-mountain regions, steppe regions of the Russian Federation, foreign trade, economic cooperation.

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями межгосударственного сотрудничества Российской Федерации и Республики Казахстан являются экономическая, военно-техническая, культурная и гуманитарная сферы. Страны активно сотрудничают в рамках нескольких межгосударственных объединений. После распада Советского Союза стратегическое партнёрство между государствами развивается в рамках главного документа – Договора о дружбе, сотрудничестве и взаимной помощи и множества договоров и соглашений, формирующих нормативно-правовую базу российско-казахстанских отношений.

На современном этапе развития двухстороннего взаимодействия его основу составляет торгово-экономическое сотрудничество. В этой связи большая роль отводится развитию межрегионального и приграничного сотрудничества субъектов Российской Федерации и областей Республики Казахстан. Одним из самых важных направлений российско-казахстанского сотрудничества является снижение барьерной функции границы для хозяйствующих субъектов, а также развитие гуманитарных контактов населения.

Решение экономических, социальных и экологических проблем трансграничного взаимодействия неразрывно связано с концепцией взаимовыгодного международного сотрудничества. Проблема пространственного развития приграничных степных регионов Урала и Сибири в последние десятилетия остаются важными для Российской Федерации, а в условиях современной геополитической обстановки их актуальность только возрастает.

В настоящее время существует множество работ, посвященных различным аспектам взаимодействия приграничных территорий Российской Федерации и Республики Казахстан. Ибраева А.Е. и Кожирова С.Б. рассмотрели теоретические и методические вопросы, касающиеся приграничного взаимодействия в условиях глобализации и регионализации [1]. Концептуальная модель организации сотрудничества приграничных с Казахстаном регионов РФ по трем направлениям: транспортное сообщение, совместные проекты и социальное обслуживание населения рассмотрена в статье Рой О.М. [2]. Коллективом авторов дана комплексная оценка развития сотрудничества приграничных территорий России и Казахстана с точки зрения интеграционных процессов и их барьеров [3]. Основные тенденции экономического развития приграничных регионов России и Казахстана в контексте их торгово-инвестиционного взаимодействия, а также рекомендации по усилению торгово-экономического взаимодействия приграничных регионов двух стран с учётом влияния новых масштабных антироссийских санкций рассмотрены Пылиным А.Г. [4].

Абанина И.Н. и Оглоблина Е.В. в результате исследования торгово-экономического сотрудничества приграничных регионов России и Казахстана выявили тенденции увеличения вклада соответствующих территорий в общий объем российского экспорта и растущую интенсивность торговых отношений приграничных российско-казахстанских регионов [5].

Анализ динамики основных экономических показателей, характеризующих трансграничные отношения между Российской Федерацией и Республикой Казахстан, позволил сделать Студентовой Е.А. вывод, что по ряду позиций товарной номенклатуры ВЭД именно Республика Казахстан является стратегическим партнером Российской Федерации [6]. Анализ влияния демографических и социокультурных тенденций на приграничное сотрудничество между российскими и казахстанскими регионами проведен Карпенко М.С. [7].

На примере Оренбургской области России, Амелин В.В. дал оценку сложившихся связей в области экономического, экологического, культурного, научно-образовательного сотрудничества регионов Российской Федерации и Республики Казахстан [8].

Вместе с тем, в научных исследованиях недостаточное внимание уделено комплексной оценке устойчивости приграничного сотрудничества в сфере внешней торговли и миграции.

Цель исследования – комплексная оценка устойчивости приграничного взаимодействия российских степных субъектов Урала и Сибири с Республикой Казахстан в сфере внешней торговли и миграции.

Для достижения цели исследования в работе решены следующие задачи:

- собраны и систематизированы данные для расчёта показателей устойчивости приграничного взаимодействия степных субъектов Российской Федерации и Республики Казахстан;
- создана база данных социально-экономических показателей, характеризующих современное состояние приграничного сотрудничества степных регионов Зауралья и юга Западной Сибири;
- разработана поэтапная схема анализа устойчивости приграничного взаимодействия степных субъектов Российской Федерации и Республики Казахстан;
- сформирована система показателей для оценки международного сотрудничества региона, сотрудничества с приграничной страной и степени устойчивости приграничного сотрудничества;
- проведена оценка степени устойчивости приграничного взаимодействия степных субъектов Российской Федерации с Республикой Казахстан за 2015–2021 гг. в сфере международной миграции и в сфере внешней торговли.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели исследования разработана модель оценки перспектив устойчивого приграничного взаимодействия российских степных регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан (рис. 1).

Согласно выделенным этапам, опираясь на статью Яковлевой Е.В., в которой рассмотрены показатели, характеризующие интенсивность внешней торговли [9], а также статью Межевич Н.М. и Жук Н.П. с апробацией методики оценки приграничной специализации приграничных регионов [10] разработана система показателей для оценки приграничного взаимодействия степных субъектов Российской Федерации и Республики Казахстан.



Рисунок 1. Поэтапная схема анализа устойчивости приграничного взаимодействия
Figure 1. A step-by-step scheme for analysing the stability of cross-border interaction

1. Общая оценка международного сотрудничества региона

Анализ интенсивности миграционных процессов в регионе проведен с использованием показателей:

А. Коэффициент миграционного прироста – характеризует миграционный прирост (убыль) населения:

$$K_{МП} = \frac{I - E}{\bar{S}} * 1000,$$

где $K_{МП}$ – коэффициент миграционного прироста, I – численность иммигрантов, E – численность эмигрантов, \bar{S} – средняя численность населения.

В. Коэффициент миграционного оборота – характеризует общий уровень подвижности населения на данной территории:

$$K_{МО} = \frac{I + E}{\bar{S}} * 1000,$$

где $K_{МО}$ – коэффициент миграционного оборота, I – численность иммигрантов, E – численность эмигрантов, \bar{S} – средняя численность населения.

Оценка влияния внешней торговли региона на его экономический рост проведена с использованием следующих показателей:

А. Торговая открытость – характеризует степень участия региона в экспортно-импортных операциях страны:

$$ТО = \frac{ВТО_{р}}{ВТО} * 100 \%,$$

где $ТО$ – торговая открытость региона, $ВТО_{р}$ – внешнеторговый оборот региона, $ВТО$ – внешнеторговый оборот страны.

В. Внешнеторговая квота региона – показывает, насколько внешнеэкономические связи региона стимулируют ее экономический рост:

$$ВТК_{р} = \frac{ВТО_{р}}{ВРП} * 100 \%,$$

где $ВТК_{р}$ – внешнеторговая квота региона, $ВТО_{р}$ – внешнеторговый оборот региона, $ВРП$ – валовой региональный продукт данного региона.

С. Коэффициент корреляции между временными рядами экспорта и ВРП – показывает, насколько сильна зависимость изменения показателей экспорта и ВРП:

$$r_{\Delta ВРП/\Delta Э} = \frac{\overline{\Delta ВРП \cdot \Delta Э} - \overline{\Delta ВРП} \cdot \overline{\Delta Э}}{\sqrt{(\overline{\Delta ВРП^2} - \overline{\Delta ВРП}^2)(\overline{\Delta Э^2} - \overline{\Delta Э}^2)}}$$

где $r_{\Delta ВРП/\Delta Э}$ – коэффициент корреляции между изменением ВРП и экспорта, $\Delta ВРП$ – прирост валового регионального продукта, $\Delta Э$ – прирост объема экспорта региона.

2. Частная оценка сотрудничества с приграничной страной (в данном исследовании – Казахстаном)

Показатели приграничной специализации в сфере международной миграции – характеризуют миграционную активность между приграничным регионом и сопредельной страной:

Коэффициент приграничной специализации миграционного прибытия

$$Mп = Pr/P * 100\%$$

где *Pr* – число прибывших в субъект из Республики Казахстан, *P* – общее число прибывших в субъект из-за рубежа.

Коэффициент приграничной специализации миграционного выбытия

$$Mв = Vr/V * 100\%$$

где *Vr* – число выбывших из субъекта в Республику Казахстан, *V* – общее число выбывших из субъекта за рубеж.

Коэффициент приграничной специализации миграционного обмена

$$Mo = Op/O * 100\%$$

где *Op* – объем миграционного обмена субъекта с Республикой Казахстан, *O* – общий объем миграционного обмена субъекта РФ.

Интегральная оценка приграничного взаимодействия в сфере международной миграции:

$$I_{ПВМ} = \frac{Mп + Mв + Mo}{3}$$

Показатели приграничной специализации в сфере внешней торговли – характеризуют внешнеторговую

активность между приграничным регионом и сопредельной страной:

Коэффициент приграничной специализации импорта

$$Ki = Ip/I * 100\%$$

где *Ip* – импорт субъекта с Казахстаном, млн долл. США; *I* – общий объем импорта субъекта.

Коэффициент приграничной специализации экспорта

$$Kэ = Ep/E * 100\%$$

где *Ep* – экспорт субъекта с Казахстаном, млн долл. США; *E* – общий объем экспорта субъекта.

Коэффициент приграничной специализации внешнеторгового оборота

$$K_{ВТ} = ВТр/ВТ * 100\%$$

где *ВТр* – внешнеторговый оборот субъекта с Республикой Казахстан, млн долл. США; *ВТ* – общий объем внешнеторгового оборота.

Интегральная оценка приграничного взаимодействия в сфере внешней торговли:

$$I_{ПВТ} = \frac{Ki + Kэ + K_{ВТ}}{3}$$

Оценка степени устойчивости приграничного сотрудничества проведена с использованием методики, предложенной Кремлевым Н.Д. [11].

Таблица 1. Оценка степени устойчивости приграничного сотрудничества на основе среднего темпа прироста коэффициентов специализации

Table 1. Assessment of the degree of stability of cross-border cooperation based on the average growth rate of specialisation coefficients

Средний темп прироста показателя, % Average growth rate of the indicator, %	Степень устойчивости приграничного сотрудничества The degree of stability of cross-border cooperation
≥+7,0	Устойчивое / Sustainable
[+2,0; +6,9]	Стабильное / Stable
[-1,9; +1,9]	Равновесное / Equilibrium
[-2; -6,9]	Нестабильное / Unstable
≤-7,0	Неустойчивое / Unsteady

В работе использованы общепринятые методы абсолютных, относительных и средних величин, анализа динамики, корреляционный анализ.

Информационную базу исследования составили официальные данные Федеральной службы государственной статистики и Федеральной таможенной службы России за 2015–2021 годы по рассматриваемым субъектам. В частности: сборники: «Всероссийская перепись населения 2020 года» [12], «Россия: Статистика внешней торговли» [13], «Россия и страны мира» [14], Единая межведомственная информационно-статистическая система [15].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на осложнение отношений с рядом стран, приграничное сотрудничество в экономической и гуманитарных сферах сохраняет свою актуальность для России в настоящее время.

Как видно на рисунке 2, в большинстве субъектов рассматриваемой территории в 2015–2021 годы наблюдалась миграционная убыль населения. Миграционный прирост на протяжении анализируемого периода был в Тюменской и Новосибирской областях, в 2015, 2016, 2019 и 2021 годах – в Челябинской области и в 2021 году в

Республике Башкортостан. Наиболее интенсивный миграционный прирост характерен для Новосибирской области – в среднем 3,7 промилле; миграционная убыль 5 промилле – для Курганской области.

При этом общий уровень подвижности населения во всех субъектах степной зоны России сокращался в среднем за год на 3–6 % (рис. 3). Наибольшие значения коэффициента миграционного оборота в анализируемый период наблюдались в Курганской и Тюменской, наименьшие – в Челябинской и Оренбургской областях.

Наибольшая доля выбывших в Республику Казахстан из степных субъектов Российской Федерации в 2015–2021 гг. наблюдалась в Алтайском крае и Новосибирской области. Коэффициент приграничной специализации миграционного прибытия в этих субъектах колебался от 9 до 13 % (рис. 4). При этом в Оренбургской области в среднем за год показатель возрастал на 24 %, в Республике Башкортостан и Курганской области на 7 %, в Тюменской области на 5 %, в Новосибирской области на 1 %. В Алтайском крае, Челябинской и Омской областях коэффициент приграничной специализации миграционного прибытия сокращался в среднем за год на 1–4 %.

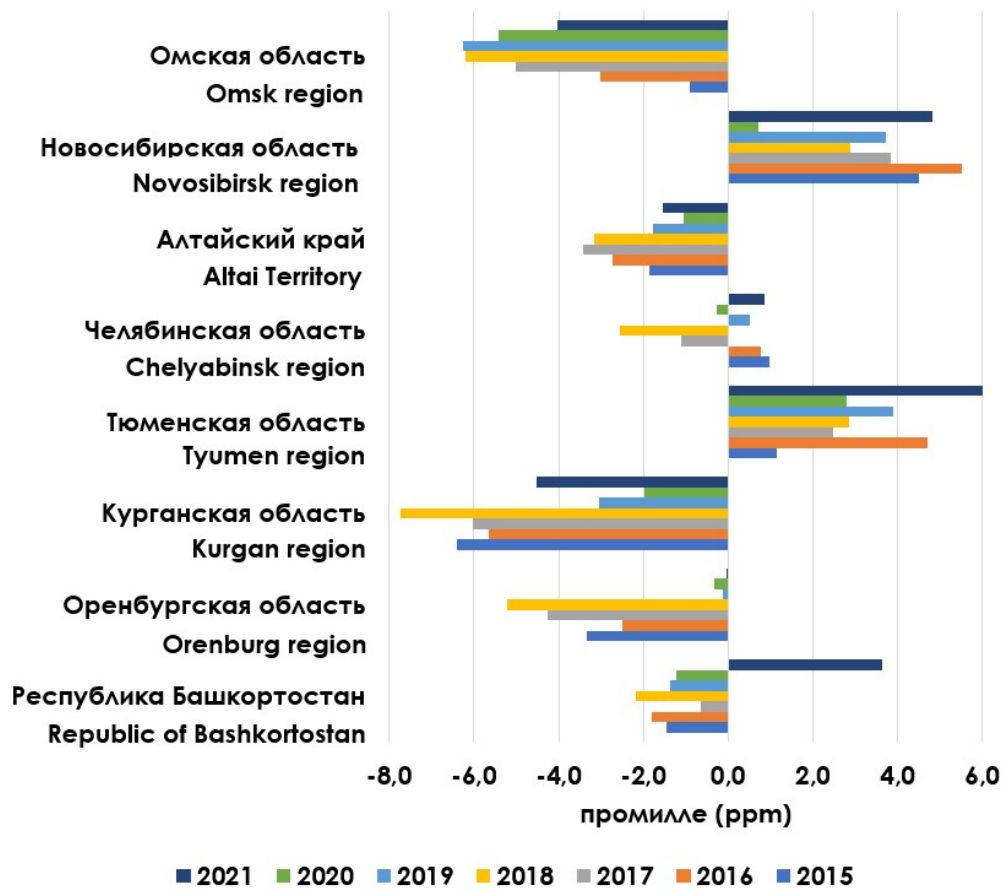


Рисунок 2. Динамика коэффициента миграционного прироста российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.
 Figure 2. Dynamics of the migration growth coefficient of the Russian regions of the Urals and Siberia for 2015–2021

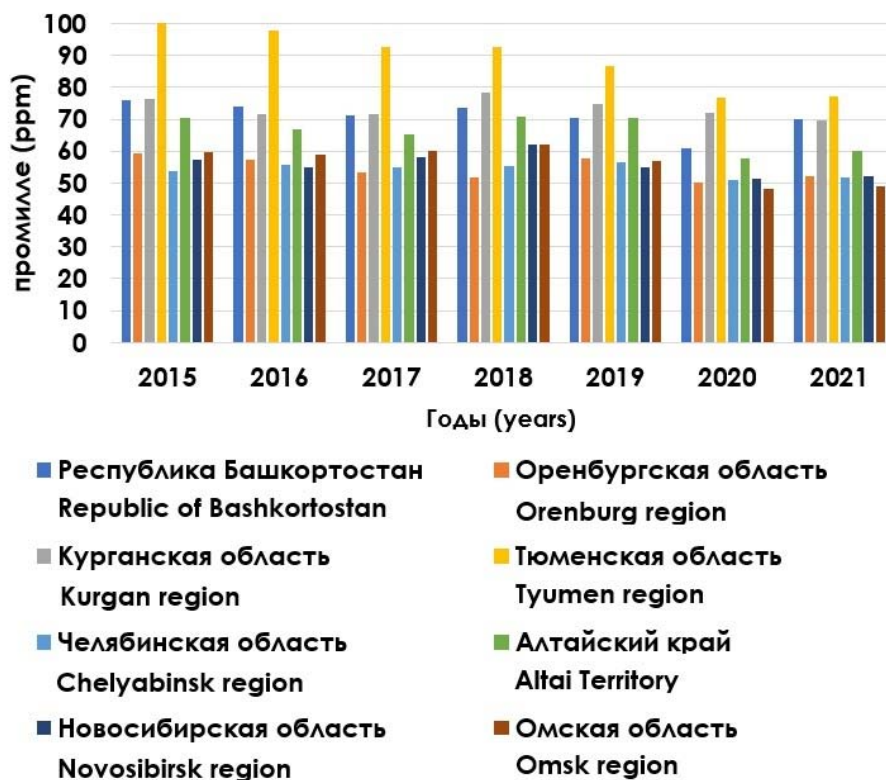


Рисунок 3. Динамика коэффициента миграционного оборота российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.
 Figure 3. Dynamics of the migration turnover coefficient of the Russian regions of the Urals and Siberia for 2015–2021

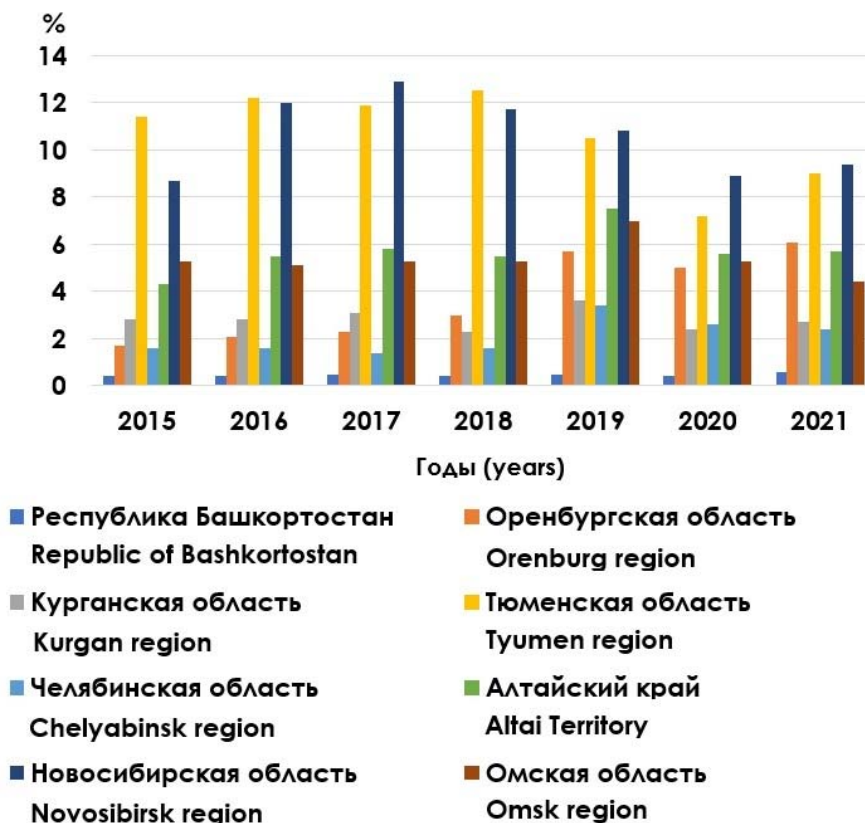


Рисунок 4. Динамика коэффициента приграничной специализации миграционного прибытия из Республики Казахстан на территории российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.

Figure 4. Dynamics of the coefficient of cross-border specialization of migration arrivals from the Republic of Kazakhstan in the Russian regions of the Urals and Siberia for 2015–2021

Доля выбывших в Республику Казахстан в общем числе выбывших за рубеж имела положительную динамику в анализируемом периоде в большинстве рассматриваемых субъектов, только в Курганской области среднегодовое снижение составило 3 %. Наибольший среднегодовой прирост коэффициента приграничной специализации миграционного выбытия (48 %) наблюдался в Новосибирской области (рис. 5). Лидерами по доли выбывших в Республику Казахстан, среди российских регионов Урала и Сибири были Новосибирская и Омская области, в среднем за анализируемый период значение показателя составило 6,3 % и 7 % соответственно.

В среднем за анализируемый период коэффициент приграничной специализации миграционного обмена с Республикой Казахстан регионов исследуемой территории варьировал от 0,4 % (Республика Башкортостан) до 9 % (Омская и Новосибирская области). При этом он возрастал в среднем за год на 5–21 % в Республике Башкортостан, Оренбургской, Тюменской, Челябинской и Новосибирской областях; снижался на 1–2 % в Курганской, Омской областях и Алтайском крае. Лидерами по миграционной активности с Республикой Казахстан были Новосибирская и Омская области (рис. 6).

Используя шкалу, приведенную в таблице 1, на основе показателей приграничной специализации и интегрального показателя проведена градация

российских регионов Урала и Сибири по степени устойчивости приграничного взаимодействия в сфере международной миграции (табл. 2). В пяти регионах из восьми рассматриваемых, взаимодействие характеризуется как «стабильное» и «устойчивое»: средние темпы прироста интегрального показателя варьируют от 3 % (Челябинская область) до 21 % (Оренбургская область). «Нестабильное» взаимодействие в сфере миграции только в Алтайском крае – средний темп снижения составил минус 2,8 %.

Как видно по данным таблицы 2, для Оренбургской области все показатели, характеризующие приграничное взаимодействие – «устойчивы». Одним из факторов, обусловивших это, является то, что по данным переписи населения 2020 года доля населения, указавших в качестве национальной принадлежности «Казахи», в Оренбургской области составляла 5,8 % (рис. 7).

Лидером по доле в экспортно-импортных операциях страны, среди исследуемых субъектов в 2015–2021 годы была Тюменская область: показатель торговой открытости для данного региона колебался от 3,1 до 4,7 %, на втором месте Челябинская область с торговой открытостью 1,1–1,4 %, на третьем месте Республика Башкортостан со значением показателя 0,6–1,6 %. В прочих субъектах степной зоны данный показатель не превышал 1 % (рис. 8).

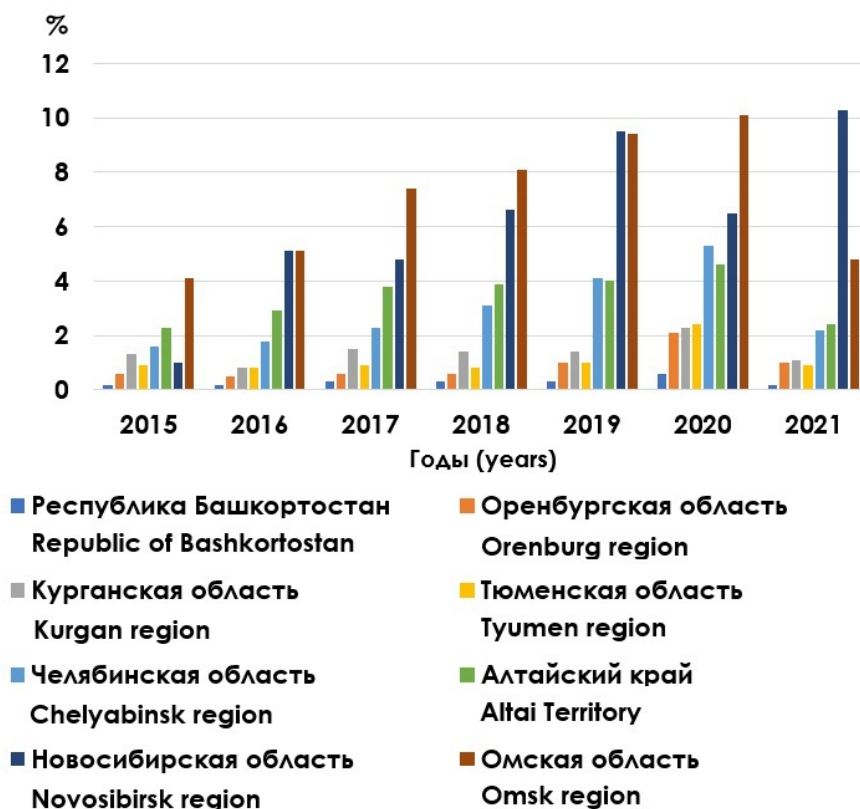


Рисунок 5. Динамика коэффициента приграничной специализации миграционного выбытия в Республику Казахстан из российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.
Figure 5. Dynamics of the coefficient of cross-border specialization of migration outflow to the Republic of Kazakhstan from the Russian regions of the Urals and Siberia for 2015–2021

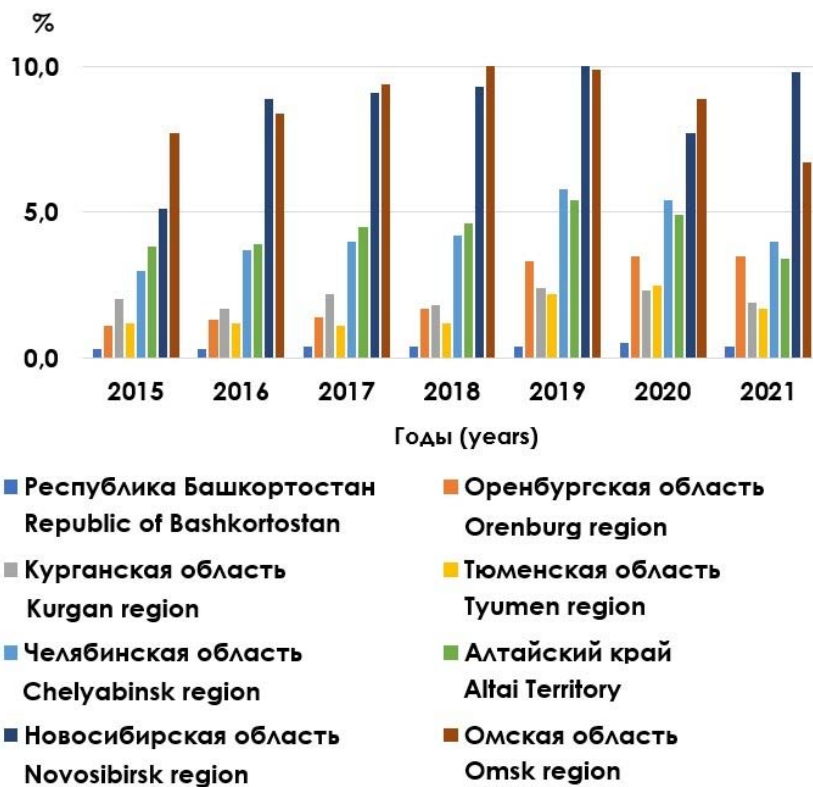


Рисунок 6. Динамика коэффициента приграничной специализации миграционного обмена с Республикой Казахстан степных субъектов Российской Федерации за 2015–2021 гг.
Figure 6. Dynamics of the coefficient of cross-border specialization of migration exchange of steppe regions of the Russian Federation with the Republic of Kazakhstan for 2015–2021

Таблица 2. Матрица оценки степени устойчивости приграничного взаимодействия российских регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан за 2015–2021 гг. в сфере международной миграции
Table 2. Matrix of assessment of the degree of stability of cross-border interaction of the Russian regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan for 2015–2021 in the field of international migration

Субъект РФ RF subject	Мп	Мв	Мо	ИПЕМ
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	устойчивое sustainable	равновесное equilibrium	стабильное stable	стабильное stable
Оренбургская область Orenburg region	устойчивое sustainable	устойчивое sustainable	устойчивое sustainable	устойчивое sustainable
Курганская область Kurgan region	устойчивое sustainable	нестабильное unstable	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium
Тюменская область Tyumen region	стабильное stable	равновесное equilibrium	стабильное stable	стабильное stable
Челябинская область Chelyabinsk region	равновесное equilibrium	стабильное stable	стабильное stable	стабильное stable
Алтайский край Altay Territory	нестабильное unstable	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium	нестабильное unstable
Новосибирская область Novosibirsk region	равновесное equilibrium	устойчивое sustainable	устойчивое sustainable	устойчивое sustainable
Омская область Omsk region	нестабильное unstable	стабильное stable	нестабильное unstable	равновесное equilibrium



Рисунок 7. Доля населения, указавших в качестве национальной принадлежности «Казахи», по данным переписи 2020 года

Figure 7. The proportion of the population who indicated "Kazakhs" as their nationality according to the 2020 census

В исследованиях отечественных ученых указывается, что внешнеэкономические связи региона стимулируют его экономический рост, если показатель «внешнеторговая квота региона» превышает 25 %. Как видно на рисунке 9, на протяжении всего анализируемого периода внешнеторговый оборот оказывал стимулирующее воздействие на хозяйство

только в Челябинской области, в 2015–2016 гг. в Республике Башкортостан и 2018–2021 гг. в Новосибирской области.

Статистически значимая прямая связь выявлена между изменением экспорта и ВРП в трех субъектах степной зоны России: Оренбургской, Тюменской и Челябинской областях (табл. 3).

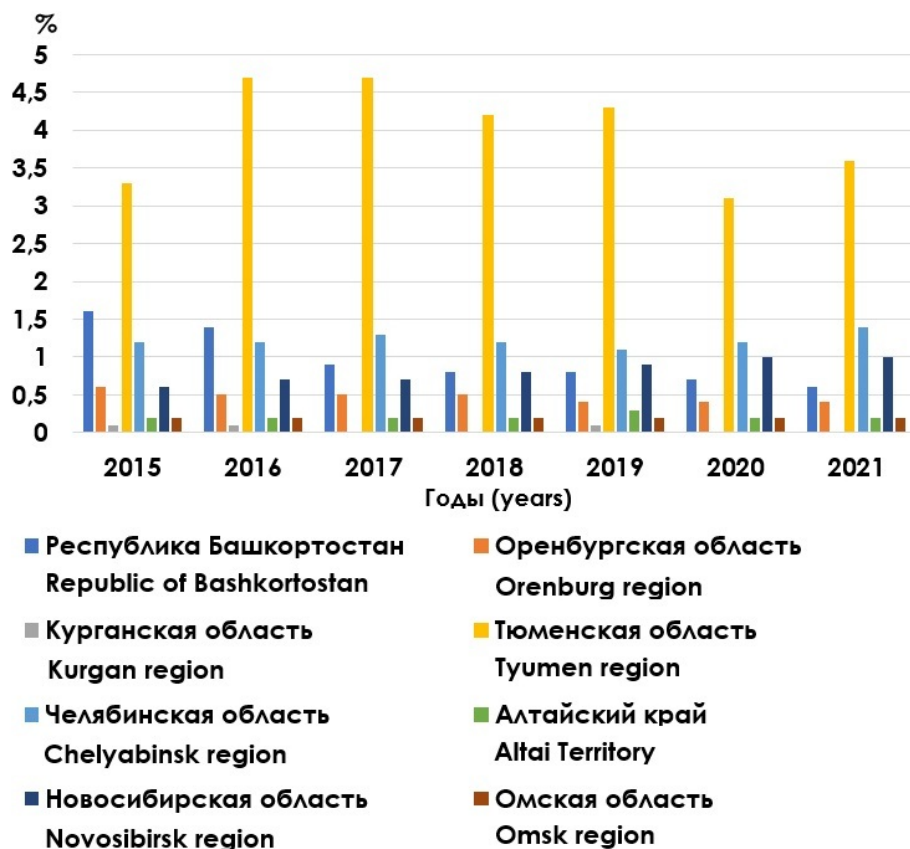


Рисунок 8. Динамика коэффициента торговой открытости российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.
 Figure 8. Dynamics of the coefficient of trade openness of the Russian regions of Urals and Siberia for 2015–2021

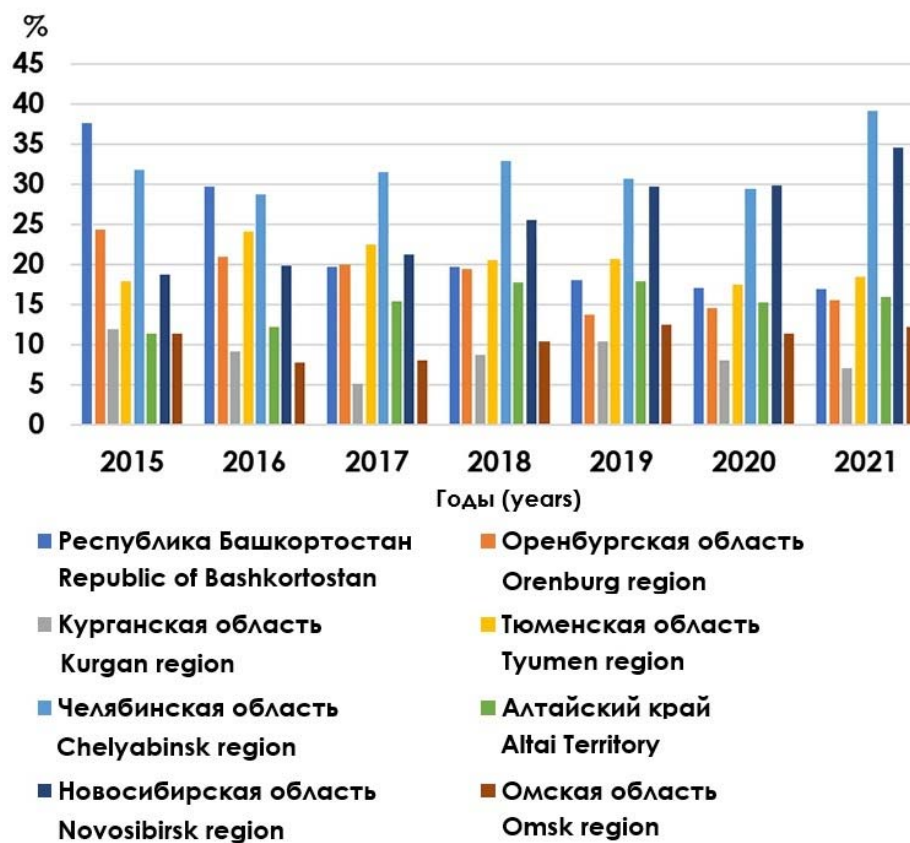


Рисунок 9. Динамика коэффициента внешнеторговой квоты российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.
 Figure 9. Dynamics of the coefficient of foreign trade quotas of the Russian regions of the Urals and Siberia for 2015–2021

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между экспортом и ВРП российских регионов Урала и Сибири за 2015–2021 гг.

Table 3. Correlation coefficients between exports and GRP of the Russian regions of Ural and Siberia for 2015–2021

Субъект РФ RF region	Коэффициент парной корреляции Pair correlation coefficient	Наблюдаемое значение t-критерия Стьюдента Observed value of student t-tests
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	0,63	1,6
Оренбургская область Orenburg region	0,84	3,1
Курганская область Kurgan region	0,20	0,4
Тюменская область Tyumen region	0,95	6,3
Челябинская область Chelyabinsk region	0,97	7,8
Алтайский край / Altay Territory	0,35	0,8
Новосибирская область Novosibirsk region	0,72	2,1
Омская область / Omsk region	0,52	1,2

Справочно: $t_{крит}$ / For reference: $t_{crit}(0,05;4) = 2,8$

В структуре экспорта по странам для российских регионов Урала и Сибири Казахстан на первом месте, по данным за 2015–2021 годы, у пяти субъектов. Для Республики Башкортостан на 1 месте – Латвия, для Тюменской области – Нидерланды, для Новосибирской области – Китай. При этом наибольшая доля экспорта в Казахстан наблюдалась у Алтайского края: коэффициент приграничной специализации экспорта колебался от

28 до 39 %, на втором месте Омская область с показателем 20–32 %, на третьем месте – Курганская область с показателем 14–40 % (рис. 10). В Оренбургской, Тюменской и Челябинской областях коэффициент приграничной специализации экспорта сокращался в среднем за год на 12 %, 11 % и 1 % соответственно. В прочих субъектах степной зоны России показатель возрастал в среднем за год на 0,2–3,6 %.

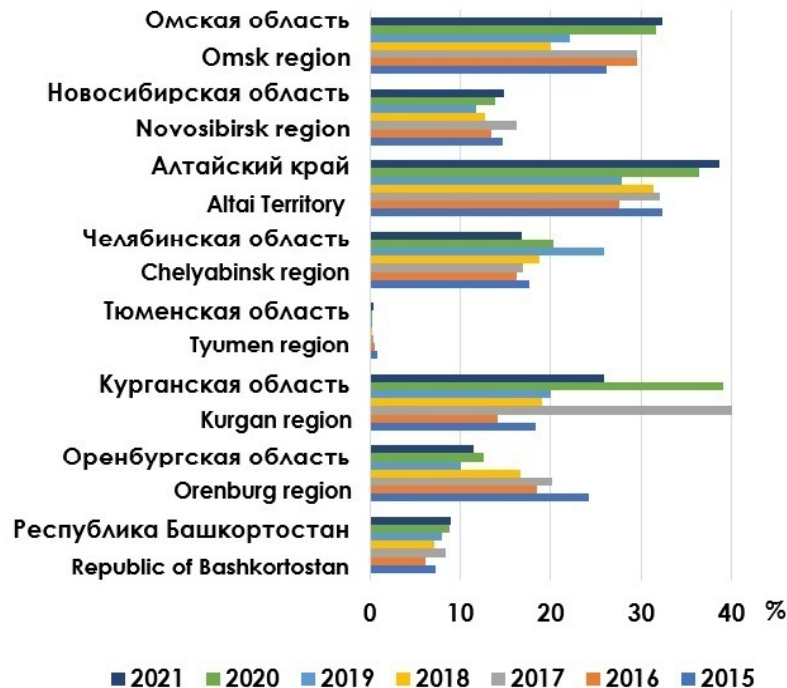


Рисунок 10. Динамика коэффициента приграничной специализации экспорта российских регионов Урала и Сибири из Республики Казахстан за 2015–2021 гг.

Figure 10. Dynamics of the coefficient of cross-border specialisation of exports of the Russian regions of the Urals and Siberia from the Republic of Kazakhstan for 2015–2021

В структуре импорта по странам, на первом месте Казахстан у 4 субъектов; для Республики Башкортостан, Курганской и Новосибирской областей на 1 месте – Китай, для Тюменской области – Германия. Как видно на рисунке 11, лидерами по доле импорта из

Казахстана являются Челябинская область – коэффициент приграничной специализации импорта колебался от 31 % до 47 %, Оренбургская область с показателем от 9 до 58 % и Омская область с показателем от 19 до 43 %. Среднегодовое снижение коэффициента приграничной

специализации импорта в 2015–2021 гг. от 0,2 % до 14 % наблюдалось в Алтайском крае, Оренбургской, Челябинской и Омской областях, Республике

Башкортостан. В остальных регионах показатель возрастал в среднем за год на 4–14 % (рис. 11).

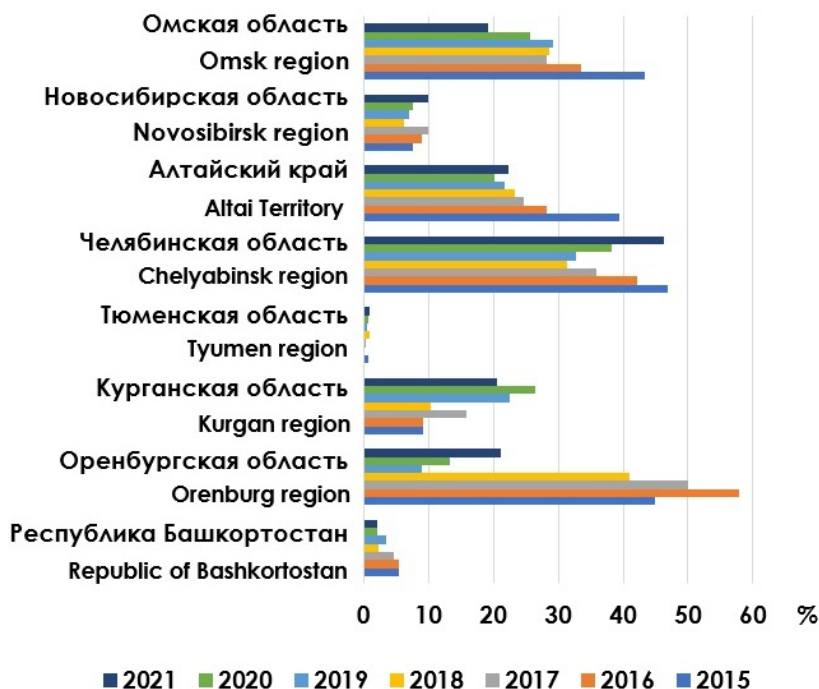


Рисунок 11. Динамика коэффициента приграничной специализации импорта российских регионов Урала и Сибири в Республику Казахстан за 2015–2021 гг.

Figure 11. Dynamics of the coefficient of cross-border specialisation of imports from the Russian regions of the Urals and Siberia to the Republic of Kazakhstan for 2015–2021

Наиболее активная внешнеторговая деятельность с Республикой Казахстан в 2015–2021 гг. наблюдалась у Алтайского края, Омской и Курганской областей; наименьшая – с Тюменской областью (рис. 12).

лена оценка степени устойчивости приграничного взаимодействия российских регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан (табл. 4). Как видно по матрице, устойчивое приграничное взаимодействие в сфере внешней торговли с Республикой Казахстан только у Курганской области.

По средним темпам прироста за 2015–2021 гг. коэффициентов приграничной специализации состав-

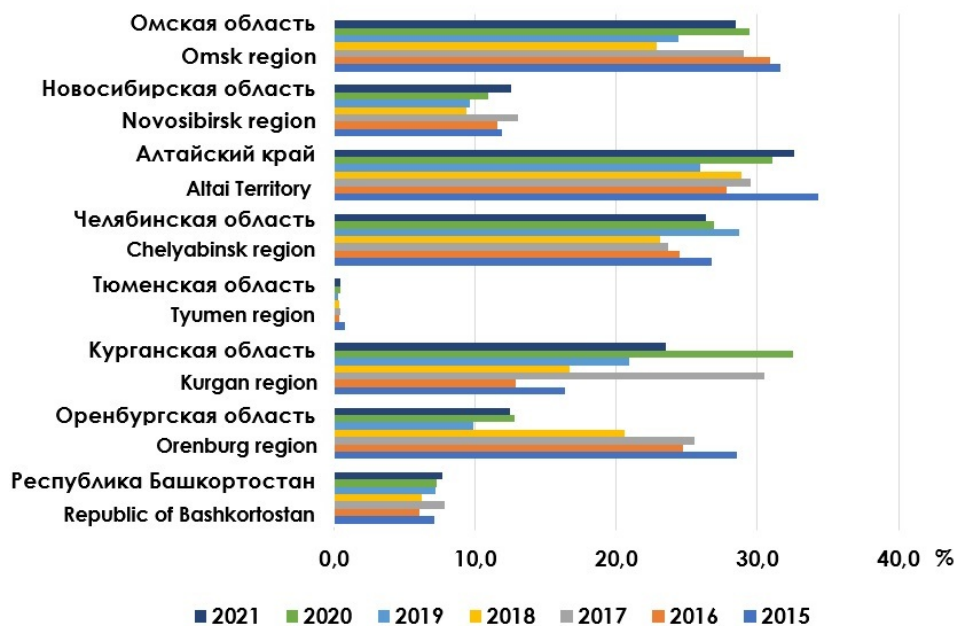


Рисунок 12. Динамика коэффициента приграничной специализации внешнеторгового оборота российских регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан за 2015–2021 гг.

Figure 12. Dynamics of the coefficient of cross-border specialization of foreign trade turnover of the Russian regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan for 2015–2021

Таблица 4. Матрица оценки степени устойчивости приграничного взаимодействия российских регионов Урала и Сибири с Республикой Казахстан за 2015–2021 гг. в сфере внешней торговли**Table 4.** Matrix for assessing the degree of stability of cross-border interaction between the Russian regions of the Urals and Siberia with the Republic of Kazakhstan for 2015–2021 in the field of foreign trade

Субъект РФ RF subject	Кэ	Ки	Квт	ИПВТ
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	стабильное stable	неустойчивое unsteady	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium
Оренбургская область Orenburg region	неустойчивое unsteady	неустойчивое unsteady	неустойчивое unsteady	неустойчивое unsteady
Курганская область Kurgan region	стабильное stable	устойчивое sustainable	стабильное stable	устойчивое sustainable
Тюменская область Tyumen region	неустойчивое unsteady	стабильное stable	неустойчивое unsteady	нестабильное unstable
Челябинская область Chelyabinsk region	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium
Алтайский край Altay Territory	стабильное stable	неустойчивое unsteady	равновесное equilibrium	нестабильное unstable
Новосибирская область Novosibirsk region	равновесное equilibrium	стабильное stable	равновесное equilibrium	равновесное equilibrium
Омская область Omsk region	стабильное stable	неустойчивое unsteady	равновесное equilibrium	нестабильное unstable

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование с использованием разработанной методики позволило выявить проблемы приграничного взаимодействия степных регионов с Республикой Казахстан.

На фоне снижения общей подвижности населения степных регионов России, доля выбывших в Республику Казахстан в общем числе выбывших за рубеж имела положительную динамику в анализируемом периоде в подавляющем большинстве степных субъектов Российской Федерации. В пяти регионах из восьми рассматриваемых, взаимодействие характеризуется как «стабильное» и «устойчивое», «нестабильное» взаимодействие в сфере миграции только в Алтайском крае.

Лидером по доле в экспортно-импортных операциях страны, среди степных субъектов Российской Федерации в 2015–2021 годы была Тюменская область. В рассматриваемом периоде внешнеторговый оборот оказывал стимулирующее воздействие на хозяйство Челябинской области, Республики Башкортостан и Новосибирской области. При этом наиболее активная внешнеторговая деятельность с Республикой Казахстан наблюдалась у Алтайского края, Омской и Курганской областей. Устойчивое приграничное взаимодействие в сфере внешней торговли с Республикой Казахстан только у Курганской области.

Стоит отметить, что в настоящее время региональные органы государственной власти и муниципальные образования предпринимают усилия по активизации решения вопросов развития межрегионального и приграничного сотрудничества. Оценка отношений российских и казахстанских регионов Урала и Сибири позволяет говорить, что они сегодня сконцентрированы на ряде направлений, из которых ключевым является экономическое сотрудничество. Вместе с тем, приоритетными направлениями сотрудничества рассматриваемых регионов является сотрудничество в социально-гуманитарной сфере.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 20-17-00069 «Географические основы пространственного развития земледельческих постцелинных регионов Урала и Сибири».

ACKNOWLEDGMENT

The study was conducted with the financial support of RSF grant 20-17-00069, Geographical Basis of Spatial Development in Virgin Agricultural Land Regions within Ural and Siberia.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ибраева А.Е., Кожирова С.Б. Ресей мен Қазақстанның шекаралық ынтымақтастығын зерттеудегі тұжырымдамалық тәсілдер // Вестник Евразийского национального университета им. Гумилева Л.Н. Серия: Политические науки. Регионоведение. Востоковедение. Тюркология. 2021. N 4(137). С. 77–84. <https://doi.org/10.32523/2616-6887/2021-137-4-77-84>
- Roy O.M. The Role of Russian Border Regions in the Cross-Border Cooperation between Russia and Kazakhstan // R-Economy. 2022. V. 8. N 4. P. 369–383. <https://doi.org/10.15826/recon.2022.8.4.028>
- Тапалова А.А., Раимбеков Ж.С., Жунусова А.А., Сатканова Р.Г. Проблемы и перспективы приграничного сотрудничества России и Казахстана // Экономика: стратегия и практика. 2021. Т. 16. N 4. С. 90–101. <https://doi.org/10.51176/1997-9967-2021-4-90-101>
- Пылин А.Г. Потенциал приграничного сотрудничества России и Казахстана как фактор развития экономики регионов в современных условиях // Геоэкономика энергетики. 2022. Т. 18. N 2. С. 137–156. https://doi.org/10.48137/26870703_2022_18_2_137
- Абанина И.Н., Оглоблина Е.В. Развитие торгово-экономического сотрудничества приграничных регионов России и Казахстана // Теория и практика общественного развития. 2021. N 12(166). С. 78–90. <https://doi.org/10.24158/tipor.2021.12.10>
- Студентова Е.А. Современное состояние и тенденции развития взаимоотношений приграничных территорий России с Казахстаном // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права,

управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2021. Т. 1. N 4. С. 466–475. <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2021-1-4-466>

7. Карпенко М.С., Себенцов А.Б. Демографические и социокультурные вызовы приграничному сотрудничеству на российско-казахстанской границе // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67. N 3. С. 454–474. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.304>

8. Амелин В.В. Приграничный регион в контексте евразийского сотрудничества (пример Оренбуржья) // Вестник РГГУ. Серия: Евразийские исследования. История. Политология. Международные отношения. 2023. N 3. С. 130–140. <https://doi.org/10.28995/2686-7648-2023-3-130-140>

9. Яковлева Е.В. Методика анализа внешнеторговых связей региона // Вестник науки и образования. 2020. N 19–1(97). С. 58–62.

10. Межевич Н.М., Жук Н.П. Методика оценки приграничной специализации межрегиональных взаимодействий приграничных регионов и результаты пилотной оценки // Балтийский регион. 2013. N 1(15). С. 38–52.

11. Кремлев Н.Д. Оценка устойчивости развития приграничного региона в условиях формирования рыночных отношений // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2022. Т. 2. N 1. С. 32–43. <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2022-2-1-32>

12. Сборник «Всероссийская перепись населения 2020 года». URL: https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom1_Chislennost_i_razmeshchenie_naseleniya (дата обращения: 04.08.2023)

13. Официальная статистика «Россия: Статистика внешней торговли». URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya (дата обращения: 09.08.2023)

14. Сборник «Россия и страны мира». URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Strani_mira_2022.pdf (дата обращения: 11.08.2023)

15. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 02.08.2023)

REFERENCES

1. Ibraeva A.E., Kozhirova S.B. Conceptual approaches to the study of cross-border cooperation between Russia and Kazakhstan. *Bulletin of the Gumilyov L.N. Eurasian National University. Series: Political Sciences. Regional studies. Oriental studies. Turkology*, 2021, no. 4(137), pp. 77–84. (In Kazakhstan) <https://doi.org/10.32523/2616-6887/2021-137-4-77-841>

2. Roy O.M. The Role of Russian Border Regions in the Cross-Border Cooperation between Russia and Kazakhstan. *R-Economy*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 369–383. <https://doi.org/10.15826/recon.2022.8.4.028>

3. Tapalova A.A., Raimbekov Zh.S., Zhunusova A.A., Satkanova R.G. Problems and prospects of cross-border cooperation between Russia and Kazakhstan. *Economics: Strategy and Practice*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 90–101. (In Russian) <https://doi.org/10.51176/1997-9967-2021-4-90-101>

4. Pylin A.G. The potential of cross-border cooperation between Russia and Kazakhstan as a factor of regional economic

development in modern conditions. *Geoeconomics of energy*, 2022, vol. 18, no. 2, pp. 137–156. (In Russian) https://doi.org/10.48137/26870703_2022_18_2_137

5. Abanina I.N., Ogloblina E.V. Development of trade and economic cooperation of the border regions of Russia and Kazakhstan. *Theory and practice of social development*, 2021, no. 12(166), pp. 78–90. (In Russian) <https://doi.org/10.24158/tipor.2021.12.10>

6. Studentova E.A. The current state and trends in the development of relations between the border territories of Russia and Kazakhstan. *Corporate governance and innovative development of the economy of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment Syktvykar State University*, 2021, vol. 1, no. 4, pp. 466–475. (In Russian) <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2021-1-4-466>

7. Karpenko M.S., Sebensov A.B. Demographic and socio-cultural challenges to cross-border cooperation on the Russian-Kazakh border. *Bulletin of St. Petersburg University. Earth sciences*, 2022, vol. 67, no. 3, pp. 454–474. (In Russian) <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.304>

8. Amelin V.V. Border region in the context of Eurasian cooperation (example of Orenburg region). *Bulletin of the Russian State University. Series: Eurasian Studies. History. Political science. International relations*, 2023, no. 3, pp. 130–140. (In Russian) <https://doi.org/10.28995/2686-7648-2023-3-130-140>

9. Yakovleva E.V. Methodology of analysis of foreign trade relations of the region. *Vestnik nauki i obrazovaniya* [Bulletin of Science and Education]. 2020, no. 19–1(97), pp. 58–62. (In Russian)

10. Mezhevich N.M., Zhuk N.P. Methodology for assessing the cross-border specialization of interregional interactions of border regions and the results of a pilot assessment. *Baltiiskii region* [Baltic Region]. 2013, no. 1(15), pp. 38–52. (In Russian)

11. Kremlev N.D. Assessment of the sustainability of the development of the border region in the conditions of the formation of market relations. *Corporate governance and innovative development of the economy of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment Syktvykar State University*, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 32–43. (In Russian) <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2022-2-1-32>

12. *Sbornik «Vserossiiskaya perepis' naseleniya 2020 goda»* [Collection "All-Russian Population Census 2020"]. Available at: https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom1_Chislennost_i_razmeshchenie_naseleniya (accessed 04.08.2023)

13. *Ofitsial'naya statistika «Rossiya: Statistika vneshnei torgovli»* [Official statistics "Russia: Statistics of foreign trade"]. Available at: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya (accessed 09.08.2023)

14. *Sbornik «Rossiya i strany mira»* [Collection "Russia and the countries of the world"]. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Strani_mira_2022.pdf (accessed 08/11/2023)

15. *Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema* [Unified Interdepartmental information and statistical system]. Available at: <https://www.fedstat.ru/> (accessed 02.08.2023)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр А. Чибилёв (мл.) сформулировал идею, написал текст статьи, проанализировал и интерпретировал результаты исследования, отредактировал текст. Татьяна В. Лебедева подготовила обзор литературных источников, разработала методику

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander A. Chibilev (Jr) formulated the idea, wrote the text of the article, analysed and interpreted research results and undertook scientific text editing. Tatiana V. Lebedeva prepared a review of literary sources, developed research methodology, wrote the text of the article and analysed and

исследования, написала текст статьи, проанализировала и интерпретировала результаты исследования. Лилия М. Туктамышева собрала и обобщила базу данных, подготовила табличный материал. Иван С. Свиридов собрал и обобщил базу данных, подготовил графический материал. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

interpreted research results. Lilia M. Tuktamysheva undertook the collection and generalisation of the database and preparation of tabular material. Ivan S. Sviridov undertook the collection and generalisation of the database and the preparation of graphic material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр А. Чибилёв (мл.) / Alexander A. Chibilev (jr.) <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>

Татьяна В. Лебедева / Tatiana V. Lebedeva <https://orcid.org/0000-0001-9295-5784>

Лилия М. Туктамышева / Lilia M. Tuktamysheva <https://orcid.org/0000-0002-0633-6766>

Иван С. Свиридов / Ivan S. Sviridov <https://orcid.org/0009-0002-7618-7265>

Оригинальная статья / Original article

УДК 911.5.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-17



Сезонные состояния и динамика углерода на ключевых участках Карбонового полигона в Чеченской Республике

Алексей Н. Гуня^{1,3}, Умар Т. Гайрабеков^{2,3}, Любовь Ш. Махмудова³, Зульфира Ш. Гагаева^{2,3}¹Институт географии РАН, Москва, Россия²Академия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия³Грозненский 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.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-6358-0477>

Формат цитирования

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. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-17

Получена 12 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 24 мая 2024 г.

Принята 25 июня 2024 г.

Резюме

Цель – проанализировать связь динамики углерода и смены состояний природно-территориальных комплексов двух ключевых участков карбонового полигона в Чеченской Республике с позиций ландшафтного и ландшафтно-геофизического подхода. Работы проводились на двух участках карбонового полигона Чеченской Республики: в Черноречье (Чеченская равнина под водоохранными широколиственными лесами, 169 м н. у. м.) и Рошни-Чу (широколиственно-лесные низкогорья, около 450 м н.у.м.).

Методы исследования: ландшафтно-геофизическое описание геомасс, геогоризонтов и вертикальных структур на ключевых участках, детальные микроклиматические исследования с помощью установленных логгеров – датчиков температуры и влажности, наблюдения за состоянием растительного покрова, динамикой биомассы, определение фракций мортмассы на поверхности почвы, а также гумуса и основных питательных веществ.

Связь динамики углерода и смены состояний ПТК исследуемых участков выражается в изменении ландшафтно-геофизических параметров: соотношения геомасс, геогоризонтов и вертикальных структур. Выделены семь сезонных состояний ПТК, отличающихся по динамике углерода. Два из них являются ключевыми к пониманию долгосрочного баланса углерода. Эти состояния обусловлены динамикой накопления и разложения мортмассы. Выделены пути изменения интенсивности депонирования углерода на основе создания новых фитоценозов, улучшения почвенного плодородия, в том числе за счет оптимизации соотношения углерода и азота. Более радикальный путь – утилизации мортмассы – нуждается в детальных исследованиях и учета экологических последствий.

Ключевые слова

Состояние ПТК, вертикальная структура, баланс углерода, геомасса, геогоризонт, фитомасса, мортмасса.

Seasonal states and carbon dynamics in key areas of the carbon polygon in the Chechen Republic, Russia

Alexey N. Gunya^{1,3}, Umar T. Gayrabekov^{2,3}, Lyubov Sh. Makhmudova³ and Zulfira Sh. Gagaeva^{2,3}

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia

³Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

Principal contact

Umar T. Gairabekov, Doctor of GeographyS, Associate Professor, Institute of Natural Resources, Academy of Sciences of the 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., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh., Gagaeva Z.Sh. Seasonal states and carbon dynamics in key areas of the carbon polygon in the Chechen Republic, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):169-179. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-17

Received 12 March 2024

Revised 24 May 2024

Accepted 25 June 2024

Abstract

The aim of the work was to analyze the relationship between carbon dynamics and changes in the states of natural territorial complexes in two key areas of the carbon polygon in the Chechen Republic from the standpoint of landscape and landscape-geophysical approaches. The work was carried out at two sites of the carbon polygon in the Chechen Republic: in Chernorechye (the Chechen plain under water-protective broad-leaved forests, about 169 m above sea level) and Roshni-Chu (low-mountain broad-leaved forests, about 450 m above sea level).

Methods: landscape-geophysical description of geomasses, geohorizons and vertical structures in key areas, detailed microclimatic studies using installed loggers with temperature and humidity sensors, observations of the state of the vegetation cover, biomass dynamics, determination of mortmass fractions on the soil surface, as well as humus and basic nutrients.

The relationship between carbon dynamics and changes in seasonal states of natural-territorial complexes is expressed in changes in landscape-geophysical parameters: the ratio of geomasses, geohorizons and vertical structures. Seven seasonal states of natural-territorial complexes with different carbon dynamics have been identified. Two of them are key to understanding the long-term carbon balance. These states are determined by the dynamics of accumulation and decomposition of mortmass. The ways of changing the intensity of carbon deposition based on the creation of new phytocenoses, increasing soil fertility, including by optimising the carbon and nitrogen ratio have been identified. A more radical way – mortmass utilisation – requires detailed research and consideration of environmental consequences.

Key Words

State of natural-territorial complexes, vertical structure, carbon dynamics, geomass, geohorizon, phytomass, mortmass.

ВВЕДЕНИЕ

Динамика углерода имеет континуально-дискретный характер, что связано как с изменениями природных компонентов и процессов, так и со сменой состояний природных систем в целом (экосистем, ландшафтов). Прерывистый характер изменений природных систем (природно-территориальных комплексов – ПТК) был убедительно продемонстрирован в трудах Н.Л. Беручашили [1]. Центральное понятие в подходах этого автора – состояние ПТК, понимаемое как соотношение структуры и функционирования в определенный промежуток времени, когда потоки вещества и энергии на входе трансформируются в определенные функции на выходе. В нашем контексте имеет смысл говорить о своеобразных карбоновых состояниях, под которыми следует понимать, прежде всего, такие соотношения структуры и функционирования конкретного ПТК, которые отражаются в балансе углерода: накоплении углерода, его эмиссия, либо сохранение относительно нейтрального баланса. В настоящее время вопросами динамики углерода занимаются ряд научных школ, использующих детальные наблюдения на стационарах и полигонах с помощью дорогостоящих приборов [2–5]. Особое значение имеют наблюдения в лесах [6]. При этом многие авторы обращают внимание на слабо изученную роль отдельных фракций лесной растительности, в частности, отпада или валежника в динамике углерода [7; 8].

Гораздо меньше исследований, которые ориентированы на качественную оценку динамики углерода, базирующуюся на выявленных закономерностях биофункционирования в рамках ландшафтной концепции [9–12]. Такого рода исследования имеют ряд положительных и отрицательных сторон. К отрицательным следует отнести преимущественно качественную оценку динамики углерода, без точных цифр, которые могли бы составить доказательную базу тех или иных утверждений. К положительным следует отнести применимость методики в полевых условиях, на маршрутах, а также в условиях резко пересеченной местности, например, в горах, где природное разнообразие затрудняет проведение стационарных исследований. В условиях большого ландшафтного разнообразия и сложности ландшафтной структуры распространение закономерностей, полученных на локальных участках по измерению динамики углерода (например, в лесах, [13–15]), требует особых алгоритмов, допущений, усреднений, которые в конечном счете снижают ценность точечных расчетов. Особое при этом занимают горные территории с их сложностью ландшафтной структуры и раздробленностью природных условий [16–19].

Цель работы – проанализировать связь динамики углерода и смены состояний ПТК двух ключевых участков карбонового полигона в Чеченской Республике с позиций ландшафтного и ландшафтно-геофизического подхода.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на двух участках карбонового полигона Чеченской Республики: в Черноречье (Чеченская равнина под водоохранными широколиственными лесами, 169 м над ур. м.) и Рошни-Чу (широколиственно-лесные низкогорья, около 450 м над ур. м.). Основными методами исследования стали:

ландшафтно-геофизическое описание геомасс, геогоризонтов и вертикальных структур на ключевых участках, детальные микроклиматические исследования с помощью установленных логгеров – датчиков температуры и влажности, наблюдения за состоянием растительного покрова, динамикой биомассы, определение фракций мортмассы на поверхности почвы, а также гумуса и основных питательных веществ. Наблюдения за состоянием растительного покрова осуществлялись по методике Н.Л. Беручашили [1].

Исследования проводились в течение вегетационного периода с апреля по октябрь 2023 г., отбирались пробы растительности, почв, которые затем в лабораторных условиях взвешивались в сыром и сухом виде. Для выделения состояний ПТК поэтапно анализировались: 1) ход метеоклиматических элементов – внутрисуточный ход температуры воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м, осадков и влажности; 2) набор и сочетание основных геомасс и геогоризонтов, составляющих вертикальные структуры; 3) основные тенденции в изменениях вертикальной структуры, отражающие переходы из одних состояний в другие. В результате были получены графики метеоэлементов, сопряженные с динамикой основных состояний ключевых ПТК, а также данные по количеству фито- и мортмасс, химическому составу почв. На этой основе были проанализированы связи между динамикой запасов углерода в растительности, мортмассе и почвах и ходом метеоклиматических параметров по сезонам.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические сезоны года

Предварительный анализ графиков температуры и осадков за 2023 г. позволил выделить 7 подсезонных состояний за вегетационный период с апреля по октябрь (рис. 1). Они выделяются по преобладанию типичных суточных состояний с характерными сочетаниями тепла и влаги в воздухе и почве, различаются суточным ходом и внутрисуточной динамикой потоков энергии (табл. 1). Вегетация в приземных слоях начинается довольно рано, куртины черемши появляются уже в начале марта. Однако существенный прирост травянистой фитомассы начинает происходить, когда среднесуточные температуры начинают переходить отметку в 10° С, а почвы, закрытые слоем опада и валежника, прогреваются.

Сезонный ход метеоэлементов на двух участках карбонового полигона в Рошни-Чу и Черноречье показывает различные биоклиматические условия для динамики углерода. Весна рано начинается на участках; раньше в Черноречье и с некоторым запаздыванием в Рошни-Чу. Уже в апреле, когда среднесуточные температуры превышают 10–15° С, а ночные минимумы прекращаются, начинается интенсивное биофункционирование. В первую очередь, буйно начинает вегетировать травянистый покров. Деревья стоят без листьев, солнечные лучи проникают к почве, она нагревается, что приводит в полуденные часы к потоку тепла вверх. С середины мая среднесуточные температуры превышают 15–20° С. В это время начинается формирование микроклимата под пологом леса, поток тепла вверх отменяется только в ночное время. Наступление лета знаменуется переходом среднесуточных температур воздуха выше 20–25° С. В это время отмечается неустойчивый

характер погоды с частыми грозами. Влажность повышается до 70 %, наблюдается сглаженный суточный ход и стабилизация температурного режима с преимущественным поступлением энергии в почву (за

исключением некоторых ночных часов). В это время не температура, а свет и вода играют важное значение в дифференциации растительного покрова.

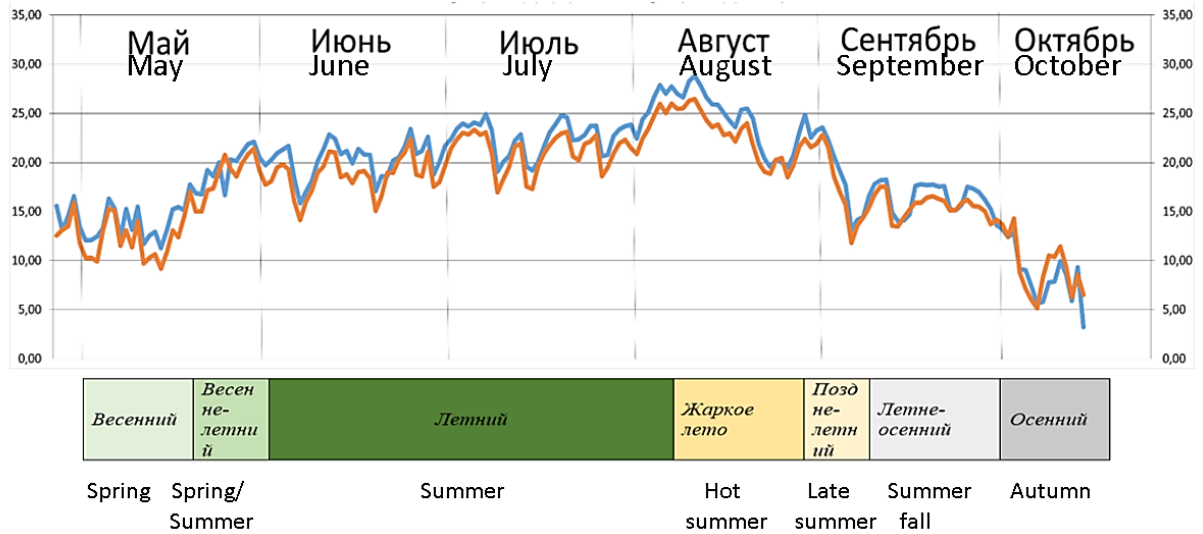


Рисунок 1. Сезонный ход среднесуточных температур воздуха на участках Черноречье (синяя линия) и Рошни-Чу (красная линия) и типы сезонных состояний

Figure 1. Seasonal variation of average daily air temperatures in the Chernorechye (blue line) and Roshni-Chu (red line) sections and types of seasonal conditions

Таблица 1. Сезонные состояния и типичный суточный ход температуры воздуха на 0,5 и 2 м в Черноречье и Рошни-Чу

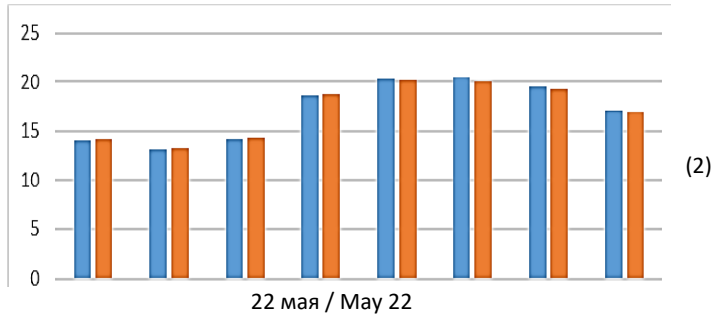
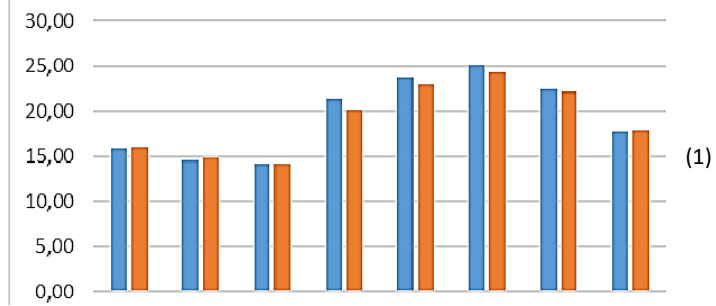
Table 1. Seasonal conditions and typical daily variation of air temperature at 0.5 and 2 m in Chernorechye and Roshni-Chu

Сезонное состояние Seasonal condition	Характеристика и типичные суточные состояния Characterization and typical diurnal states	Типичный суточный ход температуры воздуха на 0,5 и 2 м в Черноречье Typical daily air temperature variations at 0.5 and 2 m in Chernorechye (1)	Типичный суточный ход температуры воздуха на 0,5 и 2 м в Рошни-Чу Typical diurnal variation of air temperature at 0.5 and 2 m in Roshni Chu (2)
Весенний, с середины апреля по середину мая Spring, mid-April to mid-May	Среднесуточные температуры 10–15° С. Деревья стоят без листьев, солнечные лучи проникают к почве, она нагревается, поток тепла направляется вверх, идет активная вегетация травянистого покрова Average daily temperatures of 10–15° C. In tree stands without leaves, sun rays penetrate to the soil, heating it. Heat flow is directed upwards and there is active vegetation of herbaceous cover		

27 апреля / April 27

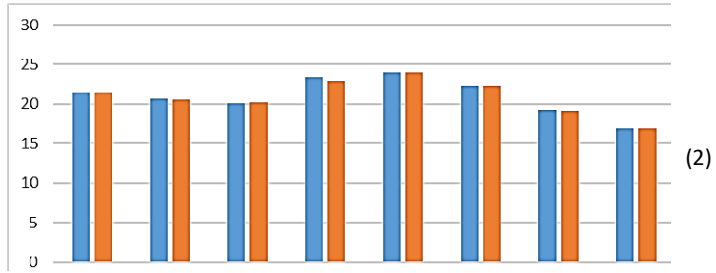
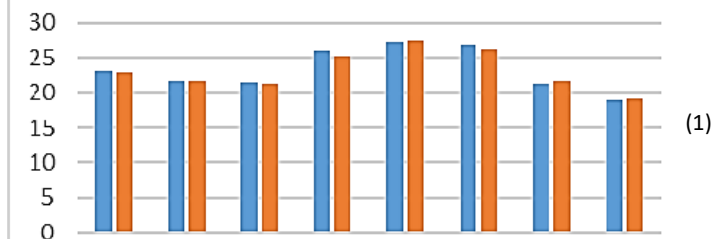
Весенне-летний.
Середина мая – начало июня
Spring-Summer.
Mid-May-early June

Среднесуточные температуры выше 15–20° С. Формирование микроклимата под пологом леса, поток тепла вверх только в ночное время
Average daily temperatures are above 15–20° С. Formation of microclimate under the forest canopy, heat flow upwards only at night



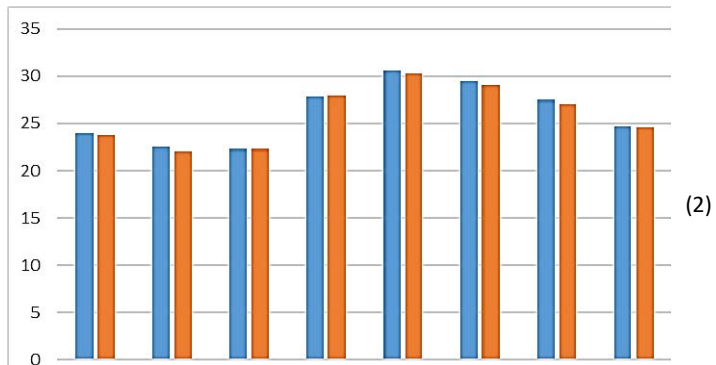
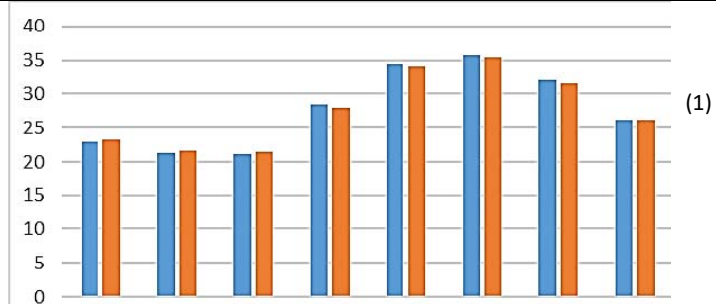
Летний:
июнь и июль
Summer:
June and July

Среднесуточные температуры выше 20–25° С, сглаженный суточный ход и стабилизация температурного режима с преимущественным поступлением энергии в почву (за исключением некоторых ночных часов)
Average daily temperatures above 20–25° С, smoothed diurnal variation and stabilisation of the temperature regime with predominant energy input to the soil (except for some night hours)



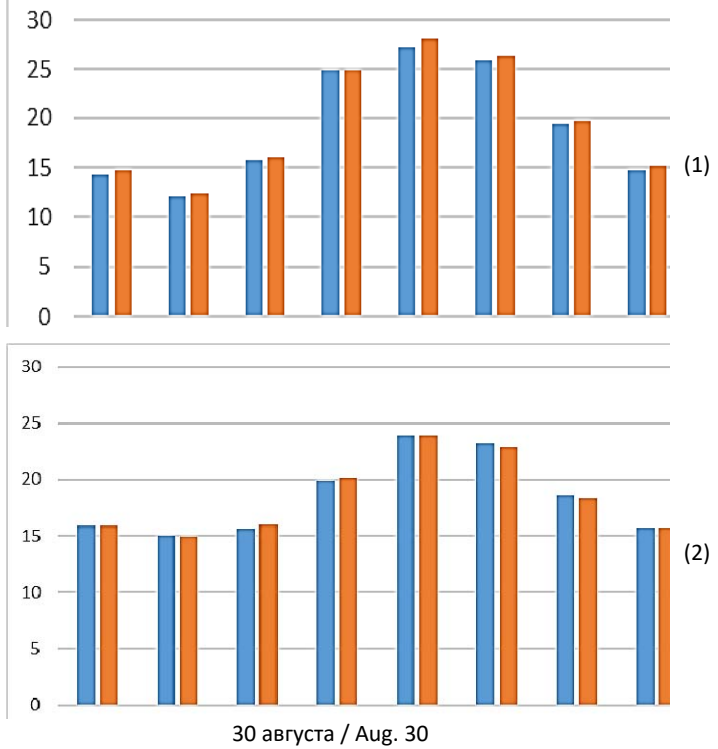
Жаркое лето, три первые декады августа
Hot summer, the first three decades of August

Среднесуточные температуры превышают 25° С, наблюдается недостаток влаги в почвах, суточный ход снова имеет пики в дневное время
Average daily temperatures exceed 25° С, there is a lack of moisture in soils, the diurnal course again has peaks in the daytime



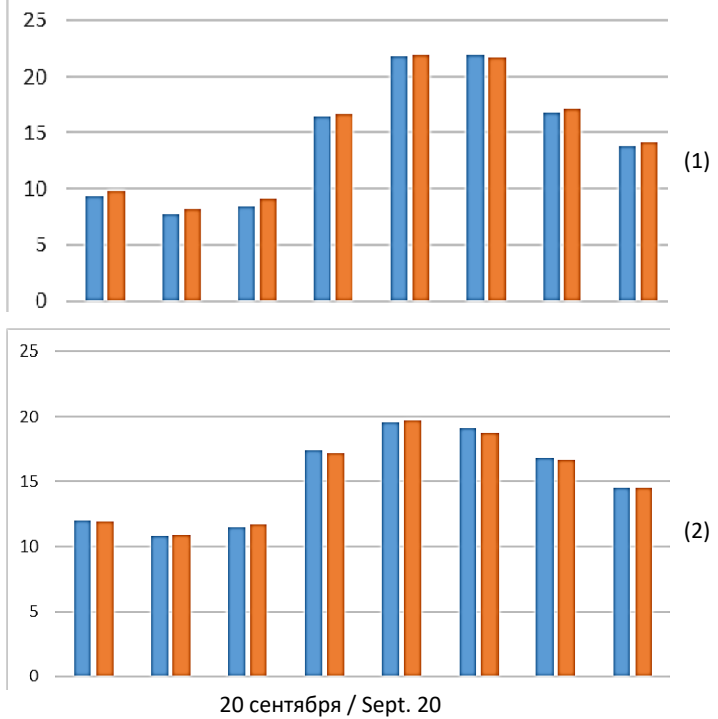
Позднее лето, последняя декада августа, первая декада сентября
Late summer: last decade of August, first decade of September.

Среднесуточные температуры падают, возрастают пики, понижение – в ночное время, почва продолжает испытывать дефицит влаги
Average daily temperatures are falling, peaks are increasing, decreases are at night and the soil continues to experience moisture deficits.



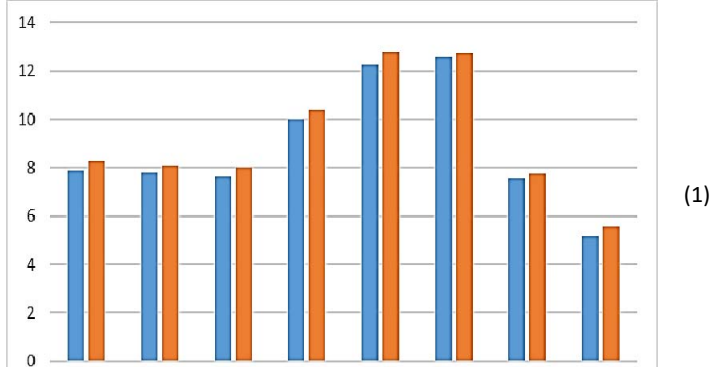
Летне-осенний период: первая декада сентября – конец сентября
Summer-autumn: first decade of September - end of September

Среднесуточные температуры около 15° C, понижение потоков тепла в Рошни-Чу быстрее вследствие затенения горными хребтами (ранний закат)
Average daily temperatures around 15° C, heat fluxes decrease faster in Roshni-Chu due to shading by mountain ranges (early sunset)

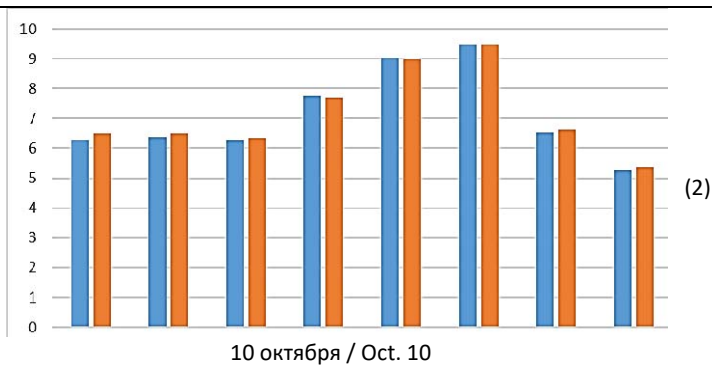


Осенний. Конец сентября – середина октября
Autumn: Late September through mid-October

Среднесуточная температура колеблется в промежутке 5–15° C. В Чернолесье максимум достигается раньше, в Рошни-Чу теплый воздух держится за счет мезорельефа дольше
Average daily temperature varies between 5–15° C. The maximum is reached earlier in Chernolesie, in Rošni-Chu warm air



stays longer due to the mesorelief



Особым периодом является август, когда выделяются жаркие сухие состояния. Среднесуточные температуры превышают 25°C , наблюдается недостаток влаги в почвах, суточный ход снова имеет пики в дневное время. Уже ближе к осени среднесуточные температуры воздуха постепенно понижаются, возрастают пики, с понижением в ночное время, почва продолжает испытывать дефицит влаги. В переходные от лета к осени состояния среднесуточные температуры понижаются до 15°C . При этом понижение потоков тепла в Рошни-Чу идет быстрее вследствие затенения горными хребтами (ранний закат). В типично осенние состояния конца сентября и октября среднесуточная температура колеблется в промежутке $5\text{--}15^{\circ}\text{C}$. В Черноречье максимум достигается раньше, в Рошни-Чу теплый воздух может держаться за счет мезорельефа дольше. Каждое из состояний играет свою роль в жизни природных комплексов. Обращает внимание растянутость и относительная однородность летнего сезона (июнь и июль), что достигается за счет обилия тепла и влаги, их относительно равномерного прихода. В конце лета и осенью наблюдается недостаток влаги в почве, что приводит к замедлению биофункционирования.

Вертикальная структура и ее динамика

Изменение биоклиматических условий выражается в динамике вертикальной структуре, которую можно представить в виде сочетания геомасс и геогоризонтов (рис. 2, 3). ПТК в Черноречье представлен широколиственно-лесными ландшафтами. Их подробное описание дано в предыдущей работе авторов [20]. Лесные фитоценозы находятся в климаксовом состоянии, доминантами являются буково-грабовые леса с участием клена, дуба, ясеня (первый ярус), лещина, боярышник (2 ярус). В травянистом покрове преобладает овсяница, разнотравье, а также куртины черемши.

Сезонные состояния выражены в типах вертикальных структур, отражающих функционирование ПТК. Геогоризонты сложены геомассами, которые разделяются на активные и относительно пассивные. К активным геомассам, которые выступают в качестве «кирпичиков» отдельных состояний, относятся: фитомассы мезофильных листьев, а также травянистых растений, мортмассы ветоши и подстилки. Относительно пассивными геомассами являются педомассы (легкий и средний суглинок), литомассы (в почвенном профиле они представлены небольшими известковистыми образованиями в нижнем горизонте почв), фитомассы стволов и веток, а также мортмассы валежника.

Вертикальные структуры состоят из надземных и подземных геогоризонтов. К надземным относятся геогоризонты веток, стволов и листьев, которые

аккумулируют и транспортируют углерод. Их проективное покрытие от 5 до 30 %, нижние ярусы (кустарники и подрост) достигают 50 %. Общая сухая фитомасса достигает 160 т/га. Аккумулятивную функцию выполняет геогоризонт травянистой растительности, который сочетается с мортмассами в виде валежника и ветоши. Общее проективное покрытие достигает 60–65 %. Значительную массу занимает валежник (до 10 т/га), а зеленая фитомасса занимает лишь 0,1 т/га. Приземные геогоризонты состоят в основном из мортмассы – подстилки, опада и валежника, реже, ветоши. Их общая мортмасса занимает около 10 т/га. Они постепенно переходят в подземные геогоризонты из полуразложившейся подстилки, смешанной с суглинистыми фракциями почв, а также корнями растений. Ниже их идут почвенные геогоризонты с суглинком, корнями, а также почвенной влагой. Общая масса корней около 40 т/га.

Динамика фитомассы травянистой растительности и мортмассы отражена на рисунке 4. Наземная мортмасса имеет максимум в весеннее время. Приход тепла приводит к биогенной деструкции валежника, а также подстилки и ветоши, которая замедляется в летнее время. Зеленая фитомасса травянистой растительности характеризуется резким ростом, начиная с летнего состояния. Тем не менее максимум зеленой фитомассы в два раза меньше мортмассы – потенциального источника для накопления углерода.

Судя по результатам почвенных анализов (табл. 2), почвы характеризуются относительно низкой активностью, содержание гумуса относительно небольшое, а по показателям углерода и азота, активность почвенных процессов замедленная. Дефицит азота приводит к замедлению роста деревьев [20].

Преимущественно за аккумуляцию углерода отвечают геогоризонты веток и листьев, а также геогоризонт с травянистой растительностью. Их фитомасса относительно мала (около 1,5–2 % от общей фитомассы). В остальных геогоризонтах углерод теряется за счет биогенной деструкции. Это в основном геогоризонты, состоящие преимущественно из мортмасс. В вегетационном цикле можно выделить три типа состояний ПТК: 1) баланс аккумуляции и выброса углерода (весеннее и весенне-летнее состояния); 2) преобладание выброса углерода над его аккумуляцией за счет активного разложения мортмасс (летнее состояние и состояние жаркого лета); 3) преобладание аккумуляции за счет отложения углерода в мортмассах, а также частичного перехода в почвы (поздне-летнее, летне-осеннее и осеннее состояния).



Рисунок 2. Описание почвенного профиля и отбор проб в ПТК широколиственного разновозрастного леса на участке Черноречья

Figure 2. Description of the soil profile and sampling in the PTC of a broad-leaved forest of different ages in the Chernorechye area

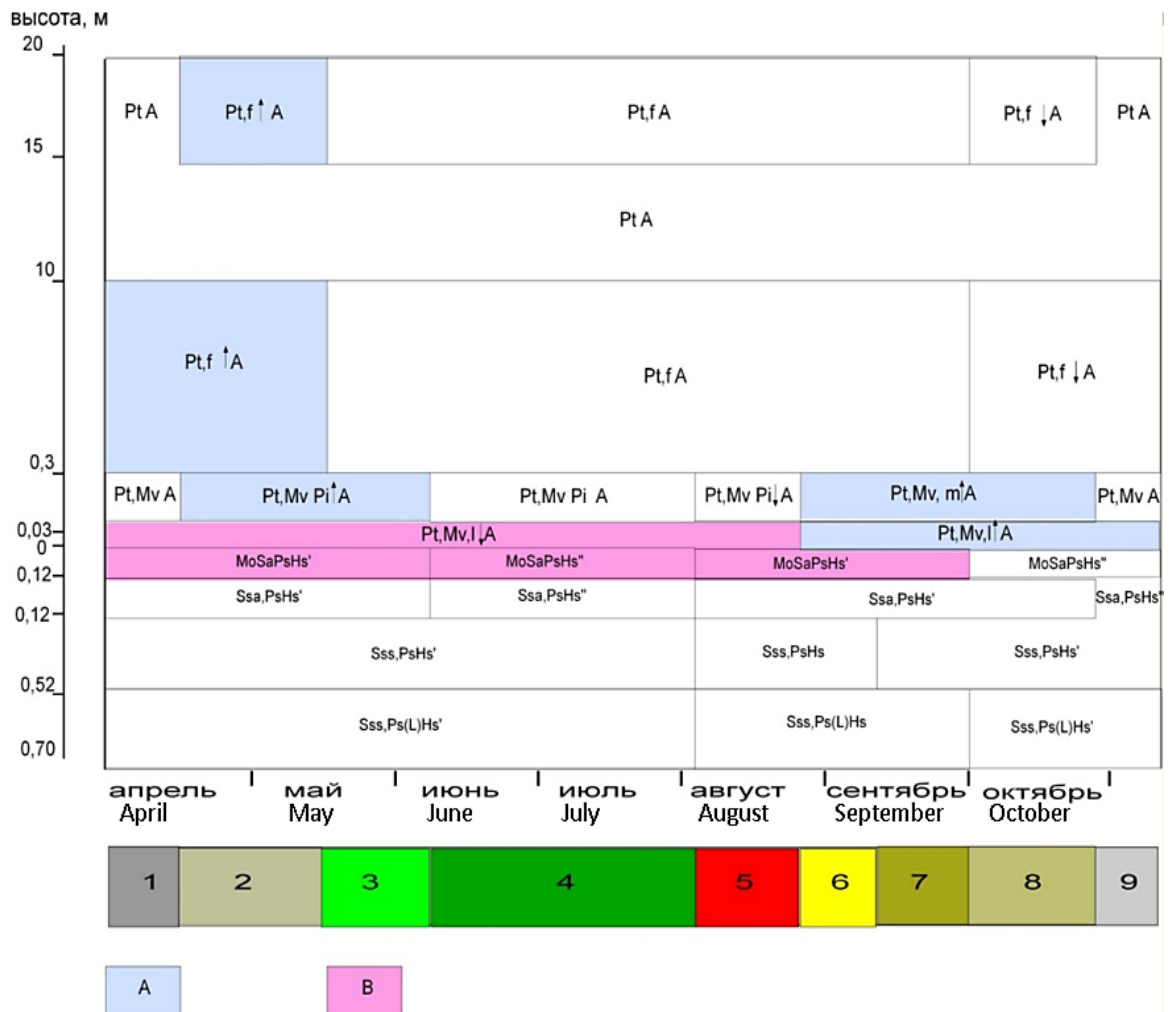


Рисунок 3. Динамика состояний и ее связь с вертикальной структурой ПТК участка Черноречье (широколиственный лес в водоохранной зоне г. Грозный)

Figure 3. Dynamics of states and its connection with the vertical structure of the natural territorial complex of the Chernorechye site (broad-leaved forest in the water protection zone of the city of Grozny)

Примечание: Цифрами на рисунке показаны сезоны: ранне-весенний (1), весенний (2), весенне-летний (3), летний (4), жаркое лето (5), поздне-летний (6), летне-осенний (7), осенний (8), поздне-осенний (9).

А – геогоризонты с преимущественной аккумуляцией углерода, В – геогоризонты с преимущественной потерей углерода (за счет биогенной деструкции). Знаками показаны геомассы: А – аэромассы, Р – фитомассы, Рт – стволы и ветки деревьев и кустарников, Рf – мезофильные листья, Рi – травянистая фитомасса, М – мортмассы, Мv – отпад, валежник, Мm – ветошь, Мl – подстилка, Мо – мор, полуразложившаяся подстилка, S – педомассы, Ssa – легкий суглинок, Sss – средний суглинок, L – литомассы, Н – гидромассы. Гидромассы в почвах Н'' – влажность более 50%, Н' – 30–50 %, Н – менее 30 %. Динамика геомасс: ↑ – увеличение, ↓ – уменьшение

Note: The numbers in the figure indicate the seasons: early spring (1), spring (2), spring-summer (3), summer (4), hot summer (5), late summer (6), summer-autumn (7), autumn (8), late autumn (9). A – geohorizons with predominant accumulation of carbon, B – geohorizons with predominant loss of carbon (due to biogenic destruction).

The signs indicate geomasses: A – aeromasses, P – phytomass, Pt – trunks and branches of trees and shrubs, Pf – mesophilic leaves, Pi – herbaceous phytomass, M – mortmass, Mv – waste, deadwood, Mm – rags, Ml – litter, Mo – mor, semi-decomposed litter, S – pedomass, Ssa – light loam, Sss – medium loam, L – lithomass, H – hydromass. Hydromass in soils H'' – humidity more than 50%, H' – 30–50 %, H – less than 30 %.

Geomass dynamics: ↑ – increase, ↓ – decrease

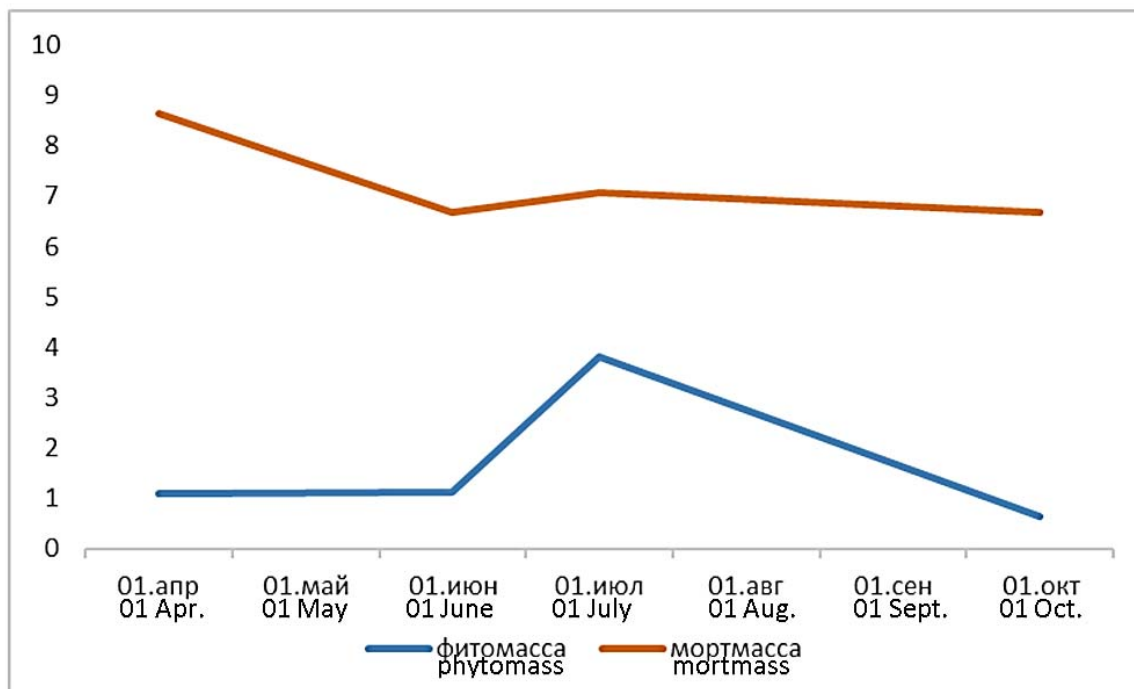


Рисунок 4. Динамика фитомассы и мортмассы (т/га, в перерасчете на сухой вес) на участке Черноречья

Figure 4. Dynamics of phytomass and mortmass (t/ha, in terms of dry weight) in the Chernorechye area

Таблица 2. Показатели плодородия почв на ключевых участках

Table 2. Soil fertility indicators in key areas

Почвенные горизонты Soil horizons	Глубина (усредненная, см) Depth (average, cm)	Черноречье / Chernorechye		Рошни-Чу / Roshni-Chu	
		Гумус (%) Humus (%)	Соотношение гумуса и азота (C/N) Humus to nitrogen ratio (C/N)	Гумус (%) Humus (%)	Соотношение гумуса и азота (C/N) Humus to nitrogen ratio (C/N)
Ао-А1	0–12	6,9	2,8	4,3	1,075
АВ	12–30	5,6	2	2,2	1,1
В	30–52	2,9	1	1,5	0,75
В-ВС	52–75	1,8	0,5	0,9	0,45

Выводы

Связь динамики углерода и смены состояний ПТК двух ключевых участков карбонового полигона в Чеченской Республике отражается по изменению ландшафтно-геофизических параметров: соотношения геомасс, геогоризонтов и вертикальных структур. На основе выделения и измерения этих параметров определены набор и смена основных состояний природных

комплексов участков карбонового полигона в вегетационный период. Центральное место занимает связанная с ходом метеоэлементов динамика перехода зеленой фитомассы в мортмассу, разложение мортмассы с переходом в летучие газы и, в меньшей степени, – депонирование углерода в почву. Наблюдения показывают, что критически важным для

понимания динамики углерода являются приземные слои мортмассы, переходящие в верхние слои почв.

На наблюдаемых участках баланс углерода почти не зависит от состава растительности, которая находится в климатическом состоянии, депонирование углерода возможно только в его аккумуляции в почвах, что происходит достаточно медленно. Способствовать депонированию углерода можно на основе конструирования новых фитоценозов (что вряд ли реализуемо, учитывая природоохраный режим участков полигона), либо путем воздействия на процессы почвообразования, улучшения их плодородия, в частности, повышения соотношения углерода и азота. Другим, более радикальным, путем можно считать специальную утилизацию мортмассы. Однако в данном случае надо просчитать экологические последствия утилизации, которая содержит микрофлору и выполняет важные экологические функции природных комплексов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках госзадания ГГНТУ им. 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 Millionshchikov GSTOU FZNU-2024-0004 "Complex study of greenhouse gas fluxes in natural and anthropogenically disturbed landscapes of the Chechen Republic and development of scientifically based recommendations on greenhouse gas fluxes in natural and anthropogenically disturbed landscapes: Science-based recommendations on restoration of bio-resource potential of disturbed lands.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. Москва: Мысль, 1986. 182 с.
2. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / Под ред. Замолодчикова Д.Г. и др. Саратов: Амрит, 2017. 279 с.
3. Суховеева О.Э., Карелин Д.В., Золотухин А.Н., Почикалов А.В. Дыхание почвы в аграрных и природных экосистемах европейской территории России // *Почвоведение*. 2023. N 9. С. 1077–1088.
4. Карелин Д.В., Суховеева О.Э., Глаголев М.В., Добрянский А.С., Сабреков А.Ф., Замотаев И.В. Годовой бюджет углеродсодержащих биогенных парниковых газов при смешанном землепользовании: Львовский район как модельный объект центрального Черноземья // *Почвоведение*. 2023. N 8. С. 911–924.
5. Маркарова М.Ю., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Эльжаев А.С., Мамадиев Н.А. Анализ парниковых газов на нефтезагрязненных территориях и разработка методов их биорекультивации (на примере г. Грозный) // *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12(4). С. 153–168.
6. Ni Y., Eskeland G.S., Giske J., Hansen J.-P. The global potential for carbon capture and storage from forestry // *Carbon Balance and Management*. 2016. V. 11(3). P. 1–8.
7. Иванов А.В., Браун М., Замолодчиков Д.Г., Лошаков С.Ю., Потоцкий О.В. Эмиссия углерода в поверхности

валежа в кедровых лесах Южного Приморья. *Экология*. 2018. N 4. С. 275–281.

8. Sun X.Y., Wang C.K. Carbon dioxide fluxes from downed log decomposition of major tree species in northeastern China // *Acta Ecologica Sinica*. 2007. V. 27(12). P. 5130–5137.
9. Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
10. Гайрабеков У.Т., Гуня А.Н., Керимов И.А. К вопросу об изучении динамики углерода в горных ландшафтах Чеченской Республики на основе ландшафтно-геофизического подхода Н.Л. Беручашвили // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2021. Т. 15. N 4. С. 27–38. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-4-27-38
11. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш. Динамика соотношения фракций фитомассы и мортмассы на ключевых участках карбонового полигона в Чеченской Республике // *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(4) С. 135–148.
12. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Изучение ландшафтной структуры для оценки углеродного баланса горных экосистем // *Геология и геофизика Юга России*. 2022. Т. 12(3). С. 170–181.
13. Kurz W.A., Apps M.J., Banfield G.E., Stinson G. Forest carbon accounting at the operation scale // *The For. Chron.* 2002. V. 78. N 5. P. 672–679.
14. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Ваганов Е.А., Верховец С.В., Рубцов А.В. Динамика потоков CO₂ с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2016. Т. 9. N 3. С. 338–357.
15. Malysheva N., Zolina T., Dedova V. Estimation of carbon sequestration by Russian forests: geospatial issue // *InterCarto. InterGIS*. 2017. V. 23. P. 373–382. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382>
16. Abalori T.A., Cao W., Weobong C.A.-A., Wang S., Anning D.K., Sam F.E., Liu W., Wang W. Spatial variability of soil organic carbon fractions and aggregate stability along an elevation gradient in the alpine meadow grasslands of the Qilian Mountains, China // *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2022. V. 82(1). P. 52–64. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392022000100052>
17. Amanuel W., Yimer F., Karlton E. Soil organic carbon variation in relation to land use changes: the case of Birr watershed, upper Blue Nile River Basin, Ethiopia // *Journal of Ecology and Environment*. 2018. V. 42(1). P. 1–11.
18. Hilton R.G., West A.J. Mountains, erosion and the carbon cycle // *Nature Reviews Earth and Environment* 2020. V. 1. P. 284–299. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0058-6>
19. Jakšić S., Ninkov J., Milić S., Vasin J., Živanov M., Jakšić D., Komlen V. Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia // *Sustainability*. 2021. V. 13(15). Article ID: 8332. <https://doi.org/10.3390/su13158332>
20. Marshall L.A., Falk Donald A., Mcdowell Nate G. Nitrogen can limit overstory tree growth following extreme stand density increase in a Ponderosa pine forest // *Tree-Ring Research*. 2019. V. 75. Iss. 1. P. 49–60.

REFERENCES

1. Beruchashvili N.L. *Chetyre izmereniya landshafta* [Four Dimensions of Landscape]. Moscow, Mysl Publ., 1986, 182 p. (In Russian)
2. *Monitoring potokov parnikovoyh gazov v prirodnyh ekosistemah* [Monitoring of greenhouse gas fluxes in natural ecosystems]. Saratov, Amirit Publ., 2017, 279 p. (In Russian)
3. Sukhoveeva O.E., Karelin D.V., Zolotukhin A.N., Pochikalov A.V. Soil respiration in agrarian and natural ecosystems of the

- European territory of Russia. *Pochvovedeniye* [Soil Science]. 2023, no. 9, pp. 1077–1088. (In Russian)
4. Karelin D.V., Sukhoveeva O.E., Glagolev M.V., Dobryanskiy A.S., Sabrekov A.F., Zamotaev I.V. Annual budget of carbon-containing biogenic greenhouse gases under mixed land use: Lgovsky district as a model object of the central Chernozem. *Pochvovedeniye* [Soil Science]. 2023, no. 8, pp. 911–924. (In Russian)
 5. Markarova M.Yu., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Mamadiev N.A. Analysis of greenhouse gases in oil-contaminated areas and the development of methods for their bioremediation (on the example of Grozny). *Geology and Geophysics of Southern Russia*, 2022, no. 9, vol. 12(4), pp. 153–168. (In Russian)
 6. Ni Y., Eskeland G.S., Giske J., Hansen J.-P. The global potential for carbon capture and storage from forestry. *Carbon Balance and Management*. 2016, vol. 11(3), pp. 1–8.
 7. Ivanov A.V., Brown M., Zamolodchikov D.G., Loshakov S.Y., Pototsky O.V. Carbon emission in the deadwood surface in cedar forests of Southern Primorye. *Ekologiya* [Ecology]. 2018, no. 4, pp. 275–281. (In Russian)
 8. Sun X.Y., Wang C.K. Carbon dioxide fluxes from downed log decomposition of major tree species in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*. 2007, vol. 27(12), pp. 5130–5137.
 9. Beruchashvili N.L., Zhuchkova V.K. *Metody kompleksnyh fiziko-geograficheskikh issledovaniy* [Methods of complex physiographic studies]. Moscow, MSU Publ., 1997, 320 p. (In Russian)
 10. Gayrabekov U.T., Gunya A.N., Kerimov I.A. On the study of carbon dynamics in mountain landscapes of the Chechen Republic on the basis of landscape-geophysical approach N.L. Beruchashvili. *Izvestia Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*, 2021, vol. 15, no. 4, pp. 27–38. (In Russian) DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-4-27-38
 11. Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Dynamics of the ratio of phytomass and mortmass fractions at the key areas of the Carboniferous polygon in the Chechen Republic. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* [Geology and Geophysics of the South of Russia]. 2023, vol. 13(4), pp. 135–148. (In Russian)
 12. Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Gagaeva Z.Sh. Study of landscape structure for estimation of carbon balance of mountain ecosystems. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* [Geology and Geophysics of the South of Russia]. 2022, vol. 12(3), pp. 170–181.
 13. Kurz W.A., Apps M.J., Banfield G.E., Stinson G. Forest carbon accounting at the operation scale. *The For. Chron.* 2002, vol. 78, no. 5, pp. 672–679.
 14. Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Vaganov E.A., Verkhovets S.V., Rubtsov A.V. Dynamics of CO₂ fluxes from the soil surface in pine stands in Central Siberia. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Series: Biology]. 2016, vol. 9, no. 3, pp. 338–357. (In Russian)
 15. Malysheva N., Zolina T., Dedova V. Estimation of carbon sequestration by Russian forests: geospatial issue. *InterCarto. InterGIS*, 2017, vol. 23, pp. 373–382. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382>
 16. Abalori T.A., Cao W., Weobong C.A.-A., Wang S., Anning D.K., Sam F. E., Liu W., Wang W. Spatial variability of soil organic carbon fractions and aggregate stability along an elevation gradient in the alpine meadow grasslands of the Qilian Mountains, China. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2022, vol. 82(1), pp. 52–64. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392022000100052>
 17. Amanuel W., Yimer F. and Karlton E. Soil organic carbon variation in relation to land use changes: the case of Birr watershed, upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Journal of Ecology and Environment*, 2018, vol. 42(1), pp. 1–11.
 18. Hilton R.G., West A.J. Mountains, erosion and the carbon cycle. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2020, vol. 1, pp. 284–299. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0058-6>
 19. Jakšić S., Ninkov J., Milić S., Vasin J., Živanov M., Jakšić D., Komlen V. Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia. *Sustainability*, 2021, vol. 13(15), article id: 8332. <https://doi.org/10.3390/su13158332>
 20. Marshall L.A., Falk Donald A., Mcdowell Nate G. Nitrogen can limit overstory tree growth following extreme stand density increase in a Ponderosa pine forest. *Tree-Ring Research*, 2019, vol. 75, no. 1, pp. 49–60.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алексей Н. Гуня, Умар Т. Гайрабеков, Любовь Ш. Махмудова и Зулфира Ш. Гагаева собрали и обработали материалы, описали результаты. 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

Alexey N. Gunya, Umar T. Gayrabekov, Lyubov Sh. Makhmudova and Zulfira Sh. Gagaeva collected and processed the materials and described the results. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Алексей Н. Гуня / Alexey N. Gunya <https://orcid.org/0000-0002-9255-1592>

Умар Т. Гайрабеков / Umar T. Gayrabekov <https://orcid.org/0000-0001-6358-0477>

Любовь Ш. Махмудова / Lyubov Sh. Makhmudova <https://orcid.org/0000-0002-3104-9275>

Зулфира Ш. Гагаева / Zulfira Sh. Gagaeva <https://orcid.org/0000-0001-8216-2449>

Оригинальная статья / Original article
УДК 330.322 + 630:330.322
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-18



Потенциал и инвестиционная привлекательность проектов по улучшенному лесному хозяйству в условиях возрастающих климатических вызовов

Светлана С. Морковина¹, Сергей С. Шешнищан¹, Анна В. Иванова¹, Наталья В. Яковенко¹, Наталья К. Прядилина²

¹Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

²Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Контактное лицо

Наталья В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, НИИ ИТЛК, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; ул. Тимирязева, д.8, г. Воронеж, Россия 394087.
Tel. +79191889232
Email n.v.yakovenko71@gmail.com,
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Формат цитирования

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

Получена 22 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 24 июня 2024 г.

Принята 30 июля 2024 г.

Резюме

Цель – обосновать потенциал и дать оценку эффективности инвестирования в лесные климатические проекты по улучшенному лесному хозяйству.

Использован системный подход для комплексного, структурированного и динамического изучения потенциала проектной деятельности (лесоклиматических проектов), направленной на повышение продуктивности лесов. Эффективность инвестирования лесоклиматических проектов по улучшенному лесному хозяйству определена с учетом жизненного цикла проектных решений. Для проведения экспресс-оценки инвестиционной привлекательности лесоклиматических проектов использован коэффициент, характеризующий эффективность инвестирования в целях выпуска углеродных единиц.

Установлено, что наибольший потенциал площадей (более 2 млн. га) для реализации лесоклиматических проектов по улучшению лесного хозяйства имеется у субъектов Северо-Западного, Уральского и Сибирского федеральных округов. Также показано, что для внедрения таких проектов по улучшенному лесному хозяйству в условиях Центральной лесостепи на 1 га востребованы инвестиции в размере до 100 т.р. Для климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству минимальный объем инвестиций в расчете на единицу площади составит от 97–111 тыс.р./га., с учетом жизненного цикла проекта.

Решена актуальная практико-ориентированная задача в области лесного хозяйства, заключающаяся в обосновании инвестиционной привлекательности природных решений, направленных на повышение углерод депонирующих функций лесных экосистем. Рассчитанный потенциал площадей для реализации лесоклиматических проектов по улучшенному лесному хозяйству является важным инструментом территориального планирования и обеспечения устойчивого развития региональных систем.

Ключевые слова

Лесоклиматические проекты, улучшенное лесное хозяйство, инвестиции, потенциал, Воронежская область.

Potential and investment attractiveness of improved forestry projects under increasing climatic challenges

Svetlana S. Morkovina¹, Sergey S. Sheshnitzan¹, Anna V. Ivanova¹, Natalia V. Yakovenko¹
and Natalia K. Pryadilina²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

²Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russia

Principal contact

Nataliya V. Yakovenko, Doctor of Geography,
Professor, Research Institute of Innovative
Technologies and the Forestry Complex of the
Voronezh State University Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov;
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., Sheshnitzan 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; 19(3):180-
192. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-18

Received 22 March 2024

Revised 24 June 2024

Accepted 30 July 2024

Abstract

The aim is to justify the potential and provide an assessment of the effectiveness of investing in forest climate projects for improved forestry. A systematic approach was used for a comprehensive, structured and dynamic study of the potential of project activities (forest-climatic projects) to improve forest productivity. The investment efficiency of forest-climatic projects on improved forestry is determined taking into account the life cycle of project solutions. To conduct an express assessment of investment attractiveness of forest-climatic projects, the coefficient characterizing the efficiency of investment for the produce of carbon units was used.

It has been revealed that the regions of the Northwestern, Ural and Siberian Federal Districts have the greatest potential of areas of plots (over 2 million ha) for the realization of forest-climatic projects on improved forestry. It has been shown that for the implementation of forest-climatic projects on improved forestry in the conditions of the Central forest-steppe per 1 ha investments of up to 100 thousand rubles are required. For climatic projects on improved forestry, the minimum investment per unit area will be from 97–111 thousand rubles per 1 ha, taking into account the life cycle of the project.

The actual practice-oriented task in the field of forestry has been solved. It consisted in substantiating the investment attractiveness of natural solutions aimed at increasing the carbon depositing functions of forest ecosystems. Calculated potential of areas for the implementation of forest-climatic projects on improved forestry is an important tool for territorial planning and ensuring sustainable development of regional systems.

Key Words

Forest-climatic projects, improved forestry, investments, potential, Voronezh region.

ВВЕДЕНИЕ

С учетом возрастающей значимости климатической повестки, включая выполнение обязательств России по Парижскому соглашению, увеличение объемов поглощения парниковых газов путем реализации решений природного характера и поддержания естественных экосистем техническими средствами, из актуальной задачи превращается в императив для формирования национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития [1; 2].

Леса всегда были ценным природным активом, улавливающим углерод из атмосферы и обеспечивающим многочисленные важные экосистемные услуги и функции, включая сохранение биоразнообразия, почвы и воды [3]. Антропогенное изменение климата представляет потенциальную угрозу для лесов и создаёт проблемы для лесопользователей. Реагирование на изменение климата путём смягчения последствий и адаптации может стать новой парадигмой для управляющих лесами и исследователей. Леса, как распространённые и долгоживущие экосистемы, управляемые как интенсивно, так и экстенсивно, чувствительны к этим долгосрочным климатическим изменениям, как и общество и экономики, зависящие от них. Изменение климата усиливает последствия многих существующих проблем, связанных с экологическими, социальными и экономическими изменениями. Хотя лесные экосистемы обычно устойчивы и многие виды и экосистемы исторически адаптировались к изменяющимся условиям, будущие изменения могут быть столь масштабными или происходить с такой скоростью, что превысят естественную адаптационную способность лесных видов и экосистем. Это может привести к локальному вымиранию и утрате важных функций и услуг, включая сокращение запасов углерода в лесах и их способности связывать его. Адаптацию к этим изменяющимся и неопределённым будущим условиям можно рассматривать с различных точек зрения. Политика и управление могут быть направлены на предотвращение или уменьшение воздействия климатических явлений, снижение уязвимости к будущим климатическим условиям, управление более широким набором климатических рисков, или повышение устойчивости и способности лесных систем восстанавливаться после климатических потрясений. Принятие принципов и практик устойчивого лесопользования может создать прочную основу для решения проблем, вызванных изменением климата. Меры по смягчению последствий изменения климата в лесных экосистемах можно разделить на три основные категории. Во-первых, это сохранение уже существующих лесных массивов. Во-вторых, расширение лесных площадей посредством лесовосстановления, облесения и агролесомелиорации. И, наконец, третья категория включает в себя изменение методов управления уже существующими лесами с целью увеличения поглощения углерода лесами и продукцией, производимой из них (улучшенное управление лесами). Обычно потенциал для увеличения углеродных поглотителей заключается в последних двух подходах, в то время как сохранение лесов фокусируется на защите уже существующих углеродных запасов в этих экосистемах.

Деятельность, связанная с сокращением углеродных выбросов в лесах, может приносить

значительные сопутствующие преимущества как для экосистем, так и для общества. Это включает в себя сохранение и улучшение биоразнообразия, а также производство лесной продукции. В условиях неопределённости климатического будущего традиционные методы управления лесами могут утратить свою актуальность для решения задачи сохранения лесов и их ресурсов в будущем, на что указывает ряд зарубежных авторов [4; 5]. При текущих методах управления лесными экосистемами, воздействие изменений климата может оказаться настолько значительным, что превзойдет природные адаптационные способности лесов. Леса, которые веками были устойчивыми хранителями экосистемного баланса, сегодня сталкиваются с растущей угрозой, вызванной глобальными климатическими изменениями. Без пересмотра и модернизации управленческих стратегий эти природные системы могут не успеть адаптироваться к стремительно меняющимся условиям, что приведет к ослаблению их способности к восстановлению, снижению биоразнообразия и потере их роли как важнейших углеродных поглотителей. Таким образом, актуальность обновления подходов к управлению лесами возрастает, чтобы усилить их устойчивость и способность к адаптации в условиях изменяющегося климата [6–9].

Несмотря на то, что в последнее время активно проводятся научные исследования в области улучшенного лесного хозяйства, вопросы по реализации мер в развитии лесоклиматических проектов выделяют новые проблемы и практического, и научно-методического характера. В связи с этим вопросы оценки потенциала лесоклиматических проектов в условиях возрастающих климатических вызовов и их инвестиционной эффективности приобретают особую актуальность.

Цель исследования – обосновать потенциал и дать оценку эффективности инвестиционных климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству, направленному на конверсию низкопродуктивных лесов в высокопродуктивные и обеспечивающие увеличение поглощения парниковых газов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном исследовании использован системный подход в качестве основного для комплексного, структурированного и динамического изучения потенциала лесоклиматических проектов. Для проведения экспресс-оценки инвестиционной привлекательности лесоклиматических проектов используется коэффициент, характеризующий эффективность инвестирования в целях выпуска углеродных единиц. Инвестиционные затраты на лесохозяйственные мероприятия, направленные на сокращение выбросов и увеличение поглощения парниковых газов лесами, устанавливаются на основе нормативно-технологических карт [10]. Корректировка затрат осуществляется с учетом различных аспектов фактора времени, в том числе динамичности параметров проекта и его макроэкономического окружения:

- прогнозной оценки общего индекса инфляции и прогноза абсолютного или относительного изменения цен на отдельные продукты и ресурсы на весь период реализации проекта;
- прогноза изменения обменного курса валюты или индекса внутренней инфляции иностранной

- валюты на весь период реализации проекта;
- сведений о системе налогообложения.

Корректировке подлежат не только базовые затраты, но и проектные, которые отражают расходы на проведение дополнительных мероприятий, способствующих увеличению поглощения или сокращению выбросов парниковых газов при реализации лесоклиматического проекта:

$$S_c = P_d \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

где S_c – общие инвестиционные затраты на лесохозяйственные мероприятия по проектной линии (дополнительные), приведенные к n -му году;

P_d – инвестиционные затраты по проектной линии лесоклиматического проекта в базовом периоде;

i – коэффициент дисконтирования в сотых долях единицы;

n – количество периодов, в течение которых будут осуществляться мероприятия лесоклиматического проекта.

Стоимость объема поглощенных парниковых газов при реализации лесоклиматического проекта рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{carbon} = C_c \times V_b \quad (2)$$

где C_c – текущая цена единицы углерода, сложившаяся на углеродном рынке, т.р./т.

$V_b(n)$ – объем поглощенных ПГ, соответствующий базовой $V(b)$ или $V(n)$ проектной линии реализации лесоклиматического проекта.

Для оценки эффективности инвестирования в лесоклиматические проекты можно использовать:

- индекс доходности затрат и инвестиций (PI);

- чистую приведенную величину дохода по проекту (NPV).

$$NPV = -IC + CF_t \quad (3)$$

где IC – инвестиционные затраты на проведение дополнительных лесохозяйственных мероприятий, приведенные к n -му году, т.р./га:

$$IC = S_c - S_p \quad (4)$$

CF_t – доходы, полученные от выпуска углеродных единиц на углеродном рынке, т. С /га, приведенные к n -му году, т.р./т. С;

i – коэффициент дисконтирования в сотых долях единицы.

Решение по показателю NPV принимается:

- если $NPV > 0$, то реализация лесоклиматического проекта экономически обоснована, проект эффективен;

- если $NPV < 0$, то реализация лесоклиматического проекта экономически не обоснована, проект не эффективен.

$$PI = \frac{CF_t}{IC} \quad (5)$$

Решение по показателю PI принимается:

Если показатель PI превышает 1, то лесохозяйственные мероприятия, направленные на увеличение углеродных запасов, демонстрируют высокую экономическую эффективность. В этом случае доходы, полученные от углерода, поглощенного лесными экосистемами, существенно превышают инвестиционные затраты на реализацию этих мероприятий. Это делает такие проекты не только

самоокупаемыми, но и выгодными с точки зрения долгосрочных инвестиций.

Однако если показатель PI находится ниже 1, то подобные мероприятия теряют свою экономическую целесообразность. В этом случае доходы от углерода, поглощенного лесами, не покрывают затраты, связанные с их реализацией, что делает проекты финансово неэффективными. Таким образом, для принятия решений о реализации лесохозяйственных инициатив важно учитывать показатель PI , чтобы оценить их потенциальную прибыльность и устойчивость.

Для быстрой оценки инвестиционной привлекательности лесоклиматических проектов можно использовать коэффициент углеродоёмкости инвестиционных затрат, который отражает эффективность инвестиций в природные решения, включая последующий выпуск углеродных единиц.

Коэффициент углеродоёмкости инвестиционных затрат может быть использован также как ориентир при выборе формы реализации лесоклиматического проекта, в частности практик по лесовосстановлению и лесоразведению, направленных на увеличение поглотительной способности лесных экосистем, либо лесохозяйственных практик по снижению горимости лесов, обеспечивающих сокращение выбросов углерода в атмосферу. Он играет ключевую роль при планировании, особенно при выборе участков и локаций (с учётом природно-климатической зоны, типа почв и других факторов), которые потенциально подходят для реализации лесоклиматического проекта на землях различных категорий и назначения [11].

Коэффициент углеродоёмкости инвестиционных затрат отражает объём парниковых газов, учтённый благодаря мероприятиям по сокращению выбросов или увеличению поглощения, приходящийся на единицу инвестиционных затрат, связанных с реализацией природоподобного решения, и вычисляется по следующей формуле:

$$K_y = C_{ny} / S_c \quad (6)$$

C_{ny} – суммарный объём поглощенного углерода, приведенный к n -му году;

S_c – текущие затраты на проведение лесохозяйственных мероприятий, приведенные к n -му году (инвестиционные затраты).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений в борьбе с изменением климата и сокращением выбросов углерода являются лесоклиматические проекты (ЛСП), также известные как климатические инициативы в сфере лесного хозяйства. Эти проекты представляют собой комплексные программы, направленные на снижение концентрации парниковых газов в атмосфере путем активного управления лесными экосистемами. В рамках таких инициатив происходит не только восстановление и сохранение лесов, но и оптимизация их способности поглощать углерод, что превращает леса в важнейший элемент глобальной стратегии декарбонизации. Лесоклиматические проекты могут включать в себя лесовосстановление на деградированных землях, поддержание биологического разнообразия, внедрение устойчивых методов управления лесами и

использование древесных отходов в качестве альтернативных источников энергии. Такие инициативы не только способствуют снижению углеродного следа, но и обеспечивают долгосрочную экологическую устойчивость, оказывая положительное воздействие на глобальный климат и экосистемы [1]. Ассоциация Forest Trends характеризует такие проекты как: «инициативы, ориентированные на оценку и использование углеродопоглощающего потенциала лесных экосистем, а также на его капитализацию через углеродные рынки». В рамках лесоклиматических проектов проводятся детальные исследования выбросов углекислого газа и других парниковых газов на основе традиционного (базового) сценария. После этого базовый сценарий сравнивается с самыми современными методами, направленными на значительное сокращение выбросов или увеличение их поглощения лесами. Главная цель этих исследований заключается в достижении положительного углеродного баланса, который измеряется в единицах сокращения выбросов и может быть использован для торговли на углеродных рынках. Такие инициативы не только способствуют глобальным усилиям по снижению углеродного следа, но и предоставляют финансовые стимулы для управления лесами таким образом, чтобы максимизировать их роль как природных поглотителей углерода. В долгосрочной перспективе такие проекты

могут сыграть ключевую роль в глобальной стратегии борьбы с изменением климата, сочетая экологическую устойчивость с экономическими выгодами [12].

Лесоклиматические проекты (ЛКП) – это инструмент для борьбы с изменением климата, который использует потенциал лесов для поглощения углерода из атмосферы. Принцип дополнительности – ключевой для ЛКП. Он означает, что проект должен приносить дополнительное увеличение поглощения углерода по сравнению с тем, что было бы без него.

Киотский протокол и Парижское соглашение заложили основу для развития ЛКП, предложив механизмы для стимулирования снижения выбросов парниковых газов. В мире более 250 лесоклиматических проектов реализуются в различных странах. В России эта область развита слабо, но существуют некоторые локальные инициативы: Тернейлес» (добровольное сохранение лесов арендатором); проект в Алтайском крае (лесоразведение на сельскохозяйственных землях) [13]; проект в Бикинском районе Приморского края (сохранение лесов в бассейне реки Бикин). Российский реестр углеродных единиц последний раз обновлялся в феврале 2014 года, что не позволяет получить актуальную информацию о ЛКП в России.

Таблица 1 содержит список видов ЛКП, реализуемых в России.

Таблица 1. Виды лесоклиматических проектов в России [13]

Table 1. Types of forest-climatic projects in Russia [13]

Перевод из неуправляемых лесов в управляемые, консервация эксплуатационных лесов, перевод их в защитные Transfer from unmanaged forests to managed ones, conservation of operational forests, their transfer to protective ones	Предотвращение рубки/конверсии земель, увеличение периода ротации Preventing logging/conversion of land, increasing the rotation period	Защита леса от пожаров и вредителей Protection of forests from fires and pests
Из отданных частным пользователям под вырубку участков выделяются зоны консервации, в которых полностью останавливаются рубки (кроме санитарных и для ухода) Conservation zones are allocated from sites given to private users for logging, in which logging stops completely (except for sanitary and maintenance)	Увеличивается время между рубками леса, за счет чего на единицу площади леса накапливается больше углерода, чем в базовом сценарии (обычные циклы рубок) The time between logging increases, due to which more carbon is accumulated per unit area of the forest than in the baseline scenario (normal logging cycles)	Нехватка государственных средств на пожаротушение – серьезная проблема в РФ. Для ее решения леса были разделены на управляемые и неуправляемые. Разделение проведено, чтобы государство не несло ответственность за выбросы CO ₂ от лесных пожаров The lack of public funds for firefighting is a serious problem in the Russian Federation. To solve it, the forests were divided into managed and unmanaged. The separation was carried out so that the state would not be responsible for carbon emissions from forest fires
Лесоразведение Afforestation	Лесовосстановление Reforestation	Создание лесных плантаций Создание лесных плантаций
Лес разводится искусственно путем насаждения деревьев в несистемных районах. Деревья высаживаются на участках, на которых ранее не произрастал лес. В частности, создаются лесополосы на сельскохозяйственных землях и вдоль дорог The forest is cultivated artificially by planting trees in wooded areas. Trees are planted in areas where no forest has previously grown. In particular, forest belts are being created on agricultural lands and along roads	Леса выращиваются на территориях, подвергшихся вырубкам, пожарам и т. д. Лесовосстановление применяется для создания новых лесов или улучшения состава древесных пород в существующих Forests are grown in areas that have been cut down, burned, etc. Reforestation is used to create new forests or improve the composition of tree species in existing ones	Лес разводится на участке земель, на которых выращивают древесные и кустарниковые породы для получения биомассы, балансов, ценных конструктивных сортиментов древесины The forest is bred on a plot of land on which tree and shrub species are grown to obtain biomass, balances, and valuable structural wood grades

В соответствии с законопроектом, предусматривающем дополнения в действующий Лесной кодекс, к лесоклиматическим относятся проекты, реализуемые в лесах на землях лесного фонда и землях, не относящихся к землям лесного фонда, направленные на сокращение выбросов и увеличение поглощения парниковых газов. Лесоклиматические проекты могут быть реализованы в защитных лесах, эксплуатационных лесах, резервных лесах, с учетом ограничений, предусмотренных Лесным Кодексом.

Одной из разновидностей лесоклиматических проектов являются проекты по улучшенному лесному хозяйству. Они представляют собой комплекс мероприятий по увеличению поглощения парниковых газов, направленных на создание высокопродуктивных и продуктивных насаждений на землях лесного фонда.

При этом дополнительность в проектной линии по отношению к базовому сценарию достигается за счёт реконструкции низкопродуктивных лесных культур, несоответствующих нормативным требованиям, и создании высокопродуктивных насаждений, отличающихся значительным количеством высокопродуктивных поглотителей углерода, включая инновационные решения по консервации низкосортной и маломерной древесины, остающейся от рубок ухода.

Обобщённые данные, характеризующие потенциал увеличения поглощения/сокращения выбросов ПГ в результате проектной деятельности, направленной на конверсию низкопродуктивных лесов в высокопродуктивные, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Потенциал поглощения /сокращения выбросов ПГ в результате проекта по улучшенному лесному хозяйству, направленному на конверсию низкопродуктивных лесов в высокопродуктивные
Table 2. GHG sequestration/reduction potential from an improved forestry project aimed at converting low-productivity forests to high-productivity forests

К 40 годам By the age of 40	Базовая линия Baseline	Проектный сценарий Project scenario	Дополнительность Complementarity
Накопление C-CO ₂ , в т/га Accumulation of C-CO ₂ , in t/ha	133,29	327,59, в т.ч. 259,29 – за счёт прироста; 68,30 – за счёт использования порубочных остатков incl. 259.29 – due to growth; 68.30 – due to utilisation of felling residues	194,30, в т.ч. 126,0 – за счёт прироста; 68,30 – за счёт использования порубочных остатков incl. 126.0 – due to growth; 68.30 – due to utilisation of felling residues
Среднегодовое поглощение CO ₂ , в т/га Average annual CO ₂ uptake, in t/ha	3,33	8,19, в т.ч. 6,48 – за счёт прироста; 1,71 – за счёт использования порубочных остатков incl. 6.48 – due to growth; 1.71 – due to utilisation of felling residues	4,86, в т.ч. 3,15 – за счёт прироста; 1,71 – за счёт использования порубочных остатков incl. 3.15 – due to growth; 1.71 – due to utilisation of felling residues

Таким образом, если в базовом сценарии к 40 годам при среднем поглощении 3,33 т CO₂/га в год может быть поглощено всего 133,3 т CO₂/га, в то время как в случае реализации проекта по улучшенному лесному хозяйству накопление вырастет на 194,3 т CO₂/га при увеличении на 4,86 т CO₂/га в год ежегодного поглощения и составит 327,6 т CO₂/га при общем ежегодном поглощении 8,19 т CO₂/га в год, которое обеспечивается за счёт прироста древостоя (6,48 т CO₂/га в год) и использования порубочных остатков (1,71 т CO₂/га в год).

Не менее важной является оценка потенциала площадей, на землях лесного фонда пригодных для реализации таких природных решений.

В исследовании [14], основанном на анализе спутниковых данных, были определены территории в России, пригодные для внедрения усовершенствованных методов лесного хозяйства. Исследование охватило площади потенциально продуктивных лесов, при этом учитывались такие факторы, как спрос на низкосортную древесину, транспортная доступность, потенциальная продуктивность лесных участков, а также необходимость сохранения территорий с высокой природоохранной ценностью. Одним из ключевых ограничений для развития интенсивного лесного хозяйства в России оказалась сложная транспортная доступность многих лесных массивов.

Результаты исследования показали, что 17 % продуктивных лесов находятся в особо охраняемых природных зонах и на малонарушенных территориях, которые необходимо исключить из списков возможных участков для интенсивного лесопользования. Таким образом, по состоянию на 2016 год, лишь 16% лесных площадей, что составляет около 109 миллионов гектаров, можно было бы использовать для устойчивого и интенсивного лесного хозяйства, включая земли, подходящие для лесовосстановления.

Наибольшим потенциалом площадей участков (свыше 2 млн. га) для проектов по улучшенному лесному хозяйству обладают субъекты Северо-Западного, Уральского и Сибирского федерального округов: Архангельская область, Пермский край, Свердловская область, Республика Карелия, Красноярский край, Иркутская область, Вологодская область, Ханты-Мансийский автономный округ, Ленинградская область, Республика Коми, Хабаровский край, Тверская область, Кировская область, Псковская область, Томская область, Нижегородская область, Московская область, Новгородская область. Сформированные на проблемных участках лесного фонда низко/среднепродуктивные насаждения могут также стать мишенью при реализации климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству. В этом случае дополнительными мерами могут стать

лесохозяйственные работы по содействию зарастания редин, увеличения густоты и продуктивности ранее существовавших древостоев. Даже при исключении территорий редин и кустарников, произрастающих в

маргинальных условиях, которые включаются в ГЛР в качестве лесопокрываемых площадей, потенциальные площади редин и редколесья составляют 21 260,2 тыс. га (рис. 1, 2).

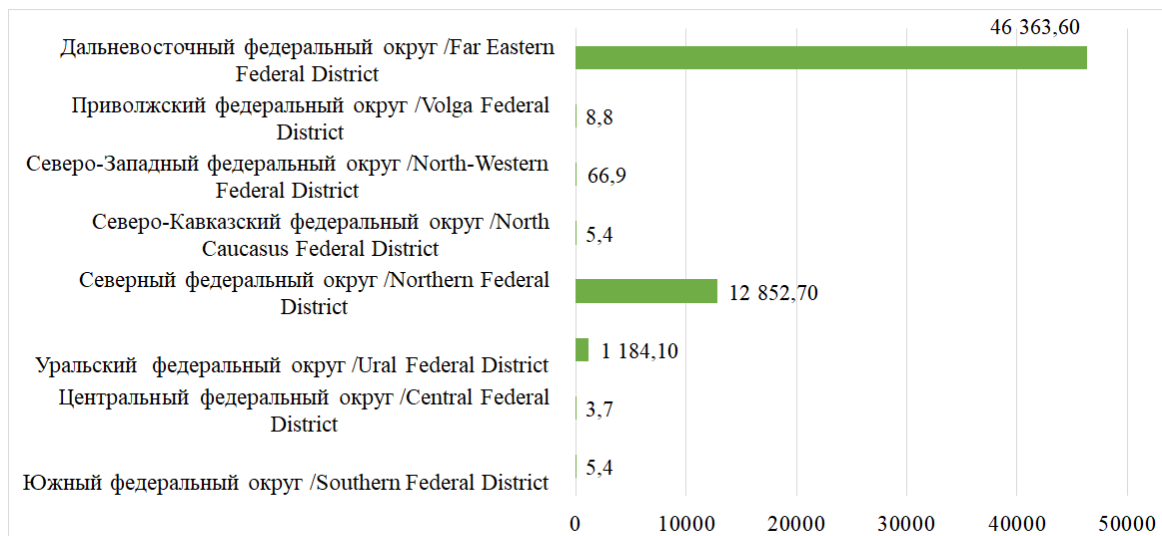


Рисунок 1. Общая площадь естественных редин, тыс.га

Figure 1. Total area of natural sparsely closed stands, thousand ha

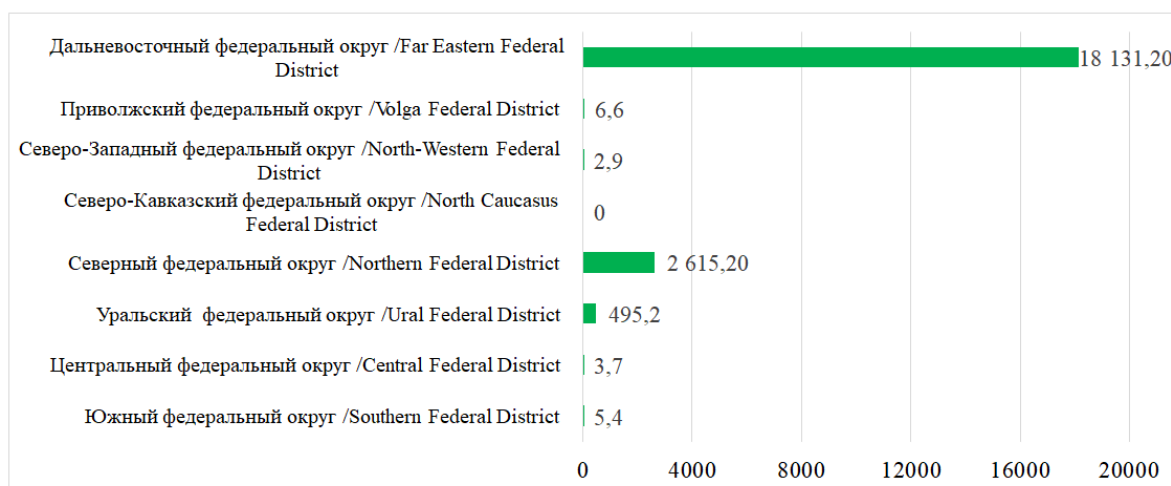


Рисунок 2. Площадь естественных редин, пригодная для поддержания уровня лесистости региона, тыс.га

Figure 2. Area of natural sparsely closed stands suitable for maintaining forest cover in the region, thousand ha

При восстановлении лесов и облесении редколесий рекомендуется отдавать предпочтение естественному возобновлению. Насаждения естественного происхождения более устойчивы к неблагоприятным факторам по сравнению с искусственными посадками. Искусственное лесовосстановление (создание лесных культур) целесообразно только в тех случаях, когда естественное возобновление хозяйственно ценных пород невозможно.

Предварительные расчеты показывают: в число площадей, занятых рединами и редколесьями включали площади, находящиеся в эксплуатационных лесах, с учетом того, что увеличение полноты редколесий за счет дополнения их лесными культурами может способствовать формированию разновозрастных и смешанных насаждений, более устойчивых к изменениям климата.

Эффективность мероприятий по увеличению средней полноты покрытых лесом земель увеличивает

годовую абсорбцию углекислого газа лесным фондом в количестве 0,0674 т CO₂/га/год и как следствие обеспечит потенциал дополнительной абсорбции в размере 1432,9 тыс.т CO₂/год (рис. 3).

Оценка эффективности инвестиционных климатических проектов, направленных на поглощение парниковых газов предполагает ряд аналитических процедур (рис. 4).

Рассматривая мероприятия, которые должны проводиться в лесах, в том числе и целях накопления углерода и сокращения выбросов ПГ, обратим внимание на их дискретность и растянутость во времени. Такая разновременность осуществления затрат на лесохозяйственные мероприятия обязывает, следуя принципам, представленным в Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 №ВК 477) [17] провести их корректировку.

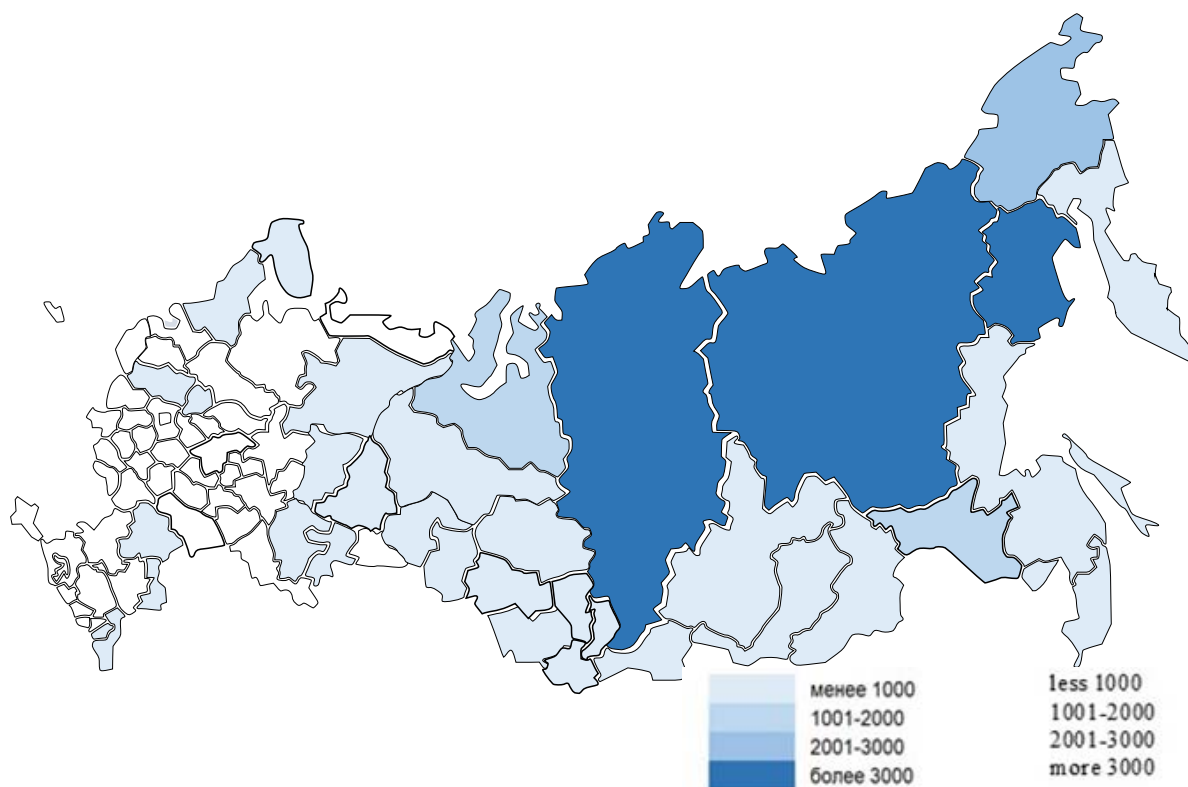


Рисунок 3. Потенциал проектной деятельности (лесоклиматических проектов), направленной на увеличение продуктивности лесов и сохранение их полезных функций (в тыс. га)

Figure 3. Potential of project activities (forest-climatic projects) aimed at increasing forest productivity, preserving their useful functions (in thousand hectares)

Климатические проекты в области лесного хозяйства нацелены на увеличение продуктивности лесных экосистем. Однако низкая приживаемость искусственных лесных культур в разных регионах замедляет процесс лесовосстановления и формирования продуктивных насаждений. Для повышения успешности лесных культур необходимо применять дополнительные меры, направленные на их улучшение: мероприятия, направленные на дополнение лесных культур, создание разновидовых и разновозрастных насаждений максимально приближенных к естественным лесам, в том числе за счет агротехнических и лесоводственных уходов, количество которых зависит от интенсивности роста сорной растительности и дополнительных целей уходов.

Однако, несмотря на растущий у предпринимательских структур интерес к теме лесных климатических проектов, количество успешных практик и природных решений по увеличению депонирования или сокращения выбросов парниковых газов остается сравнительно небольшим. Поворот бизнеса в сторону климатических проектов возможен исключительно на условиях простоты и достоверности расчетов по оценке эффективности инвестирования в природные проектные решения.

Для оценки инвестиционной привлекательности лесных климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству исследуем инвестиционные затраты, связанные с реализацией лесохозяйственных практик выращивания высокопродуктивных насаждений в Центральной лесостепи, объединяющей лесные экосистемы Воронежской, Орловской, Белгородской, Курской и других областей ЦЧР. В этом исследовании

проанализируем инвестиционные затраты на организацию проектов по созданию высокопродуктивных лесных насаждений в Воронежской области, рассчитанные на 1 га. Затраты делятся на два типа: 1) единовременные: затраты на подготовку почвы и посадку древесных растений; 2) текущие: затраты на агротехнические и лесоводственные уходы, осуществляемые в первые и последующие годы выращивания лесных насаждений [18].

Экономические расчеты свидетельствуют, что для организации проектов по улучшенному лесному хозяйству на 1 га необходимы единовременные инвестиции в размере 11 042,48 руб. [11]. К текущим затратам на реализацию проектов по улучшенному лесному хозяйству относятся затраты на проведение агротехнических и лесоводственных уходов, необходимых для сохранения саженцев и создания высокополнотных и продуктивных древостоев (табл. 3).

В соответствии с правилами Лесовосстановления, которые утверждены Минприроды России (приказ №1024) и действуют на землях лесного фонда на всей территории страны, в первые годы после создания лесных насаждений необходимо проведение агротехнических уходов, что в равной мере относится и к проектам, направленным на повышение продуктивности лесов, включая дополнение созданных ранее лесных культур.

В 1–2 год реализации климатического проекта по улучшенному лесному хозяйству на землях лесного фонда проводится комплекс агротехнических уходов за лесными насаждениями, затраты на которые составляют 20 734,45 руб./га.



Рисунок 4. Аналитические процедуры оценки эффективности инвестиционных климатических проектов, направленных на поглощение парниковых газов

Figure 4. Analytical procedures for assessing the efficiency of investment climate projects aimed at greenhouse gas sequestration

Таблица 3. Текущие затраты на реализацию проектов по улучшенному лесному хозяйству, на 1 га

Table 3. Current costs for implementation of improved forestry projects, per 1 ha

Статьи текущих затрат / Current cost items	Сумма, руб. Amount, RUB
1–2 год реализации проекта / 1–2 years of project implementation	
Агротехнические уходы за лесными культурами: подкормки растений, поливы, уничтожение нежелательной травянистой растительности в рядах и междурядьях Agrotechnical maintenance of forest crops: plant feeding, watering, removal of undesirable herbaceous vegetation in rows and between rows	41468,8
3 год реализации проекта / Year 3 of project implementation	
Агротехнический уход за лесными культурами путем рыхления почвы с одновременным уничтожением травянистой растительности в рядах культур и междурядьях Agrotechnical care of forest crops by loosening the soil with simultaneous removal of herbaceous vegetation in crop rows and between rows	11263,13
4–5 год реализации проекта / 4–5 years of project implementation	
Агротехнический уход за лесными культурами путем рыхления почвы с одновременным уничтожением травянистой растительности в междурядьях Agrotechnical care of forest crops by loosening the soil with simultaneous elimination of herbaceous vegetation in between rows	11865,57
6–10, 20 и последующие года реализации проекта/ 6–10, 20 and subsequent years of project implementation	
Лесоводственные уходы (10 год реализации проекта) Silvicultural treatments (Year 10 of project implementation)	20677,57
Текущие затраты на реализацию лесоклиматического проекта Current costs of implementing the forest-climatic project	85275,07
Полные инвестиционные затраты на реализацию лесоклиматического проекта Total investment costs for the implementation of the forest-climatic project	96317,55

В течение следующего периода чередуются агротехнические уходы за лесными культурами (рыхление почвы с одновременным уничтожением травянистой и древесной растительности в рядах культур и междурядьях) с затратами на проведение работ в размере 20 734,45 руб./га

4–5 года проводится междурядная обработка почвы с ежегодными затратами 11 263,13 руб./га.

Начиная с 6 года реализации проекта проводится лесоводственный уход (осветление), затраты при этом составят 41 355,14 руб./га.

За весь период реализации проекта по улучшенному лесному хозяйству текущие затраты составят 96 317,55 руб./га.

Не менее важным в оценках инвестиционной привлекательности лесных климатических проектов является оценка будущих доходов. Доход от инвестиционного проекта по улучшенному лесному хозяйству определяется с учетом стоимости углеродных единиц, выпускаемых на российском углеродном рынке. С учетом определенных выше затрат и цен на углеродные единицы, доход от проекта улучшенного лесного хозяйства за 20 лет составит 126,75 тыс. руб./га. Этот расчет учитывает затраты на реализацию проекта и цены на углеродные единицы. Расчет окупаемости и оценка экономической эффективности проекта по улучшенному лесному хозяйству на землях лесного фонда представлены в таблице 4.

Таблица 4. Показатели эффективности полных инвестиционных затрат проекта по улучшенному лесному хозяйству на землях лесного фонда на 1 га

Table 4. Efficiency indicators of full investment costs of the project on improved forestry on forest fund lands per 1 ha

Наименование Name	Период реализации проекта по улучшенному лесному хозяйству на землях лесного фонда Project implementation period for improved forestry on forest fund lands																				Итого / Total	
	2024 год / year	1 год / year	2 год / year	3 год / year	4 год / year	5 год / year	6 год / year	7 год / year	8 год / year	9 год / year	10 год / year	11 год / year	12 год / year	13 год / year	14 год / year	15 год / year	16 год / year	17 год / year	18 год / year	19 год / year		20 год / year /
Доходы, тыс. руб. Income, RUB thousand	0	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	126,75
Чистый поток денежных средств (ЧПДС), тыс. руб. Net cash flow, RUB thousand	0	-25	-14	-8	3	3	6	6	5	6	-15	6	7	7	7	7	6	7	7	7	-11	18,20
Дисконтиро- ванный ЧПДС (ДЧПДС), тыс. руб. Discounted net cash flow RUB thousand	0	-25	-14	-8	3	3	6	7	6	7	-17	8	8	9	9	9	8	9	10	10	-15	31,99
Дисконтированный срок окупаемости, лет / Discounted payback period, years																						
13,9																						
NPV (чистая текущая стоимость проекта), тыс. руб. / NPV (Net present value of the project), RUB thousand																						
32																						
IRR (внутренняя норма доходности), расчетная на интервал планирования, % (Internal rate of return) calculated for the planning interval,																						
3																						
Норма доходности полных инвестиционных затрат, % / Rate of return on full investment costs, %																						
1028																						

Рассматривая расчетные значения показателей эффективности инвестирования в природные решения, отметим их соответствие установленным критериям. Значение чистой текущей стоимости лесоклиматического проекта положительное, а норма доходности на инвестированный капитал сравнительно высока. Отдельного анализа заслуживает дисконтированный срок окупаемости лесоклиматического проекта по улучшенному лесному хозяйству, составляющий более 13 лет, и незначительно короче, чем жизненный цикл

климатического проекта. В тоже время ориентир на этот показатель не позволяет учесть фактор влияния доходов, полученных в последующие периоды после срока окупаемости, на общую эффективность инвестиций. Именно эти будущие доходы, многократно возрастающие при увеличении продуктивности насаждений, крайне важны для потенциального инвестора. В этой связи необходимо ориентироваться на дополнительный показатель углеродоемкости инвестиционных затрат (табл. 5).

Таблица 5. Эффективность реализации климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству
Table 5. Effectiveness of implementation of climate projects on improved forestry

Локации предпочтительные для реализации климатического проекта Preferred locations for implementation climate project	Ожидаемое поглощение выбросов, т CO ₂ -экв./га в год Expected emission uptake, tonnes CO ₂ eq/ha per year	Ожидаемое поглощение выбросов, т CO ₂ -экв./га Expected absorption of emissions, tonnes CO ₂ eq/ha	Стоимость проекта, тыс. руб./га Project cost, RUB thousand/ha	Сроки реализации климатического проекта Timeframe for implementation of the climate project	Коэффициент углеродоёмкости инвестиционных затрат т CO ₂ -экв./ т.р. на 1 га Carbon intensity coefficient of investment costs t CO ₂ -eq./RUB thousand per 1 ha
ЦФО, ПФО, СФО, ДФО	до 5,0 up to 5,0	75	97	15	0,77
CFD, VFD, SFD, FEFD	до 5,0 up to 5,0	150	111	30	1,35
	до 5,0 up to 5,0	225	127	45	1,77

Для климатических проектов по улучшенному лесному хозяйству минимальный объем инвестиций в расчете на единицу площади составит от 97–111 тыс. р./га, с учетом жизненного цикла проекта. Максимальное значение коэффициента углеродоёмкости инвестиционных затрат т CO₂-экв./тыс.р. на 1 га имеет место при реализации лесного климатического проекта сроком до 45 лет. Проекты со сроком реализации до 15 лет являются низко привлекательными для инвестора, в первую очередь по причине значительных затрат на старте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, потенциал лесоклиматических проектов в России определяется наличием площадей пригодных для их реализации и в равной мере углерод депонирующими возможностями лесных насаждений.

В России, несмотря на значительные площади лесов и имеющийся лесокультурный фонд, возможности реализации лесных климатических проектов ограничены. Наибольшим потенциалом площадей участков (свыше 2 млн. га) для проектов по улучшенному лесному хозяйству обладают субъекты Северо-Западного, Уральского и Сибирского федерального округов, в то время как минимальным потенциалом площадей для улучшенного лесного хозяйства располагают системы лесного хозяйства Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

Создание высокопродуктивных лесов является ключевым направлением в развитии климатоориентированного лесного хозяйства. Этот процесс включает лесохозяйственные практики, направленные на увеличение углеродопоглощающей способности лесов и сохранение накопленного углерода в различных компонентах лесных экосистем, такие как: преобразование низкопродуктивных лесов в высокопродуктивные; дополнение или реконструкция низкополнотных насаждений в подходящих местах; проведение агротехнических и лесоводственных мероприятий, способствующих оздоровлению лесных экосистем в целом.

Реализация мер и лесохозяйственных практик, направленных на решение климатических проблем, требует значительных финансовых ресурсов. Бюджеты

различных уровней не в полной мере могут покрыть эти затраты. Инвестиции частного бизнеса в лесные климатические проекты могут стать альтернативным решением для реализации климатической повестки страны. Для обоснования инвестиционной привлекательности лесоклиматических проектов целесообразно использовать как традиционные показатели эффективности инвестиций, так и специфический коэффициент углеродоемкости инвестиционных затрат, позволяющий расставить приоритеты в инвестировании природных решений. Установлено, что реализация лесоклиматического проекта целесообразна при значении коэффициента углеродоемкости инвестиционных затрат превышающем единицу. Инвестиционно-привлекательными являются лесные климатические проекты по улучшенному лесному хозяйству с периодом реализации свыше 15 лет (коэффициент углеродоёмкости инвестиционных затрат т CO₂-экв./т.р. на 1 га 1,35–1,77). Разработанный методологический подход для оценки инвестиционной привлекательности климатических проектов в лесных экосистемах, основываясь на анализе разницы между совокупным объемом углеродного связывания в лесовосстановительных проектах и их инвестиционными затратами, будет полезен для разработки стратегий и принятия политических решений, направленных на смягчение последствий изменения климата в засушливых степных регионах, включая центральные и южные области России.

Эти экосистемные проекты должны обеспечивать широкие и многогранные выгоды, включая укрепление экосистемных услуг, сохранение и поддержку биоразнообразия, улучшение адаптации к изменениям климата и снижение их негативных последствий. Основопологающим принципом для реализации климатических инициатив в России должно стать соблюдение подхода «не навреди» в отношении местных природных экосистем. Это означает, что проекты должны быть разработаны с учетом их воздействия на окружающую среду, избегая ущерба природным процессам и существующим экосистемам.

Кроме того, для повышения эффективности и устойчивости климатических проектов в долгосрочной перспективе, необходимо установить более жесткие и амбициозные требования. Этого можно достичь за счет

постепенного сокращения кредитного периода, повышения строгости и консервативности базовых линий, а также введения строгих критериев для подтверждения дополнительности проектов. Таким образом, лесоклиматические проекты будут не только способствовать снижению выбросов углерода, но и стимулировать экологически ответственные и устойчивые практики, которые приведут к долгосрочным позитивным изменениям в экосистемах и в обществе в целом.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124020100131-5, FZUR-2024-0001).

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 (№ 124020100131-5, FZUR-2024-0001).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широу А.А., Колпаков А.Ю., Пыжев А.И. Оценка вклада российских лесов в снижение климатических изменений // Экономика региона. 2021. Т. 21. Вып. 4. С. 1096–1109. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>
2. Романовская А.А. Подходы к реализации экосистемных климатических проектов в России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. N 4. С. 463–478. DOI: 10.31857/S2587556623040118
3. Jenkins M., Schaap B. Untapped potential: forest ecosystem services for achieving SDG 15. Washington. 2018. URL: https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2018/05/UNFF13_BkgdStudy_ForestsEcoServices.pdf (accessed 22.06.2024)
4. Kaarakka L., Cornett M., Domke G., Ontl T. A., Dee L. Improved forest management as a natural climate solution: A review // Ecological Solutions and Evidence. 2021. V. 2(3). e12090. <http://doi.org/10.1002/2688-8319.12090>
5. Thom D., Keeton W.S. Disturbance-based silviculture for habitat diversification: Effects on forest structure, dynamics, and carbon storage // Forest Ecology and Management. 2020. V. 469. Article ID: 118132. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118132>
6. Duveneck M.J., Scheller R.M., White M.A., Handler S.D., Ravenscroft C. Climate change effects on northern Great Lake (USA) forests: A case for preserving diversity // Ecosphere. 2014. V. 5(2). p. 23. <https://doi.org/10.1890/ES13-00370.1>
7. Halofsky J.E., Andrews-Key S. A., Edwards J. E., Johnston M.H., Nelson H.W., Peterson D. L., Schmitt K.M., Swanston C.W., Williamson T.B. Adapting Forest management to climate change: The state of science and applications in Canada and the United States // Forest Ecology and Management. 2018. V. 421. P. 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.037>
8. Janowiak M., Connelly W. J., Dante-Wood K., Domke G.M., Giardina C., Kayler Z., Marcinkowski K., Ontl T., Rodriguez-Franco C., Swanston C., Woodall C.W., Buford M. Considering forest and grassland carbon in land management (General Technical Report WO-95). Washington, DC: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2017.
9. Nave L.E., DeLyser K., Butler-Leopold P.R., Sprague E., Daley J., Swanston C.W. Effects of land use and forest management on soil carbon in the ecoregions of Maryland and adjacent Eastern

United States // Forest Ecology and Management. 2019. V. 448. P. 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.072>

10. Панявина Е.А. Создание лесных углеродных (карбонных) полигонов: экономическая составляющая // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2021. Т. 9. N 1 (52). С. 26–34.
11. Morkovina S.S., Sheshnitsan S.S., Panyavina E. A [et al.] Opportunities and Prospects for the Implementation of Reforestation Climate Projects in the Forest Steppe: An Economic Assessment // Forests. 2023. V. 14. N 8. Article ID: 1611. DOI: 10.3390/f14081611
12. Крейденко Т.Ф. Лесоклиматические проекты как средство декарбонизации российской экономики // Лесной комплекс. 2021. URL: <https://forestcomplex.ru/forestry/lesoklimaticheskie-proekty-kak-sredstvo-dekarbonizacii-rossijskoj-ekonomiki/> (дата обращения: 11.06.2024)
13. Коротков В.Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Т. 7. N 4. С. 39–46.
14. Лопатин Е. Ранжирование участков лесов России по возможности внедрения методов интенсивного устойчивого лесного хозяйства // Устойчивое Лесопользование. 2017. Т. 4(52). С. 2–7.
15. Морковина С.С., Иванова А.В. Метод оценки инвестиционной привлекательности климатических проектов на базе расчета углеродоемкости инвестиционных затрат // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2022. N 2(78). С. 210–217. DOI: 10.54220/v.r.sue.1991-0533.2022.52.75.029
16. Лобовиков М.А., Яковенко Н.В., Прядилина Н.К. Углеродные рынки и возможности монетизации продукции лесоклиматических проектов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2023. Т. 11. N 2(61). С. 69–87. DOI: 10.34220/2308-8877-2023-11-2-69-87
17. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция, исправленная и дополненная) (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21.06.1999 N BK 477). URL: <https://base.garant.ru/2320803/> (дата обращения: 26.06.2024)
18. Кузнецов Д.К. Методический подход к оценке затрат при реализации климатических проектов по лесовосстановлению // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2023. Т. 11. N 3(62). С. 122–138. DOI 10.34220/2308-8877-2023-11-3-122-138

REFERENCES

1. Vaganov E.A., Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu., Pyzhev A.I. Assessment of the contribution of Russian forests to reducing climate change. *The economy of the region*, 2021, vol. 21, iss.4, pp. 1096–1109. (In Russian) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>
2. Romanovskaya A.A. Approaches to the implementation of ecosystem climate projects in Russia. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 463–478. (In Russian). DOI 10.31857/S2587556623040118
3. Jenkins M., Schaap B. Untapped potential: forest ecosystem services for achieving SDG 15. Washington. 2018. Available at: https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2018/05/UNFF13_BkgdStudy_ForestsEcoServices.pdf (accessed 22.06.2024)
4. Kaarakka L., Cornett M., Domke G., Ontl T. A., Dee L. Improved forest management as a natural climate solution: A review. *Ecological Solutions and Evidence*, 2021, vol. 2(3), e12090. <http://doi.org/10.1002/2688-8319.12090>
5. Thom D., Keeton W.S. Disturbance-based silviculture for habitat diversification: Effects on forest structure, dynamics, and

- carbon storage. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 469, article id: 118132. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118132>
6. Duveneck M.J., Scheller R.M., White M.A., Handler S.D., Ravenscroft C. Climate change effects on northern Great Lake (USA) forests: A case for preserving diversity. *Ecosphere*, 2014, vol. 5(2), p.23. <https://doi.org/10.1890/ES13-00370.1>
 7. Halofsky J.E., Andrews-Key S. A., Edwards J. E., Johnston M.H., Nelson H.W., Peterson D. L., Schmitt K.M., Swanston C.W., Williamson T.B. Adapting forest management to climate change: The state of science and applications in Canada and the United States. *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 421, pp. 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.037>
 8. Janowiak M., Connelly W. J., Dante-Wood K., Domke G.M., Giardina C., Kayler Z., Marcinkowski K., Ontl T., Rodriguez-Franco C., Swanston C., Woodall C.W., Buford M. Considering forest and grassland carbon in land management (General Technical Report WO-95). Washington, DC: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2017.
 9. Nave L.E., DeLyser K., Butler-Leopold P.R., Sprague E., Daley J., Swanston C.W. Effects of land use and forest management on soil carbon in the ecoregions of Maryland and adjacent Eastern United States. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 448, pp. 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.072>
 10. Panyavina E.A. Creation of forest carbon (carbon) polygons: an economic component. In: *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. 2021, vol. 9, no. 1(52), pp. 26–34. (In Russian)
 11. Morkovina S.S., Sheshnitsan S.S., Panyavina E.A. [et al.] Opportunities and Prospects for the Implementation of Reforestation Climate Projects in the Forest Steppe: An Economic Assessment. *Forests*, 2023, vol. 14, no. 8, article id: 1611. DOI: 10.3390/f14081611
 12. Kreydenko T.F. [Forest-Climatic Projects as a Tool of Decarbonization of the Russian Economy]. *Lesnoy kompleks* [Forest Complex]. 2021. (In Russian). Available at: <https://forestcomplex.ru/forestry/lesoklimaticheskie-proekty-kak-sredstvo-dekarbonizacii-rossijskoj-ekonomiki/> (accessed 11.06.2024)
 13. Korotkov V.N. Forest climate projects in Russia: limitations and opportunities. *Russian Journal of Ecosystem Ecology* [Journal of Ecosystem Ecology]. 2022, vol. 7, no. 4, pp. 39–46. (In Russian)
 14. Lopatin E. Ranking of Russian forest sites according to the possibility of introducing methods of intensive sustainable forestry. *Sustainable Forest management*. 2017, vol. 4(52), pp. 2–7. (In Russian)
 15. Morkovina S.S., Ivanova A.V. A method for assessing the investment attractiveness of climate projects based on calculating the carbon intensity of investment costs. *Bulletin of the Rostov State University of Economics*, 2022, no. 2(78), pp. 210–217. (In Russian). DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.52.75.029
 16. Lobovikov M.A., Yakovenko N.V., Pryadilina N.K. Carbon markets and opportunities for monetization of products of forest-climatic projects. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2023, vol. 11, no. 2(61), pp. 69–87. (In Russian). DOI: 10.34220/2308-8877-2023-11-2-69-87
 17. Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects (Second edition, corrected and supplemented) (approved by the Ministry of Economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation and State building of the Russian Federation dated 06/21/1999 N VK 477) (In Russian). Available at: <https://base.garant.ru/2320803/> (accessed 22.06.2024)
 18. Kuznetsov D.K. Methodological approach to cost estimation in the implementation of climatic reforestation projects. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2023, vol. 1(11), no. 3(62), pp. 122–138. (In Russian). DOI: 10.34220/2308-8877-2023-11-3-122-138

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана С. Морковина: разработка концепции и дизайн исследования, написание первой версии статьи.
Сергей С. Шешницан: проведение расчетов по оценке эффективности инвестиционных проектов.
Анна В. Иванова: согласие нести ответственность за все аспекты работы и гарантировать соответствующее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью всех частей работы.
Наталия В. Яковенко: одобрение окончательной версии статьи перед ее подачей для публикации, формулировка результатов исследования и заключительных выводов.
Наталья К. Прядилина: подготовка графического и картографического материалов. 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

Svetlana S. Morkovina: development of the concept and design of the research, writing the first version of the article.
Sergey S. Sheshnitsan: making calculations to evaluate the effectiveness of investment projects.
Anna V. Ivanova: agreement to be responsible for all aspects of the work and to guarantee appropriate consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity of all parts of the work.
Nataliya V. Yakovenko: approval of the final version of the article before its submission for publication, formulation of research results and final conclusions.
Natalia K. Pryadilina: preparation of graphic and cartographic materials. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other unethical issues.

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>
Сергей С. Шешницан / Sergey S. Sheshnitsan <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>
Анна В. Иванова / Anna V. Ivanova <http://orcid.org/0000-0002-3972-4378>
Наталия В. Яковенко / Nataliya V. Yakovenko <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>
Наталья К. Прядилина / Natalia K. Pryadilina <https://orcid.org/-0001-8136-3660>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.64

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-19



Оценка природно-антропогенного воздействия на эко- и геосистемы зоны водохранилища Ирганайской ГЭС по данным дистанционного зондирования

Раисат Т. Раджабова, Лейла Ш. Ахмедова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Раисат Т. Раджабова, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Институт экологии и устойчивого развития, ФГБОУ «Дагестанский государственный университет»; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21. Тел. +79887846760

Email raisatr@yandex.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>**Формат цитирования**

Раджабова Р.Т., Ахмедова Л.Ш. Оценка природно-антропогенного воздействия на эко- и геосистемы зоны водохранилища Ирганайской ГЭС по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 193-203. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-19

Получена 6 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 24 июня 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

Настоящее исследование посвящено изучению изменений в природных объектах, вызванных воздействием различных факторов, с использованием данных аэро- и космических съемок. Этот анализ служит важным направлением в исследованиях дистанционного зондирования и географии. Современные программные комплексы для работы с данными дистанционного зондирования существенно усовершенствованы, что позволяет ученым проводить более углубленный анализ и синтезировать данные за длительные временные отрезки.

При проведении таких исследований используются не только актуальные изображения, но и архивные картографические материалы, где важную роль играют временная датировка и точность отображения географических объектов. В данном контексте были проанализированы снимки TM/Landsat, сделанные в промежуток времени с 2006 по 2014 год.

Значительные колебания метеорологических условий, например, изменяющиеся уровни влажности, также могут быть проанализированы с использованием данных дистанционного зондирования. Исследование показывает, что водохранилища, охватывающие общую площадь от 60 до 70 квадратных километров и объем до 250 миллионов кубических метров, увеличивают уровень абсолютной влажности на 10–15 %. В регионах с высокими температурами этот эффект становится ещё более заметным.

Прогнозы свидетельствуют, что такие изменения микроклимата оказывают значительное воздействие на аграрные системы, в частности в Ирганайской долине, а также в Майданском, Унцукульском и Гимринском селах. Это особенно заметно в изменениях количества осадков во время вегетационного периода.

Ключевые слова

Микроклимат, природно-антропогенные системы, космические снимки, ГИС-технологии, Ирганайское водохранилище.

Assessment of natural and anthropogenic impacts of the Irganay Hydroelectric Power Station reservoir zone on eco- and geosystems using remote sensing data, Dagestan, Russia

Raisat T. Radzhabova and Leila Sh. Akhmedova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Raisat T. Radzhabova, PhD in Biology, Associate Professor, Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79887846760

Email raisatr@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

How to cite this article

Radzhabova R.T., Akhmedova L.Sh. Assessment of natural and anthropogenic impacts of the Irganay Hydroelectric Power Station reservoir zone on eco- and geosystems using remote sensing data, Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):193-203. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-19

Received 6 March 2024

Revised 24 June 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

Aim. The research and mapping of natural object dynamics using aerial and satellite imagery is one of the long-established and actively developing fields of remote sensing and geographic research. The current phase is characterised by the wide availability of remote sensing data processing software, which offers almost unlimited possibilities for transforming and integrating datasets from different periods.

Material and Methods. For the effective use of archival maps in studying territorial dynamics, two interconnected factors are critical: the date of the map's creation and the positional accuracy of the mapped objects. The materials used in this study were TM/Landsat satellite images from the periods 2002–2017 and 2006–2014.

Results. Reservoirs with a surface area of up to 60–70 km² and a volume of up to 250 million m³ increase absolute air humidity by 10–15 %. In areas with a hot climate, the impact of a reservoir on air humidity is even more pronounced.

Conclusions. The anticipated significant changes in the microclimate are expected to affect the structure of agricultural production in the Irganay valley and in the villages of Maidanskoye, Untsukul, and Gimry, particularly through changes in precipitation distribution during the growing season.

Key Words

Microclimate, natural-anthropogenic systems, satellite images, GIS technologies, Irganai reservoir.

ВВЕДЕНИЕ

В современную эпоху научного и технологического прогресса геоинформационные системы (ГИС) становятся важным элементом в различных исследованиях, связанных с науками о Земле. Эти системы возникают на стыке нескольких дисциплин: картография, геоинформатика и дистанционное зондирование, образуя мощный научный инструмент [1]. Космическая съемка занимает особенно важное место в исследованиях Земли и солнечной системы. Со времён 1960-х годов она является одним из ключевых методов для получения данных о состоянии нашей планеты и её окружения. Средства, используемые для космической съемки, включают от искусственных спутников Земли до межпланетных станций. Наряду с ними задействуются пилотируемые космические корабли на околоземных орбитах, орбитальные станции длительного базирования и другие технические разработки. Эти методы и инструменты позволяют с высокой точностью отслеживать различное антропогенное воздействие на природные комплексы, что находит отражение в данных с космических и аэрофотоснимков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс исследования и картографирования изменений природных объектов на основе данных аэрокосмических съемок является одной из наиболее быстро развивающихся сфер в области дистанционного зондирования и географических исследований. В наши дни особенно актуальным становится широкий доступ к программным комплексам для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Эти программные решения позволяют глубже анализировать, преобразовывать и объединять данные, собранные в разные временные периоды, что значительно расширяет границы понимания и интерпретации пространственных и временных изменений в природных объектах.

Наблюдается устойчивое увеличение объёма и улучшение качества данных, получаемых благодаря космическим наблюдениям, что значительно расширяет возможности проведения аналитических работ в области сравнительного исследования. Одной из важнейших вех в этой области стало открытие свободного доступа к архиву снимков, выполненных космическими аппаратами Landsat, начиная с 2008 года. Эти материалы, охватывающие период более чем в 35 лет, предоставляют уникальные возможности для мониторинга и анализа изменений на Земле, вызванных как человеческой деятельностью, так и природными факторами. Растущий архив изображений с такой обширной историей, несомненно, представляет собой бесценный ресурс для географических и экологических исследований.

Разработка технологических основ исследования земной поверхности с применением космических и аэрофотоснимков остаётся одним из ключевых направлений научных поисков. Геополитические анализы в сфере гуманитарных и научных исследований всё чаще основываются на данных, полученных из космоса, включая моделирование природно-человеческих систем и анализ динамики изменений ландшафтов. Введение геоинформационных систем способствовало интеграции картографических и цифровых дистанционно зондированных данных, обеспечивая более эффективное решение экологических, урбанистических и социальных вопросов.

Принятие методологических решений в области анализа и использования геопространственных данных

включает в себя оценку точности картографических изображений в зависимости от времени их создания и детальности плановых позиций. В данном контексте ключевым аспектом является не только создание карт, но и поддержание их актуальности и точности на протяжении времени, что непосредственно влияет на качество проводимых исследований и разработок в этой сфере [2].

Объектом исследования данной работы является Ирганайское водохранилище с площадью 18 км², которое образовалось в результате строительства плотины на реке Аварское Койсу.

Водохранилище расположено на территории муниципального образования «Унцуккульский район», который по площади собственных земель относится к малоземельным районам Дагестана, так как земель в районе в 2,2 раза меньше, чем в среднем по Республике Дагестан (рис. 1) [3].

Общая площадь земельного фонда Унцуккульского района составляет 74,9 тыс. га, но это учитывая площадь земель, которые расположены и на территории других районов.

Район потерял в результате строительства Ирганайского водохранилища огромную площадь земель – 2284 га, что для малоземельного района является почти катастрофическим, так как район садоводческий, а под воду ушли 406 га садов. Наибольшие потери земель наблюдаются в муниципальных образованиях Ирганайский, Унцуккульский, Араканский, Зиранинский, Майданский.

Более половины населения Унцуккульского района занимается сельским хозяйством, это здесь ключевой сектор экономики. Садоводство является традиционной отраслью сельского хозяйства в районе. По земельному балансу здесь имеется 610 га многолетних насаждений, в том числе 488 га – косточковые культуры и 122 га – семечковые. За хозяйствами общественного сектора числится – 51 га, КФХ – 95 га, ЛПХ – 464 га. В недавнем прошлом продукция садоводства обеспечивало свыше 60–65 % валовой продукции сельского хозяйства района. В настоящее время продукция садоводства снизилась и не превышает 35–40 %. Однако в силу совокупности субъективных и объективных причин, садоводство оказалось в наиболее тяжелом положении среди других отраслей района особенно после строительства Ирганайской ГЭС, где под зону водохранилища попали и ушли под воду 406,7 га плодоносящих садов.

Население столетиями выращивает на данной территории фрукты, в основном абрикосы, адаптируя новые сорта к местным условиям и пытаясь сохранить старые. Культура абрикоса широко распространена географически, но ее промышленное производство ограничено районами, где имеются необходимые экологические условия. В нашей стране этим условиям отвечает Внутригорный Дагестан и особенно Унцуккульский район, где имеются большие природные и человеческие ресурсы для расширения производства высококачественных плодов абрикоса.

Уменьшение земельного фонда сильно сказывается на экономике близлежащих населенных пунктов, так как плотность населения на данной территории с каждым годом увеличивается, а садоводство, которое являлось основным источником дохода у населения, понесло ощутимые потери.

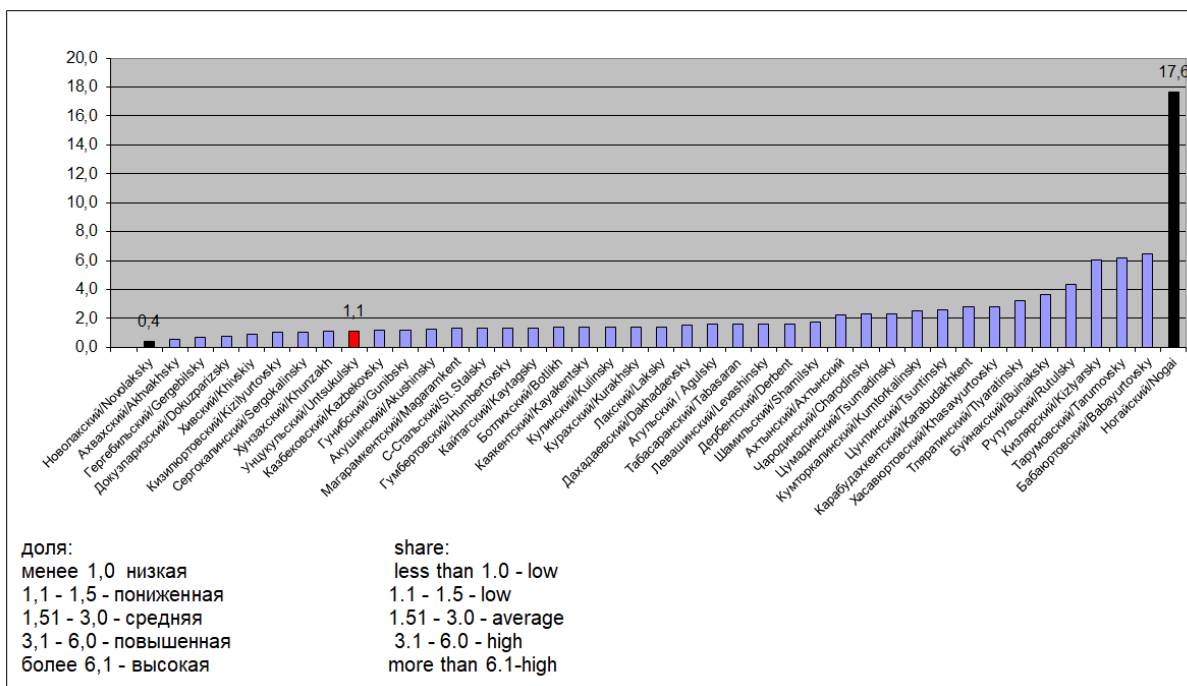


Рисунок 1. Доля земель Унцукуйского района в общей площади земельного фонда Республики Дагестан
Figure 1. The share of lands in the Untsukul'sky District within the total area of the land fund of the Republic of Dagestan

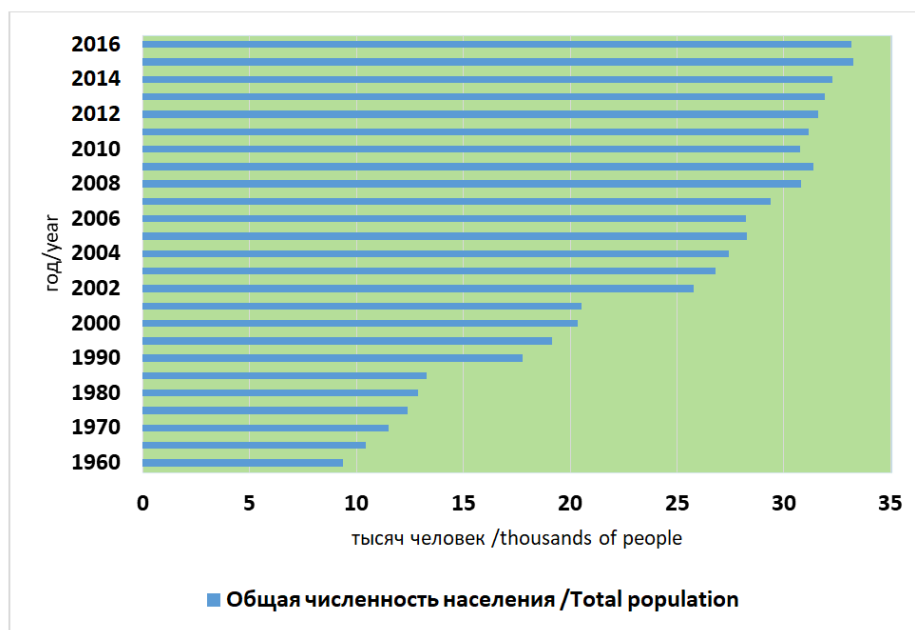


Рисунок 2. Общая численность населения м.о. «Унцукуйский район» с 1960 по 2016 гг.
Figure 2. Total population of the Untsukul'sky District from 1960 to 2016

Общая численность Унцукуйского района за период с 1960 по 2017 гг. увеличилась в 3,5 раз. Оценка уровня физической плотности населения исследуемого района соответствует среднему значению с 1965 по 1990 гг. и выше среднего с 1991 по 2016 гг.

В 2017–2018 годах профессорско-преподавательский состав Института экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета совместно со студентами организовали научную экспедицию в зону водохранилища Ирганайской ГЭС, целью которой было выявление антропогенного воздействия на эко- и геосистемы исследуемой территории. Была проведена огромная работа во всех населенных пунктах Унцукуйского района, исследовано качество воды, почвы, проанализировано качество

здоровья населения и уровень образования. Результатом экспедиции стала монография «Эколого-экономический потенциал и устойчивое развитие Унцукуйского района» [4], где авторы (в том числе Раджабова Р.Т. и Ахмедова Л.Ш.), внесли свой посильный вклад в разработку рекомендаций по нивелированию отрицательного воздействия на зону затопления и близлежащие населенные пункты.

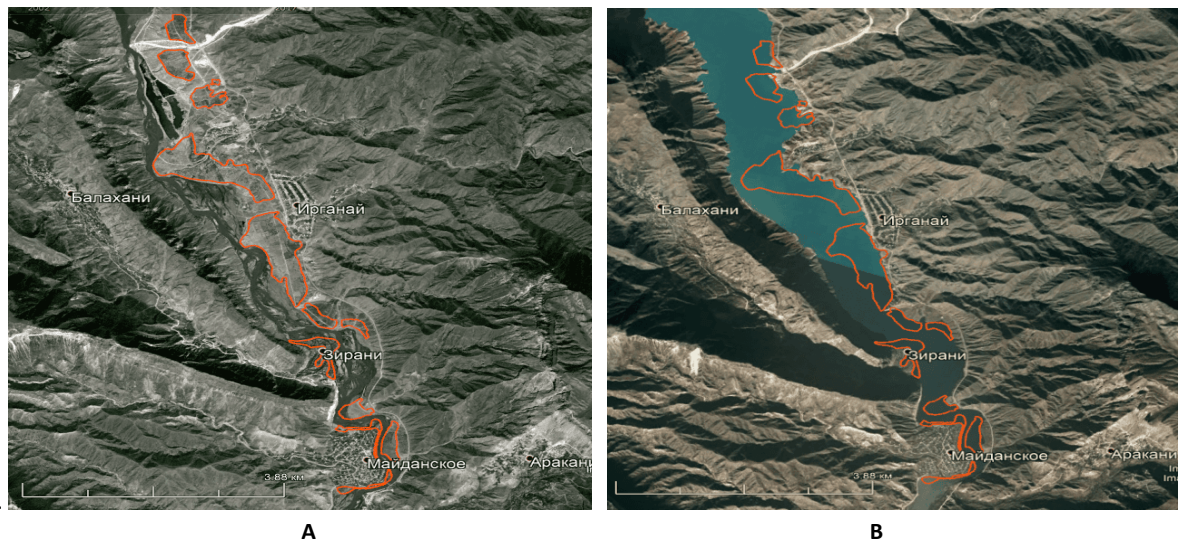
В зоне затопления Ирганайского водохранилища был проведен мониторинг также специалистами Горного Ботанического сада ДФИЦ РАН под руководством директора, д.б.н. Асадулаева З.М. с целью выявления сортов плодовых и дикорастущих культур, попадающих под воду и составления их каталога.

Для исследования любой территории большую роль стали играть не только экспедиционные исследования, в результате которых накапливается большой массив данных, но и использование дистанционных методов, в том числе аэрокосмических, которые успешно развиваются начиная с семидесятых годов. Сравнение разновременных космических снимков дает возможность в течение большого времени получать объективные данные по изучаемой области.

В исследовательской работе использовались космические изображения в высоком простран-

ственном разрешении, доступные через платформу «Google Earth Pro». Анализ выполнялся на основе двух мультиспектральных изображений с метром разрешения на пиксель. Первый снимок был сделан 2 июля 2006 года спутником QuickBird, а второй – 12 октября 2014 года с помощью спутника WorldView-2. Оба изображения представлены в естественных цветах, как показано на рисунках 3А и 3В.

Для научного анализа также использовались космические снимки TM/Landsat, охватывающие весь период с 2006 по 2014 годы.



А

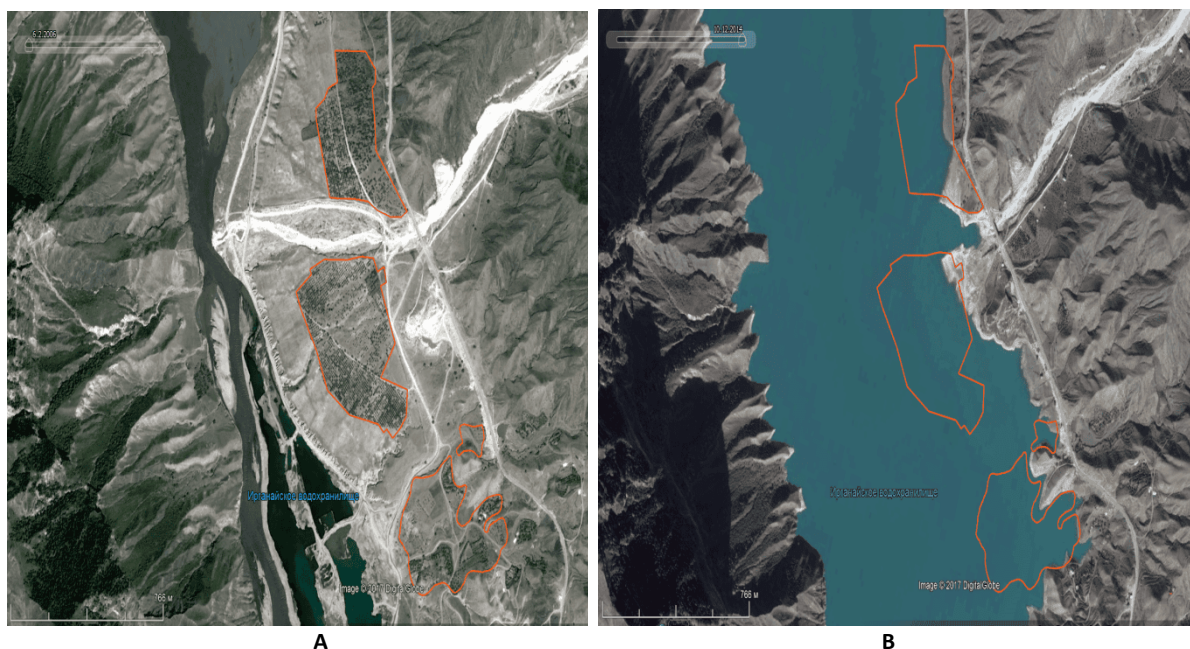
В

Рисунок 3. Многозональный космический снимок: А – 2006 года (спутник QuickBird) (сервис Google Earth Pro); В – 2014 г. (WorldView-2) (сервис Google Earth Pro)

Figure 3. Multispectral space image: А – 2006 (QuickBird satellite) (Google Service Earth Pro); В – 2014 (WorldView-2) (Google Service Earth Pro)

Проведенное компьютерное и визуальное дешифрирование временных рядов данных [2] показало, что площадь затопленных садовых территорий составила 406,7 гектара. Исследование продемонстрировало

эффективность дистанционных методов мониторинга для определения и анализа подтопленных земель на основе космических данных (рис. 4А и 4В).



А

В

Рисунок 4. Многозональный космический снимок: А – 2006 года (спутник QuickBird) (сервис Google Earth Pro); В – 2014 г. (WorldView-2) (сервис Google Earth Pro)

Figure 4. Multispectral space image: А – 2006 (QuickBird satellite) (Google Service Earth Pro); В – 2014 (WorldView-2) (Google Service Earth Pro)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интерпретация космических изображений акватории Ирганайского водохранилища с последующим сопоставлением снимков разных времён позволила точно определить границы садовых участков, исключённых из сельскохозяйственного оборота из-за подтопления. Этот процесс подробно показан на серии карт рисунков 3, 4, 5 и 6.

На территориях, попавших под воду, необходимо было провести природоохранные

мероприятия. Это включало демонтаж, бережное сохранение и дальнейшее продуктивное применение плодородного почвенного слоя (ППС) с зон, предназначенных для затопления в процессе создания водохранилища, а также тех участков, которые отводились под строительство основных и вспомогательных сооружений гидроэнергетического комплекса [5]. Однако, данные экологические действия не были осуществлены (см. рис. 5А, В).



Рисунок 5. Многозональный космический снимок: А – 2006 года (спутник QuickBird) (сервис Google Earth Pro); В – 2014 г. (WorldView-2) (сервис Google Earth Pro)

Figure 5. Multispectral space image: А – 2006 (QuickBird satellite) (Google Service Earth Pro); В – 2014 (WorldView-2) (Google Service Earth Pro)

Изъятие земельных участков, связанное со строительством любого нового сооружения, выступает как один из ключевых неблагоприятных воздействий на компоненты окружающей среды. Ирганайский гидроузел, включающий в себя не только основное водохранилище, но и различные вспомогательные и

структурные элементы, оказывает серьёзное отрицательное воздействие на экологическую обстановку в этом регионе. Этот факт делает негативные последствия для природы значительно более обширными, чем предполагалось на стадии проектирования [5].

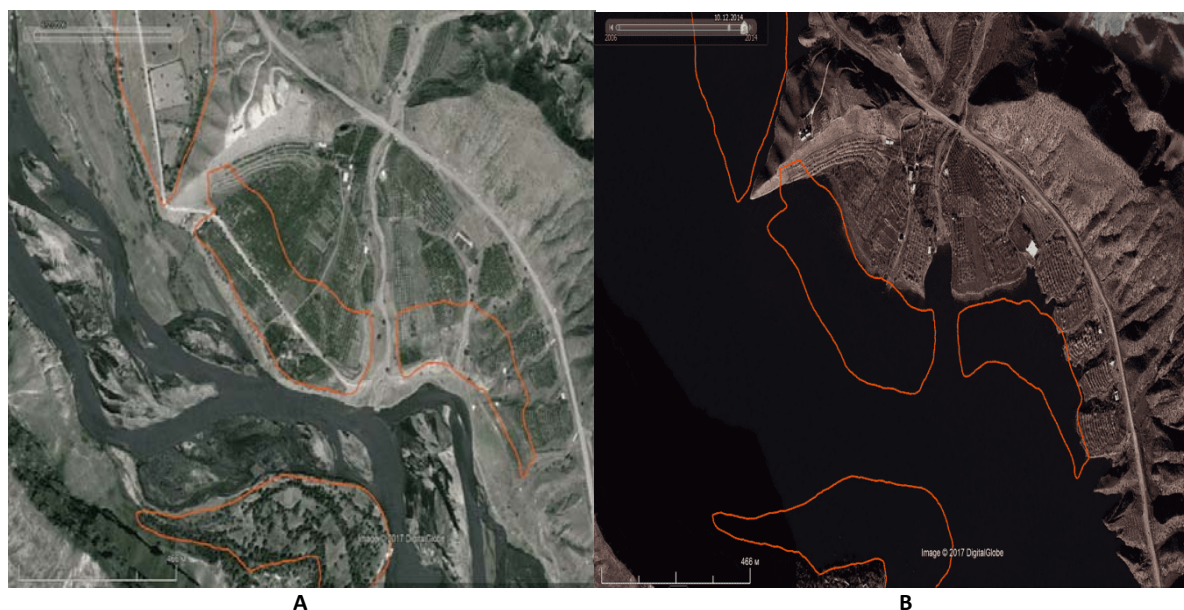


Рисунок 6. Многозональный космический снимок: А – 2006 года (спутник QuickBird) (сервис Google Earth Pro); В – 2014 г. (WorldView-2) (сервис Google Earth Pro)

Figure 6. Multispectral space image: А – 2006 (QuickBird satellite) (Google Service Earth Pro); В – 2014 (WorldView-2) (Google Service Earth Pro)

Предусмотренная закладка новых садов не была произведена, хотя это было одним из основных требований в перечне компенсационных мероприятий.

Дагестан характеризуется четко выраженной вертикальной поясностью и разнообразными климатическими условиями, где в миниатюре представлены почти все известные почвы от лугово-болотных на приморской низменности до примитивных в высокогорье. Все это способствовало на протяжении тысячелетий под воздействием естественного и искусственного отбора формированию генетического фенотипического разнообразия различных пород плодовых и декоративных растений. Внутригорный Дагестан представляет собой орографически замкнутую область со сложным рельефом и неоднородным климатом [6].

Дикорастущие плодово-ягодные растения являются в большинстве родоначальными формами их культурных сортов. Поэтому выявление, сбор и изучение генетического фонда дикорастущих и стародавних сортов плодовых народной селекции имеет большое научно-практическое значение [7]. Важно также не только собрать разнообразие плодово-ягодных растений, но и создать коллекцию всех богатств генетического фонда, которая веками создавала природа и народ в различных эколого-географических условиях, тем самым уберечь их от

уничтожения. Затоплением значительных территорий со стародавними садами, нависла угроза потери части генетического фонда местных ценных пород плодовых культур.

Так у абрикоса и персика (основных культур Внутреннегорного Дагестана) обнаружены сверхранние, средне и позднезрелые и вместе с ранее выявленными и известными сортами можно составить конвейер бесперебойного снабжения консервных заводов этой ценной продукцией начиная с 20 мая до октября и решить вопрос пиковых нагрузок перерабатывающих предприятий, что имеет большое практическое значение в повышении экономической эффективности садоводства Внутреннегорного Дагестана.

Можно полагать, что такое разнообразие форм и сортов плодовых пород является результатом мутационных и гибридизационных процессов в природе, естественного отбора и проявления адаптации, которое продолжается и в настоящее время.

В ходе мониторинга специалистами Горного Ботанического сада ДФИЦ РАН обнаружены (с учетом ранее известных сортов) 152 ранее не описанных или же описанных, но деревья, которых требует охраны [7] и исследованы все сады хозяйств, приусадебные участки, труднодоступные хутора и естественные заросли. Перечень приведен ниже в таблице 1.

Таблица 1. Список местных сортов (местные названия), спасенных из зоны затопления Ирганайского водохранилища [7]

Table 1. List of local varieties (local names) rescued from the flood zone of the Irganai reservoir [7]

Абрикос Apricot	Персик Peach	Виноград Grape	Яблоня Apple	Груша Pear
Чанхил курак Chankhil Kurak	Исхак Isaac	Герлераб малахлусен From the many angels	Паки барлараб эч Cancer red	Хъахлаб гени White Genius
Гъзикил курак Gazikil kurak	Августовский Augustowski	Бахынаб Male	Катил Бетлер Killer Head	Паки барлараб гени Red Heart Genius
Августовский Augustowski	Чвалта белый Pocket white	Хъахлаб кларцин Even the white	Мусал эч Musal et	Охцер гени Ohcer genius
Сентябрьский September	Чвалта желтый Pocket yellow	Кокан цибил Cocan cibil	Жибгобиж Jibgobij	Падишах Padishah
Зубейда Zubeida	Солдатасул микбир Soldier's Eight		Ханзал эч Hanzal et	Ханапил гени Genius of Hanapil
Сянец Хонобаха Sjanec Honobaha	Без названия (П-1) Untitled (P-1)		Шамиль Shamil	
Гъзикил бургулн кьвагI Gazikil drill explosion				
Цахлияб курак Single chicken				
Без названия (А-3) Untitled (A-3)				
Без названия (А-4) Untitled (A-4)				

Территория Ирганайского водохранилища, как и многие аналогичные объекты, сталкивается с несовместимостью между давно устоявшимися водными режимами рек и новой геоморфологической структурой прилегающих участков. Ирганайская ГЭС изменила первоначальный рельеф речной долины, заполнив её большими объёмами воды, что привело к изменениям в климатических и геологических условиях региона. Эти

трансформации могут привести к изменению микроклимата, что может оказывать значительное влияние на жизнь местных жителей и условия ведения аграрной деятельности, формировавшиеся веками.

Воздействие водохранилищ на микроклимат региона их расположения весьма значительное и разнообразное. Одним из наиболее заметных эффектов появления таких крупных водных объектов является

существенное повышение как абсолютной, так и относительной влажности воздуха в прилегающих районах. Исследования показывают, что водоемы с площадью поверхности более 60–70 км² и объемом воды до 250 млн м³ могут привести к увеличению абсолютной влажности на 10–15 %. В условиях жаркого климата этот эффект усиливается, вызывая большие изменения местного микроклимата, что, в свою очередь, сказывается на агрокультурном производстве. Например, возможно, что такая модификация микроклимата изменит режим осадков в период вегетации в таких зонах, как Ирганайская долина и селах Майданское, Унцукуль и Гимры [5].

Отдельные исследования [8], такие как анализ температурных показателей, демонстрируют, что вблизи водохранилищ происходит снижение среднемесячной температуры воздуха на 0,3–1,5 °С весной (апрель–май) и заметное повышение на 0,6–2,5 °С осенью (август–ноябрь). Также наблюдается изменение характера облачности над акваториями, что указывает на комплексное влияние водоемов на атмосферные процессы. Образование водохранилищ приводит к появлению множества новых климатических особенностей, не свойственных ранее данным регионам. Эти метеорологические изменения представляют значительные вызовы для местного хозяйства, особенно для сельского и лесного секторов, так как адаптация к новым условиям требует пересмотра подходов к управлению и технологии.

Процессы изменения климата на местном уровне происходят на фоне более масштабных глобальных климатических сдвигов. Эти изменения могут, как усиливать, так и сглаживать воздействия, создаваемые местными факторами, такими как функционирование крупных водохранилищ. Взаимодействие антропогенных и природных факторов может либо суммироваться, либо компенсировать друг друга, что усложняет прямое прогнозирование климатических условий на определенных территориях. Глобальные изменения климата, вызывая обратные связи, корректируют параметры теплового баланса атмосферы и гидросферы. Эти изменения следует учитывать при разработке прогнозных моделей климатических параметров на региональном уровне.

Для детального анализа возможных изменений микроклимата в районе Ирганайского водохранилища требуется систематическое проведение гидрометеорологических исследований. Необходимо создать сеть метеорологических станций на ключевых пунктах в зоне влияния ГЭС, а также оснастить их соответствующими измерительными приборами. Исследования должны включать мониторинг температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, температуры поверхности водоёма. Также важны визуальные наблюдения за облачностью, количество осадков, наличие туманов и явления гололёда.

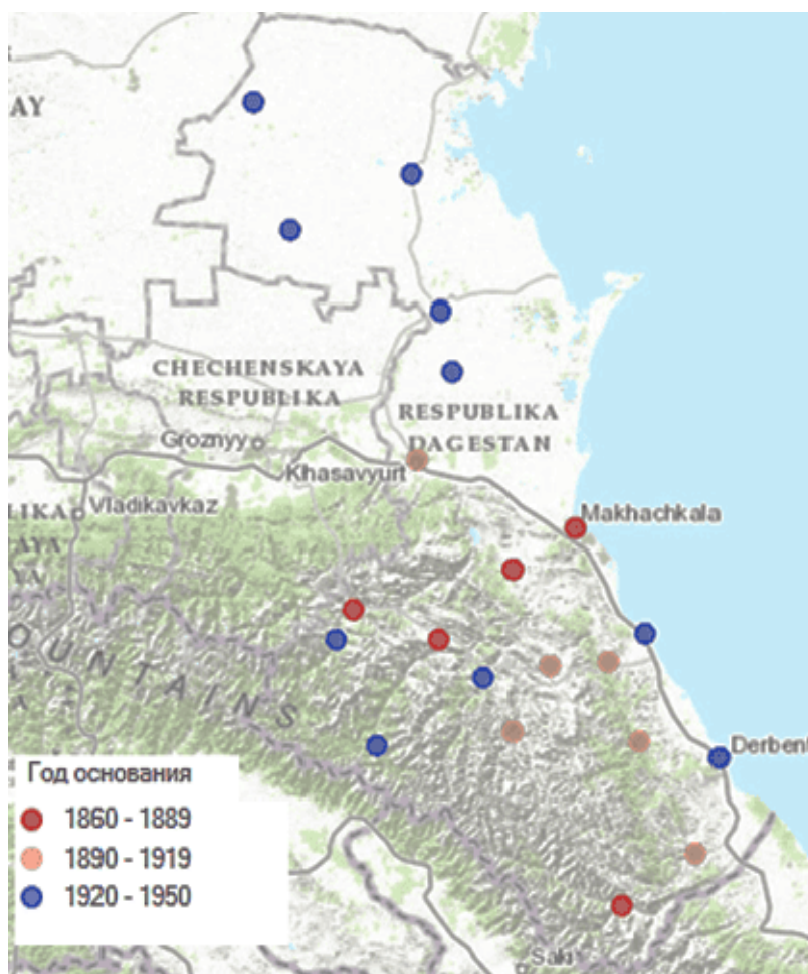


Рисунок 7. Размещение метеостанций по территории Дагестана

Figure 7. Placement of meteorological stations throughout the territory of Dagestan

В экосистеме Унцукульского района метеорологические станции отсутствуют, что затрудняет систематический сбор метеоданных. До конца сентября 2007 года информация о погодных условиях собиралась на гидропосте у Балаханского моста, однако после попадания в зону влияния водохранилища этот источник данных перестал быть эффективным. Для получения актуальной информации о погодных условиях в этом районе можно использовать данные из близлежащих метеопунктов, расположенных в городах и населённых пунктах, таких как Буйнакск, Гуниб и Ботлих [9].

Для изучения изменений климатических параметров в Республике Дагестан мы провели анализ многолетних средних температур на базе данных метеостанций, охватывающих период с 1951 по 2010 год. Исследование осуществлялось в два этапа, каждый из которых длился 30 лет: первый с 1951 по 1980 год, второй – с 1981 по 2010 год. Это дало возможность собрать достаточно статистического материала для сопоставительного анализа.

Полученные результаты приведены ниже в диаграмме (рис. 8).

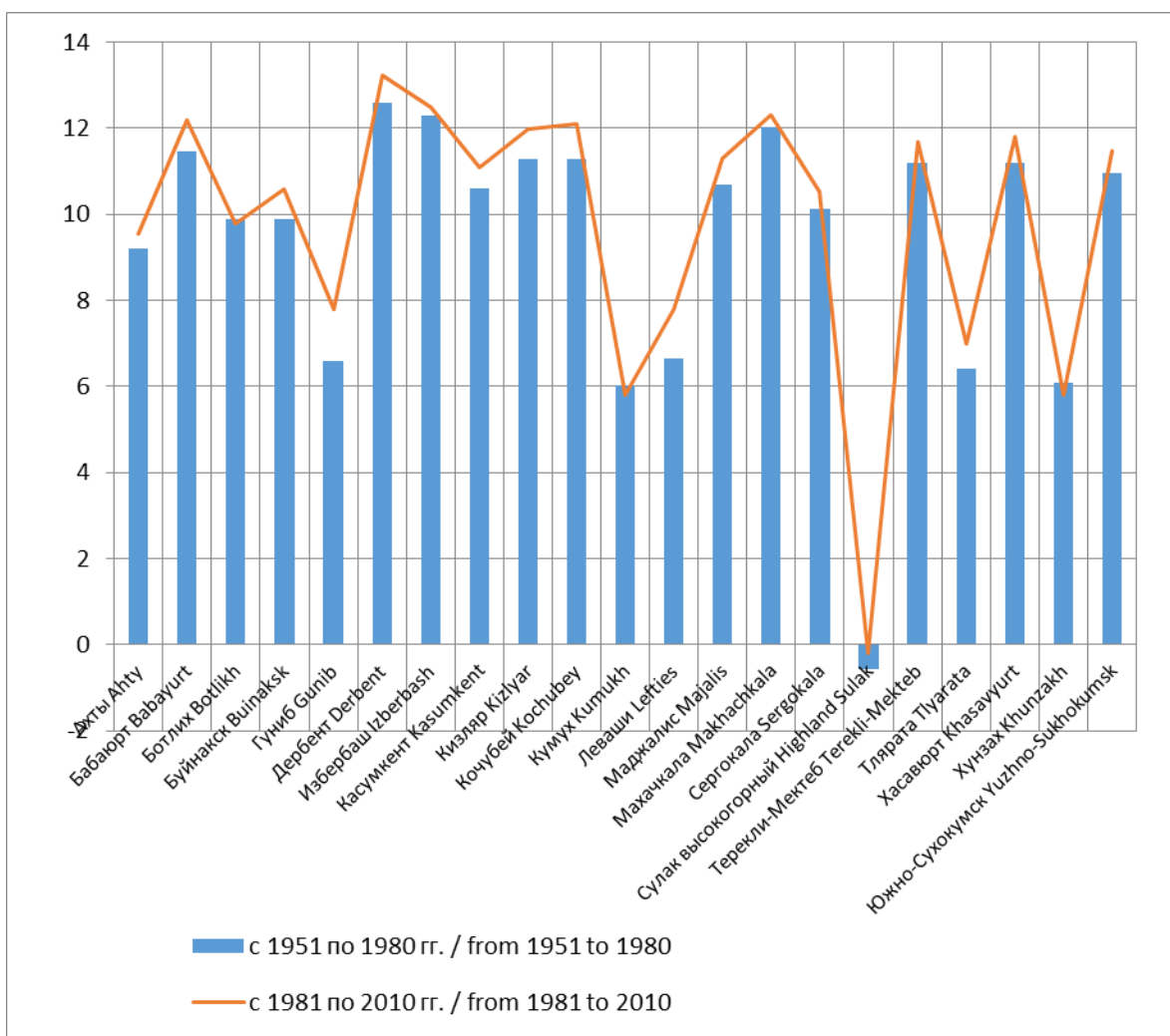


Рисунок 8. Динамика среднемноголетних температур с 1951 по 2010 гг. и с 1981 по 2010 г. по метеостанциям Республики Дагестан

Figure 8. Dynamics of average annual temperatures from 1951 to 2010 and from 1981 to 2010 at meteorological stations in the Republic of Dagestan

Результаты этого исследования продемонстрировали изменения в климатических тенденциях за указанный временной промежуток. В частности, данные метеостанций Республики Дагестан свидетельствуют о повышении среднегодовой температуры с 1981 по 2010 гг. по сравнению с периодом с 1951 по 1980 гг. Подобное изменение температурных условий на региональном уровне может ослаблять влияние, связанное с охлаждением в результате наличия Ирганайского водохранилища, особо актуального в весенне-летние месяцы. В долгосрочной перспективе это может вызвать значительные изменения в экономике аграрного сектора региона. Исследования в

области гидрометеорологии и влияния Ирганайской ГЭС на природную среду могут содействовать точному прогнозированию климатических процессов и обеспечению своевременной оценки биоклиматического потенциала различных агроклиматических зон региона.

Одним из отрицательных воздействий Ирганайской ГЭС стало также и усугубляющееся экологическое состояние самой акватории водохранилища и ее прибрежной части, которое год от года превращается в свалку всех видов мусора, путем речного переноса его из вышерасположенных районов в период паводков, проливных дождей и селевых

потоков и накопления. В 2023 году инспекторы Службы Росприроднадзора зафиксировали скопление мусора на площади, которое превышает 25 тысяч квадратных метров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулярный анализ метеорологических показателей, связанных с водными ресурсами, крайне важен для предотвращения негативных экономических и экологических последствий. Кроме того, точные данные о климатических изменениях позволяют ученым разрабатывать новые подходы к адаптации сельскохозяйственных систем к изменяющимся условиям. Такие стратегии включают создание сортов растений, устойчивых к климатическим изменениям, что является ключевым элементом устойчивости агропромышленного сектора к потенциальным стрессовым условиям и необходимости корректировать сельскохозяйственные практики [8].

Аграрное производство, устроенное так, чтобы использовать биоклиматические ресурсы разных регионов с учётом принципов устойчивости, предполагает не только обеспечение населения необходимым количеством высококачественных продуктов питания, но также ориентацию на экономическую целесообразность, стараясь минимизировать вредное воздействие на окружающую среду [10]. В данном подходе акцентируется внимание на балансе между человеческими потребностями и способностями природы, с целью избежать нарушения гармонии экосистем и их устойчивого потенциала.

Игнорирование биоэкологических возможностей территорий и генетической пластичности растений, которые способны адаптироваться в пределах своих генетических возможностей при изменениях климатических условий, может привести к серьёзным изменениям в структуре экосистем. Поэтому, чтобы обеспечить долговременную стабильность и процветание для жителей этих регионов, важен продуманный подход к выбору и внедрению как технических, так и технологических решений. Оценка последствий применения новых технологий и методов, наряду с их влиянием на природные системы и социальное благополучие, должна стать обязательной частью стратегии устойчивого развития в аграрной области.

Отображение на космических снимках нарушений среды обитания человека в результате антропогенного воздействия на природу делает их ценным материалом для анализа современной экологической ситуации, составления карт экологической оценки территории, разработки экологических прогнозов [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курамагомедов Б.М., Монахова Г.А., Гаджиев А.А., Ахмедова Г.А. Опыт использования геоинформационных технологий в исследованиях апвеллинга в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 9. N 4. С. 121–125. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2014-4-121-125>
2. Балдина Е.А., Лабутина И.А. Аэрокосмические исследования и картографирование в дельте Волги // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. N 2. С. 78–84.
3. Исмиханов З.Н., Абдурахманов Г.М., Гаджиев А.А., Даудова М.Г., Раджабова Р.Т., Теймуров А.А., Иванушенко Ю.Ю. Моделирование параметров социо-эколого-экономического устойчивого развития территории (на примере Унцукельского района Республики Дагестан) // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 9–20. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-9-20>
4. Абдурахманов Г.М. и др. Эколого-экономический потенциал и устойчивое развитие Унцукельского района (экологический паспорт). Махачкала: Типография ИПЭ РД, 2017. 491 с.
5. Абулаева С.Г. и др. Ирганайская ГЭС и окружающая среда. Махачкала: Юпитер, 2004. 150 с.
6. Раджабова Р.Т., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М., Тажудинова З.Ш., Султанов З.М. Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 126–136. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-126-136>
7. Асадулаев З.М., Анатов Д.М., Османов Р.М. Разнообразие и происхождение местных сортов абрикоса в Дагестане // Известия ОГАУ. 2016. N 1 (57). С. 28–30.
8. Курбанов Н.Б., Норматов И.Ш., Боев Б.М. Особенности влияния водохранилища ГЭС на изменение климата района // ELS. 2023. N2. С. 561–570.
9. Абдурахманов Г.М., Гасанов Ш.Ш., Ахмедова Л.Ш., Раджабова Р.Т., Гусейнова Н.О. Оценка устойчивости геосистем Горного Дагестана. Махачкала: ИП Овчинников, 2011. 108 с.
10. Алексеевский Н.И. Оценка влияния изменения климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // ВОДА: Химия и экология. 2013. N 4. С. 3–12.
11. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. Москва: Академия, 2004. 336 с.
12. Гусейнова Н.О. Применение геоинформационных технологий в геоэкологической оценке устойчивости природно-техногенных комплексов // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 9. N 4. С. 114–120. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2014-4-114-120>

REFERENCES

1. Kuramagomedov B.M., Monakhova G.A., Gadzhiev A.A., Akhmedova G.A. The experience of using of the geoinformation technologies in the investigation of upwelling in the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 121–125. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2014-4-121-125>
2. Baldina E.A., Labutina I.A. Aerospace research and mapping in the Volga delta. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5: Geography]. 2011, no. 2, pp. 78–84. (In Russian)
3. Ismikhanov Z.N., Abdurakhmanov G.M., Gadzhiev A.A., Daudova M.G., Radzhabova R.T., Teymurov A.A., Ivanushenko Yu.Yu. Modeling the parameters of socio-ecological and economic sustainable development of the territory (on the example of the Untsukul'sky District of the Republic of Dagestan). *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 9–20. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-9-20>
4. Abdurakhmanov G.M. et al. *Ekologo-ekonomicheskii potentsial i ustoichivoe razvitie Untsukul'skogo raiona (ekologicheskii pasport)* [Ecological and economic potential and sustainable development of the Untsukul'sky district (ecological passport)]. Makhachkala, IAE RD Publ., 2017, 491 p. (In Russian)
5. Abulaeva S.G. et al. *Irganayskaya GES i okruzhayushchaya sreda* [Irganai HPP and the Environment]. Makhachkala, Yupiter Publ., 2004, 150 p. (In Russian)

6. Radzhabova R.T., Alekseenko N.A., Kuramagomedov B.M., Tazhudinova Z.Sh., Sultanov Z.M. The use of index images for decoding the vegetation cover of Inner mountain Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 126–136. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-126-136>
7. Asadulaev Z.M., Anatov D.M., Osmanov R.M. Diversity and origin of local apricot varieties in Dagestan. *Izvestiya OGAU [Proceedings of OGAU]*. 2016, no. 1 (57), pp. 28–30. (In Russian)
8. Kurbonov N.B., Normatov I.Sh., Boev B.M. Peculiarities of the impact of the HPP reservoir on the climate change of the region. *ELS*, 2023, no. 2, pp. 561–570. (In Russian)
9. Abdurakhmanov G.M., Gasanov Sh.Sh., Akhmedova L.Sh., Radzhabova R.T., Guseynova N.O. *Otsenka ustoichivosti geosistem Gornogo Dagestana* [Assessment of the sustainability of the Mountain Dagestan geosystems]. Makhachkala, Ovchinnikov Publ., 2011, 108 p. (In Russian)
10. Alekseevskiy N.I. Assessment of the impact of climate change on the water regime and runoff of rivers in the Volga basin. *VODA: Khimiya i Ekologiya [WATER: Chemistry and Ecology]*. 2013, no. 4, pp. 3–12. (In Russian)
11. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I., Tutubalina O.V. *Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy [Aerospace methods of geographical research]*. Moscow, Akademiya Publ., 2004, 336 p. (In Russian)
12. Guseynova N.O. Use of geoinformation technologies in a geoeological evaluation for sustainable development of natural and technogenic complexes. *South of Russia: ecology, development*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 114–120. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2014-4-114-120>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Раисат Р. Раджабова, Лейла Ш. Ахмедова предложили концепцию и дизайн исследования. Раисат Р. Раджабова, собрала и обработала материал, провела статистическую обработку. Лейла Ш. Ахмедова редактировала рукопись до подачи в редакцию. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Raisat R. Radjabova and Leila Sh. Akhmedova proposed the concept and design of the study. Raisat R. Radjabova collected and processed the material and conducted statistical processing. Leila Sh. Akhmedova edited the manuscript before submission to the Editor. All authors equally participated in writing the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Раисат Р. Раджабова / Raisat R. Radjabova <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>
Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

Оригинальная статья / Original article

УДК 657.9

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-20



Публичная нефинансовая отчетность: отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов

Назирхан Г. Гаджиев¹, Наталья В. Лазарева², Сергей А. Коноваленко³, Михаил Н. Трофимов³, Низами А. Юсуфов⁴

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

³Рязанский филиал Московского университета МВД России им. В.Я. Кикотя, Рязань, Россия

⁴Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Михаил Н. Трофимов, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности, Рязанского филиала Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя; 390046 Россия, г. Рязань, ул. 1-я Красная, 18А. Тел. +79308722287

Email fanat1k.fanat1k.fanat1k@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

Формат цитирования

Гаджиев Н.Г., Лазарева Н.В., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Юсуфов Н.А. Публичная нефинансовая отчетность: отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 204-218. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-20

Получена 12 мая 2024 г.

Прошла рецензирование 9 июля 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

В статье ставится задача, связанная с рассмотрением экономически значимой информации, отраженной в публичной нефинансовой отчетности, позволяющие отразить экологические аспекты развития организации. Проведенный анализ показывает, что существуют достаточно серьезные проблемы в раскрытии экономически значимой информации в публичной нефинансовой отчетности из-за существенного отличия национальных требований и международных в части экологических аспектов развития.

В процессе проведения данного исследования применены монографный (описательный) метод исследования, метод системного анализа и сравнительный метод анализа.

Результаты проведенного исследования подтвердили необходимость совершенствования экологической отчетности в рамках развития концепции непубличной финансовой отчетности, при этом авторами подчеркнута необходимость развития состава и содержания экологической отчетности с учетом интеграции финансовой и нефинансовой отчетности. Применение изложенных в статье подходов позволило авторам сформировать более прозрачную информацию для всех заинтересованных пользователей в части экологической деятельности компаний и позволит сблизить национальные и международные стандарты в части данной деятельности.

Авторами предложен состав экологической отчетности компаний в рамках развития концепции публичной нефинансовой отчетности

Ключевые слова

Публичная нефинансовая отчетность, экологическая отчетность, стандарты, риски, экологическая политика.

Public non-financial reporting: Reflection of environmental aspects of development and activities of economic entities

Nazirkhan G. Gadzhiev¹, Natalia V. Lazareva², Sergey A. Konovalenko³, Mikhail N. Trofimov³
and Nizami A. Yusufov⁴

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

³Ryazan Branch, V.Ya. Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Ryazan, Russia

⁴M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Mikhail N. Trofimov, PhD in Economics, Senior Lecturer, Department of Economic Security, Ryazan Branch, V.Ya. Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; 18A 1 Krasnaya St, Ryazan, Russia 390046.

Tel. +79308722287

Email fanat1k.fanat1k.fanat1k@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

How to cite this article

Gadzhiev N.G., Lazareva N.V., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Yusufov N.A. Public non-financial reporting: Reflection of environmental aspects of development and activities of economic entities. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):204-218. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-20

Received 12 May 2024

Revised 9 July 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

The article considers economically significant information reflected in public non-financial reporting, enabling reflection on the environmental aspects of an organization's development. The analysis aims to articulate problems in the disclosure economically significant information in public non-financial reporting due to a significant difference between national and international requirements in terms of the environmental aspects of development.

In the process of conducting this study, a monograph (descriptive) research method, a system analysis method and a comparative analysis method were used.

The results of the study confirmed the need to improve environmental reporting as part of the development of the concept of non-public financial reporting, while authors emphasising the need to develop the composition and content of environmental reporting, taking into account the integration of financial and non-financial reporting. The application of the approaches outlined in the article allowed the generation of more transparent information for all interested users regarding the environmental activities of companies and will bring national and international standards closer to application.

The environmental reporting of companies and its components are proposed as part of the development of the concept of public non-financial reporting.

Key Words

Public non-financial reporting, environmental reporting, standards, risks, environmental policy.

ВВЕДЕНИЕ

В современной учетной системе участие в «зеленой» экономике подтверждается формами публичной (нефинансовой) отчетности. Экологическая отчетность включается в состав отчетности устойчивого развития или публичной финансовой отчетности (GRI – Global Reporting Initiative) [1].

Публичная нефинансовая отчетность интегрирует в свой состав отчеты о социальной ответственности, экологической ответственности, корпоративной гражданской ответственности, об устойчивости и многие другие. Данные отчеты и сообщения предоставляют информацию о том, как компания управляет своими социальными, экологическими и этическими аспектами деятельности.

Публичная нефинансовая отчетность в экологии может быть полезна в нескольких смыслах:

1. Обеспечение внутреннего анализа затрат и доходов в сфере экологии. Она помогает предприятиям и организациям разобраться в своей финансовой ситуации, оценить свою рентабельность, контролировать затраты на экологию и выявлять возможности для экономии. Это может быть особенно полезно для компаний, занятых в экологически ответственных отраслях, где стоимость соблюдения экологических стандартов может быть высокой.

2. Оценка устойчивости экологических проектов. Отчетность может помочь оценить экологическую устойчивость проектов и программ, таких как повышение энергоэффективности, внедрение восстановления экосистем или введение оборудования для уменьшения выбросов вредных веществ.

В нашей стране нормативно-правовая база и юридическая практика по рассматриваемой проблематике находятся на стадии становления, по сути вопросы экологической отчетности не регламентированы и не регулируются Минфином РФ. В настоящее время нормы о необходимости раскрытия экологически значимой информации в нефинансовой отчетности содержатся в следующих нормативных актах (проектах):

- Концепции развития публичной нефинансовой отчетности [2];

- проекте Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности»;

- Рекомендациях Банка России по раскрытию ПАО нефинансовой информации;

- Рекомендациях Банка России в отношении принципов ответственного инвестирования и др. [3].

Концептуальной базой формирования публичной нефинансовой отчетности, включая экологическую отчетность должен стать проект Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности», на основе которого должны разрабатываться действующие федеральные стандарты бухгалтерского учета и отчетности (ФСБУ). Подготовка ФСБУ о раскрытии объектов экологических отношений в процессе хозяйственной деятельности и подготовке форм отчетности важнейший этап формирования документальной базы об объектах бухгалтерского учета в сфере экологической деятельности. Подготовка ФСБУ отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов, по сути, второй этап развития учета деятельности хозяйствующих субъектов в новой формации «экологичной» экономики. На третьем и четвертом этапе развития

концепции публичной нефинансовой отчетности законодатель должен подготовить отраслевые стандарты учета и сформировать принципы подготовки внутрифирменных стандартов хозяйствующих субъектов с учетом международной практики и действующей системы нормативно-правового регулирования бухгалтерского учета [4].

Структурно схема нормативного регулирования подготовки публичной нефинансовой отчетности в части экологической отчетности может быть представлена следующими блоками (рис. 1).

Концепция развития публичной нефинансовой отчетности обеспечивает общие принципы построения информации по видам деятельности, включая социальные аспекты, экологическую деятельность, управления трудовыми ресурсами и рисками, построения системы безопасности и др. Концепция, по сути, является стратегическим документом, определяющим общие требования к информации и отчетности являющейся не регламентируемой, но имеющей стратегическую значимость для организации. Документ определяет важность подготовки публичной нефинансовой отчетности, особенности контроля качества, определяет этапы развития публичной нефинансовой отчетности.

Методологической основой системы нормативного регулирования публичной нефинансовой отчетности является проект Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности». Проект закона указывает, что перечень основных показателей нефинансовой отчетности устанавливается Правительством РФ, при этом раскрытие информации осуществляется организацией не позже 30 дней со дня ее утверждения.

Федеральный стандарт бухгалтерского учета «Экологическая деятельность» как минимум должен содержать следующие обязательные разделы: общие положения; расходы и доходы от экологической деятельности; раскрытия информации в экологической отчетности и т.д.

Методически важными блоками в части нормативно-правовой базы станут прежде всего федеральный стандарт бухгалтерского учета «Экологическая деятельность» и Стандарты GRI, международные стандарты по раскрытию нефинансовой информации в части экологической деятельности.

Во внутрифирменных стандартах в части экологической деятельности может содержаться следующая информация:

Цели и стратегии в области экологической деятельности: внутрифирменные стандарты могут определять основные цели и стратегии компании в области экологической деятельности, которые помогут обеспечить соответствие законодательным требованиям и уменьшить отрицательное влияние на окружающую среду.

Процедуры и практики: стандарты могут определять процедуры и практики, которые должны быть использованы при проведении экологических операций. Например, это может включать в себя правила по утилизации отходов, использованию и переработке ресурсов, уменьшению выбросов в атмосферу и т.д.

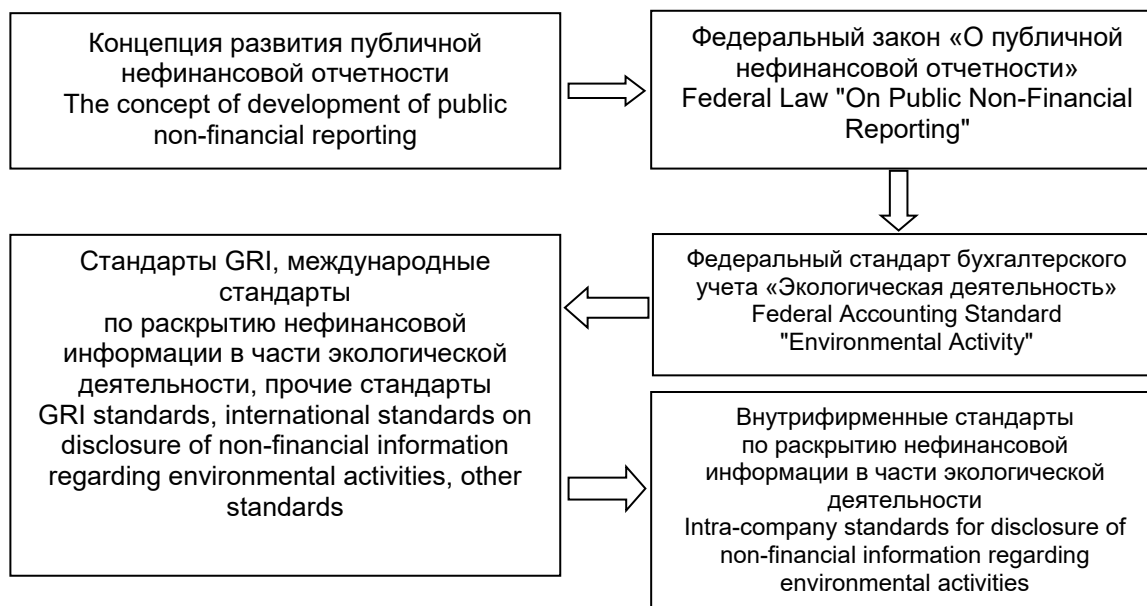


Рисунок 1. Предлагаемая система нормативного регулирования публичной нефинансовой отчетности в части экологической деятельности и экологической отчетности. Составлено авторами

Figure 1. Proposed system of regulatory regulation of public non-financial reporting in terms of environmental activities and environmental reporting. Compiled by the authors.

Обучение и обучающие программы: компании могут определять стандарты, касающиеся обучения сотрудников в области экологической деятельности. Например, это может включать в себя требования к уровню знаний сотрудников, обучающие программы, процедуры проверки знаний и т.д.

Мониторинг и отчетность: внутрифирменные стандарты могут определять процедуры мониторинга и отчетности, которые позволяют оценить эффективность экологических операций. Например, это может включать в себя требования к ежегодному отчету о выбросах, отслеживанию потребления ресурсов, учету использования возобновляемых источников энергии и т.д.

Системы управления: стандарты могут определять системы управления, которые позволяют контролировать и улучшать экологическую деятельность компании. Например, это может включать в себя системы сертификации и аудита экологической деятельности, процедуры проверки соответствия законодательным требованиям и т.д.

Участие заинтересованных сторон: стандарты могут определять процедуры участия заинтересованных сторон в экологической деятельности компании.

В 2012 году были приняты стандарты деятельности по обеспечению экологической и социальной устойчивости МСФО 2012 г. Стандарты определяют правила оценки и учета нефинансовых рисков инвестиционных проектов МФК. Стандарты регулируют оценку и управление экологическими и социальными, определяют перечень требований рационального использования ресурсов и предотвращение загрязнения окружающей среды, принципы обеспечения охраны здоровья населения, правила сохранения природных богатств, экосистем и т.д.

В 2016 г. Международный совет по стандартам в области устойчивого развития (Global Sustainability

Standards Board – GSSB), действующий под эгидой организации «Глобальная инициатива по отчетности», ввел в учетную практику новые стандарты отчетности в области устойчивого развития [5].

Публичная нефинансовая отчетность на базе GRI Standards условно включает следующие разделы и формы:

1. Экономические аспекты устойчивого развития;
2. Социальные аспекты устойчивого развития;
3. Экологические аспекты развития;
4. Управление персоналом.

Положения GRI Standards состоят из трех обязательных к применению стандартов (universal standards), GRI, а также 33 специализированных стандарта (topic-specific standards) имеющих рекомендательный характер.

Стандарт GRI (Global Reporting Initiative) – это набор принципов и руководящих принципов для разработки отчетов об устойчивом развитии (CSR-отчетов) компаний и организаций.

GRI был создан в 1997 году с целью стимулирования организаций к развитию устойчивого бизнеса и повышению прозрачности их деятельности. С тех пор стандарт стал широко используемым и признанным в мировом сообществе бизнеса, инвесторов, правительственных органов и нефинансовых организаций.

Стандарт GRI устанавливает руководство и набор принципов и рекомендаций для подготовки отчетности о степени выполнения организацией своих обязательств по социальной ответственности, включая вопросы, связанные с экологической устойчивостью, правами человека, трудовыми отношениями и борьбой с коррупцией.

Стандарт GRI также устанавливает индикаторы и показатели, которые могут использоваться для измерения и оценки производительности по социальной ответственности. Он является одним из

наиболее широко используемых стандартов в области отчетности о степени выполнения организациями своих обязательств по социальной ответственности.

Универсальные стандарты GRI включают в себя следующие.

1. Стандарт GRI 101 «Основные стандарты».
2. Стандарт GRI 101 «Общие показатели отчетности».
3. Стандарт GRI 103 «Подходы к управлению».

Специфические стандарты GRI разделены на три серии:

- Серия 200 «Экономические стандарты»;
- Серия 300 «Экологические стандарты»

включает восемь специфических стандартов: «Материалы», «Энергия», «Вода», «Биоразнообразие», «Выбросы», «Сбросы и отходы», «Соответствие требованиям», «Экологическая оценка поставщиков». стандарты носят общий характер, содержат правила управления рисками в системе экологической деятельности.

- Серия 400 «Социальные стандарты».

С 1 января 2021 г. применяются:

- GRI 207: Налоги 2019;
- GRI 303: Вода и сбросы 2018;
- GRI 403: Охрана труда и техника безопасности

2018.

С 1 января 2022 г. обязателен к применению GRI 306: Отходы 2020 [6].

Стандарт GRI включает ряд показателей, связанных с экологической деятельностью, таких как потребление энергии, выбросы вредных веществ, управление отходами, использование воды и др. Он также включает в себя стандарты отчетности, которые помогают организациям сообщать о своих экологических действиях в стандартизированном формате.

Таким образом, стандарт GRI тесно связан с экологической деятельностью, предоставляя стандарты и показатели, которые позволяют организациям отчитываться о своих экологических действиях, а также сравнивать свою деятельность с деятельностью других организаций и отслеживать изменения в своей экологической деятельности со временем.

По нашему мнению, данные стандарты следует признать основой методического уровня нормативно-правовых документов регламентирующие экологическую деятельность и экологическую отчетность компаний. Стандарты содержат как обязательные требования в части подготовки отчетности, так и рекомендованные в части формирования отдельных показателей и раскрытия информации об экологической деятельности.

Необходимо сказать, что стандарты обеспечивают широкий набор показателей «зеленой» повестки в деятельности любой организации, например, от затрат на охрану окружающей среды, до величины инвестиций в энергосберегающие и экологически «чистые» технологии. Важным аспектом следует считать обязательное раскрытие относительных показателей финансовых результатов (прибыль/убыток) в расчете на 1 рубль затрат на экологическую деятельность в публичной нефинансовой отчетности на базе GRI Standards.

Особую значимость в условиях перехода к зеленому курсу экономики играет прежде всего

формирование и раскрытие экономически значимой информации в экологической отчетности компаний как составной части нефинансовой публичной отчетности [7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Устойчивое развитие, то есть развитие которое «удовлетворяет потребности настоящего без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности», является ключевой задачей в условиях перехода к зеленому типу экономики [8]. Таким образом, устойчивое развитие интегрирует деятельность по трем аспектам: экономическому, социальному и экологическому. Резолюция Организации Объединенных Наций, содержащая 17 целей в сфере устойчивого развития и определяющая, с одной стороны, необходимость разработки системы показателей с целью мониторинга достижения этих целей как на национальном, так и на глобальном уровне, с другой стороны, включающая задачи по отражению вклада организаций в устойчивое развитие, решаемые в рамках публичной нефинансовой отчетности. оказывает стимулирующую роль в развитии публичной нефинансовой отчетности [9].

В последнее время сохраняется тенденция на ответственность и экологичность производственной деятельности, при этом появились перспективы распространения и на сферу инвестиций, повысилась требования к содержанию и полноте раскрытия информации, которые в отчетах раскрываются в виде нефинансовых показателей, так называемые ESG факторы (экологические, социальные аспекты, вопросы управления):

- бережное отношение к окружающей среде (англ., E – environment);
- высокая социальная ответственность (англ., S – social);
- эффективность корпоративного управления (англ., G – governance) [10].

В начале 2000-х годов в США насчитывалось всего 20 компаний с ESG-рейтингом, к 2020 году их количество составило около 800. Средний рейтинг ESG за 20 лет удвоился, что связывают с появлением налоговых льгот и стимулирующих преференций, доступности информации [11]. В России принципы ESG менее распространены, чем за рубежом, но они постепенно начинают применяться. В основном их применяют компании, осуществляющие крупные инвестиционные проекты в сфере природопользования (нефтегазовой отрасли). Применение данных стандартов в России имеет ряд сложностей:

- отсутствует система подготовки специалистов, имеющий удовлетворительный уровень владения стандартами;
- применение стандартов требует разработки внутренних форм отчетности, соответствующие требованиям российских стандартов, что делает данный процесс трудоемким.

Состав международных стандартов по раскрытию информации в нефинансовой отчетности в части экологической составляющей представлен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень международных стандартов и наднациональных актов по раскрытию нефинансовой информации в части экологической составляющей в отчетности [12]
Table 1. List of international standards and supranational acts on disclosure of non-financial information regarding the environmental component in reporting [12]

№ п.п.	Перечень международных стандартов и нормативно-правовых актов List of international standards and regulations
1.	Руководство по раскрытию информации, связанной с климатом Европейской Комиссии Guidelines on reporting climate-related information of the European Commission
2.	Протокол по природному капиталу Коалиции по природному капиталу Natural Capital Protocol Natural Capital Coalition
3.	Руководство по интегрированной отчетности, разработанное под эгидой Международного совета по интегрированной отчетности Integrated Reporting Guidelines developed under the auspices of the International Integrated Reporting Council
4.	Руководство по должной осмотрительности для ответственных цепочек поставок полезных ископаемых из районов, затронутых конфликтом, и районов повышенного риска. Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) Due Diligence Guidelines for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas (OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas) Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)
5.	Руководство, по комплексной оценке, для эффективного взаимодействия с заинтересованными лицами в добывающем секторе. Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) Comprehensive Assessment Guidelines for Effective Engagement with Stakeholders in the Extractive Sector (OECD Due Diligence Guidance for Meaningful Stakeholder Engagement in the Extractive Sector) Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)
6.	Совместное Руководство ОЭСР-ФАО по ответственным цепочкам поставок в сфере сельского хозяйства. Продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН и ОЭСР OECD-FAO Joint Guidance on Responsible Agricultural Supply Chains (OECD-FAO Guidance for Responsible Agricultural Supply Chains) Food and Agriculture Organization at the UN and OECD (Organization for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization, OECD-FAO)
7.	Глобальный стандарт учета и отчетности по выбросам парниковых газов для финансового сектора, разработанный Партнерством финансовых организаций по углеродному учету Development of the Global Greenhouse Gas Accounting and Reporting Standard for the Financial Industry by the Partnership for Carbon Accounting Financials. A Global Greenhouse Gas Accounting and Reporting Standard for the Financial Industry
8.	Документы проекта углеродного раскрытия Carbon Disclosure Project (CDP) documents
9.	Методические рекомендации по раскрытию экологической и связанной с изменением климата информации Совета по раскрытию климатической информации Methodological recommendations on disclosure of environmental and climate change-related information (Framework for reporting environmental and climate change information) Climate Disclosure Standards Board (CDSB)
10.	Отраслевые стандарты Совета по стандартам отчетности устойчивого развития Industry Specific Standards Sustainability Accounting Standards Board (SASB)

Данные стандарты подготовлены, прежде всего с учетом заложенных критериев и параметров экологической экономики, направленные на снижение вредных выбросов, подготовки инвестиционных проектов с высоким уровнем экологичности, обеспечением восстановления земель в результате осуществления сельскохозяйственного производства.

В соответствии с общепризнанной мировой практикой в нашей стране концепция публичной нефинансовая отчетность развивается, начиная с 2000 года (табл. 2).

Публичная нефинансовая отчетность в экологии может использоваться для внутреннего управления и принятия решений в организациях, занимающихся экологической деятельностью. Она может помочь руководству компании получить более точную информацию о затратах на экологические проекты и программы, а также о доходах, полученных от этих проектов. Это может помочь компании оптимизировать свои расходы, планировать свои инвестиции в экологические проекты и улучшить свою финансовую производительность в целом.

Также публичная нефинансовая отчетность может помочь организации следить за своими экологическими показателями, такими как выбросы вредных веществ, утилизация отходов, использование возобновляемых

источников энергии и т.д. Это может помочь организации принимать более осознанные решения в отношении своих экологических практик и повысить свою эффективность в области устойчивости.

Таблица 2. Формирование публичной нефинансовой отчетности в Российской Федерации [9]

Table 2. Formation of public non-financial reporting in the Russian Federation [9]

Год Year	События Events
2000	<p>Опубликованы первые публичные нефинансовые отчеты: ОАО «Ленэнерго», ОАО «Рязанская ГРЭС», ООО «Неманский целлюлозно-бумажный комбинат» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Газпром» [3]</p> <p>Publication of the first public non-financial reports by JSC "Lenenergo", JSC "Ryazan GRES", LLC "Neman Pulp and Paper Mill" JSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" and JSC "Gazprom" [3]</p>
2002	<p>Федеральная комиссия по рынку ценных бумаг сформулировала требования к практике корпоративного управления и описания ее в публичной отчетности участников рынка ценных бумаг в распоряжении от 30.04.2003 N 03-849/р «О Методических рекомендациях по составу и форме представления сведений о соблюдении Кодекса корпоративного поведения в годовых отчетах акционерных обществ»</p> <p>Formulation by the Federal Securities Market Commission of requirements for corporate governance practices and descriptions of them in the public statements of securities market participants in Order No. 03-849/r dated 30.04.2003 "On Methodological Recommendations on the Composition and Form of Submission of Information on Compliance with the Code of Corporate Conduct in Annual Reports of Joint-Stock Companies"</p>
2004	<p>Российским союзом промышленников и предпринимателей разработана Социальная хартия российского бизнеса. В хартии провозглашается принцип социальной ответственности бизнеса за сохранение окружающей среды. Указывается, что состояние экологии может рассматриваться как национальный актив и конкурентное преимущество национальной экономики в будущем</p> <p>Development by the Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs of a Social Charter for Russian Business. The charter proclaims the principle of social responsibility of business for the preservation of the environment. It indicates that the state of ecology can be considered as a national asset and a competitive advantage of the national economy in the future</p>
2008	<p>Вступил в действие Глобальный договор ООН в России, провозглашающий принципы ответственного ведения бизнеса в сфере экологии. В РФ к договору на первоначальном этапе присоединились (Государственная корпорация развития «ВЭБ.РФ», ОАО «РЖД» и др.). Они взяли на себя обязательства корректировать свои бизнес-модели, с учетом экологичного, инклюзивного развития экономики. В данной модели заложена концепция синтеза экологичного бизнеса и банковского капитала, с целью формирования устойчивого тренда развития</p> <p>The coming into effect of the UN Global Compact in Russia, proclaiming the principles of responsible business in the field of ecology. In the Russian Federation, the agreement was initially joined by the State Development Corporation "VEB.RF" and JSC "Russian Railways", etc. Companies commit to adjust their business models, taking into account the eco-friendly, inclusive development of the economy. This model contains the concept of synthesis of eco-friendly business and banking capital, in order to stimulate a sustainable development trend</p>
2010	<p>Подготовлен первый рейтинг фундаментальной эффективности российских компаний Агентства НЭРА (Интерфакс-ЭРА). Рейтинг составляется с учетом стандартов GRI</p> <p>Preparation of the first rating of fundamental efficiency of Russian companies of the Agency NERA (Interfax-ERA). The rating is compiled taking into account GRI standards</p>
2011	<p>Подготовлено Письмо Минфина России N ПЗ-7/2011 «О бухгалтерском учете, формировании и раскрытии в бухгалтерской отчетности информации об экологической деятельности организации» которое определило состав расходов на экологическую деятельность корпорации и особенности отражения их в бухгалтерском учете и отчетности</p> <p>Preparation of a Letter of the Ministry of Finance of the Russian Federation No. PZ-7/2011 "On accounting, formation and disclosure of information on the environmental activities of the organization in the accounting statements", which determined the composition of expenses for the environmental activities of a corporation and the specifics of their reflection in accounting and reporting</p>
2012	<p>Издана Директива Председателя Правительства РФ от 30.03.2012 N1710п-П13, обязавшая 22 крупнейших компании с государственным участием регулярно публиковать нефинансовые отчеты. Утвержден и введен в действие стандарт ГОСТ Р ИСО 26000-2012, который соотносится с основными международными и национальными документами в сфере устойчивого развития, социальной ответственности и публичной нефинансовой отчетности, в обобщенной форме представляет ключевые подходы в этой сфере и предназначен для использования организациями всех форм собственности и видов деятельности (Гоголев)</p> <p>Issuance of a Directive of the Chairman of the Government of the Russian Federation No. 1710p-P13 dated 30.03.2012, obliging 22 largest companies with state participation to regularly publish non-financial reports. The GOST R ISO 26000-2012 standard has been approved and put into effect, which correlates with the main international and national documents in the field of sustainable development, social responsibility and public non-financial reporting, presents key approaches in this area in a generalized form and is intended for use by organisations of all forms of ownership and activities (Gogolev)</p>

2013	<p>Российской региональной сетью по интегрированной отчетности проведено первое исследование корпоративной отчетности крупнейших компаний страны. Основой анализа явились компании, включенные в рейтинг ведущих организаций по валовой выручке «ЭКПЕРТ-400»</p> <p>Conduct by the Russian Regional Network for Integrated Reporting of the first study of corporate reporting of the largest companies in the country. The analysis was based on the companies included in the rating of the leading organizations by gross revenue "EKPERT-400"</p>
2014	<p>Распоряжением Правительства от 30 января 2014 г. №3-р г. утверждена Концепция открытости федеральных органов исполнительной власти. Совет директоров Центрального банка России 21 марта 2014 г. одобрил Кодекс корпоративного управления; утвердил Положение о раскрытии информации эмитентами эмиссионных ценных бумаг, конкретизировавшего требования к публичной отчетности эмитентов. По инициативе Всемирного фонда дикой природы (WWF) России и группы «КРЕОН» начали составлять рейтинг открытости в сфере экологической ответственности нефтегазовых компаний России</p> <p>Government Decree No. 93-r of January 30, 2014 approved the Concept of Openness of Federal Executive Authorities. On March 21, 2014, the Board of Directors of the Central Bank of Russia approved the Corporate Governance Code; approved the Regulation on Disclosure of Information by Issuers of Equity Securities, specifying the requirements for public reporting of issuers. At the initiative of the World Wildlife Fund (WWF) of Russia and the CREON Group, they began to compile a rating of openness in the field of environmental responsibility of oil and gas companies in Russia</p>
2015	<p>Распоряжением Правительства утверждена Концепция формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в РФ. Российским союзом промышленников и предпринимателей представлен первый выпуск индексов «Ответственность и открытость» и «Вектор устойчивого развития». Индексы рассчитываются на базе информации, размещаемой в публичных нефинансовых отчетах</p> <p>A Government Decree approved the concept of forming a system for monitoring, reporting and verifying the volume of greenhouse gas emissions in the Russian Federation. The Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs presented the first issue of the indices "Responsibility and openness" and "Vector of Sustainable Development". Indexes are calculated on the basis of information published in public non-financial reports</p>
2017	<p>Распоряжением Правительства Российской Федерации от 5.05.2017 года № 876-р. утверждена «Концепция развития публичной нефинансовой отчетности в России»</p> <p>By Order of the Government of the Russian Federation No. 876-r dated 05.05.2017. The "Concept of development of public non-financial reporting in Russia" was approved</p>
2019	<p>Подготовлен Проект Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности»</p> <p>A draft Federal Law "On Public Non-financial Reporting" was prepared</p>
2020	<p>Опубликовано Информационное письмо Банка России от 15.07.2020 № ИН-06-28/111 «О рекомендациях по реализации принципов ответственного инвестирования» в публичной нефинансовой отчетности</p> <p>Publication of an Information Letter of the Bank of Russia dated 15.07.2020 No. IN-06-28/111 "On recommendations for the implementation of the principles of responsible investment" in public non-financial reporting.</p>
2021	<p>Опубликовано Информационное письмо Банка России от 12.07.2021 № ИН-06-28/49 «О рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ». Письмо включает перечень информации, которую обществу рекомендуется раскрывать в отношении рисков и возможностей, связанных с изменением климата, и подходов к управлению такими рисками</p> <p>Publication of an Information Letter of the Bank of Russia dated 12.07.2021 No. IN-06-28/49 "On recommendations on disclosure by public Joint Stock companies of non-financial information related to the activities of such companies". The letter includes a list of information that the company is recommended to disclose regarding the risks and opportunities associated with climate change and approaches to managing such risks</p>

В целом, публичная нефинансовая отчетность в экологии может помочь организациям стать более ответственными в отношении своих экологических практик и управлять своими финансами более эффективно, что может привести к более устойчивому будущему для компании и окружающей среды [13].

Е.А. Сенаторова отмечает, наиболее прогрессивной формой публичной нефинансовой отчетности можно считать интегрированную отчетность, концептуальный подход которой заключается в совокупности нефинансовых показателей, объединенных в единые формы, с помощью системного подхода. Системный подход к раскрытию нефинансовой информации формирует дополнительные преимущества для мониторинга и совершенствования различных экономических,

социальных и экологических аспектов деятельности хозяйствующих субъектов [14].

Защитники окружающей среды нуждаются в информации по экологической деятельности организаций, чтобы располагать информацией о хозяйствующих субъектах, причиняющих вред окружающей среде.

В отечественной практике экологическая отчетность является обязательной для предоставления в государственные органы статистики, но не публичной. В 2012 г. были приняты «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утверждены Президентом РФ 30.04.2012), предусматривающие развитие нефинансовой отчетности на добровольной основе, постепенный

переход к обязательной публикации соответствующей заверенной отчетности компаниями с государственным участием. В дальнейшем были приняты следующие нормативные акты, реализация которых должна изменить ситуацию в экологической сфере: постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 326 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы» и Указ Президента РФ от 19.04.2017 N 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года». Экологический аспект публичной нефинансовой отчетности отражается в деятельности по защите и восстановлению окружающей среды, сокращению вредных выбросов и других экологических нагрузок.

Вместе с тем, следует отметить, что необязательность предоставления публичной нефинансовой отчетности отрицательно сказывается на формировании единой базы показателей экологической деятельности и создания системы мониторинга наиболее ключевых показателей экологической деятельности.

В настоящее время в Национальный Регистр нефинансовых отчетов включены 197 компаний, предоставлено отчетов – 1163, которые выпущены в период, начиная с 2000 г. В их числе: экологические отчеты (ЭО) – 101, социальные отчеты (СО) – 374, отчеты в области устойчивого развития (ОУР) – 415, интегрированные отчеты – 273 [15].

По сути это первый шаг для перехода промышленных компаний к зеленому курсу, обеспечивающий публично намерения корпораций соответствовать экологически чистым нормам и стандартам. Дальнейшее развитие системы регистра нефинансовой отчетности позволит сформировать систему мониторинга и учета компаний зеленой экономики.

Публичная нефинансовая отчетность должна включать как минимум в себя информацию в отношении рисков и возможностей, связанных с изменением климата, и подходов к управлению такими рисками (табл. 3).

Таблица 3. Перечень информации, которую рекомендуется раскрывать в отношении рисков и возможностей, связанных с изменением климата, и подходов к управлению такими рисками в публичной нефинансовой отчетности*

Table 3. List of information recommended to be disclosed regarding risks and opportunities related to climate change and approaches to managing such risks in public non-financial reporting*

№ п.п.	Информация, подлежащая раскрытию в публичной нефинансовой отчетности в части экологии и зеленой экономики Information to be disclosed in public non-financial reporting in terms of ecology and green economy
1.	Описание процессов по выявлению и оценке связанных с климатом рисков в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе Description of processes for identifying and assessing climate-related risks in the short, medium and long term
2.	описание основных климатических рисков, выявленных Обществом в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе в цепочке создания стоимости, а также любые допущения, принятые в процессе идентификации этих рисков Description of the main climate risks identified by a company in the short, medium and long term in the value chain, as well as any assumptions made in the process of identifying these risks
3.	Описание процессов управления рисками, связанными с климатом и как Общество управляет конкретными выявленными рисками, связанными с климатом Description of climate-related risk management processes and how a company manages specific identified climate-related risks
4.	Описание того, как процессы выявления, оценки и управления климатическими рисками интегрированы в общее управление рисками Общества Description of how the processes of identification, assessment and management of climate risks are integrated into the overall risk management of a company
Дополнительно Обществу рекомендуется раскрывать следующую информацию Additionally, the Company is recommended to disclose the following information	
1.	Описание мер по адаптации к изменению климата, принимаемых Обществом в рамках процесса управления рисками Description of climate change adaptation measures taken by a company as part of the risk management process
2.	Данные о распределении основных климатических рисков по видам экономической деятельности Data on the distribution of major climate risks by type of economic activity
3.	Данные о распределении основных климатических рисков по географическому положению Data on the distribution of major climate risks by geographical location

4.	Области, которые имеют существенное значение для цепочек создания стоимости, включая операции, поставщиков и рынки Areas that are essential to value chains, including operations, suppliers and markets
5.	Описание того, как компания устанавливает и применяет лимиты по климатическим рискам, включая любые триггеры, используемые для эскалации рисков, требующих внимания руководства Description of how the company sets and applies limits on climate risks, including any triggers used to escalate risks that require management's attention
6.	Описание приоритизации климатических рисков, включая применяемые пороговые значения, с указанием того, какие риски по всей цепочке создания стоимости считаются наиболее значимыми Description of climate risk prioritization, including applicable thresholds, indicating which risks are considered the most significant throughout the value chain
7.	Классификацию основных климатических рисков и их воздействия на финансовые показатели Classification of the main climate risks and their impact on financial indicators
8.	Карты рисков, включающие вопросы, связанные с климатом Risk maps that include climate-related issues
9.	Определения используемой терминологии рисков или ссылки на существующие используемые системы классификации рисков Definitions of the risk terminology used or references to existing risk classification systems used
10.	Периодичность проведения анализа в отношении выявления и оценки рисков Frequency of analysis in relation to the identification and assessment of risks
11.	Связь между основными климатическими рисками и ключевыми финансовыми показателями эффективности The relationship between major climate risks and key financial performance indicators
12.	Описание того, какие сценарии и (или) внутренние цены на выбросы диоксида углерода используются при управлении рисками Description of which scenarios and/or internal carbon dioxide emission prices are used in risk management
13.	Финансовые последствия экстремальных погодных явлений, включая возможные показатели по дням перерывов в работе и связанным с ними затратам, стоимости ремонта, обесценению основных средств, нарушениям цепочки создания стоимости и упущенным доходам Financial consequences of extreme weather events, including possible indicators for days of work breaks and related costs, repair costs, depreciation of fixed assets, value chain disruptions and lost revenue

Примечание: * – составлено авторами

Note: * – compiled by the authors

Информация о рисках, связанных с изменением климата, может включать в себя следующие аспекты в части экологической деятельности компании:

- воздействие климатических изменений на физические объекты и инфраструктуру: это может включать повреждения зданий, мостов, дорог, линий электропередачи и других объектов, а также угрозу их устойчивости.

- воздействие на экономику и бизнес: это может включать увеличение расходов на энергию и воду, снижение производительности сельского хозяйства, увеличение стоимости страхования, ущерб для туризма и другие проблемы, связанные с изменением климата.

- воздействие на здоровье и благополучие населения: это может включать увеличение заболеваний, связанных с тепловым стрессом, увеличение риска пожаров и наводнений, ухудшение качества воздуха и другие проблемы.

- экологические последствия: это может включать изменение растительности и животного мира, угрозу вымирания видов, изменение морской и пресной воды, снижение плодородия почвы и другие проблемы, связанные с изменением климата.

- последствия для общества: это может включать увеличение социальных противоречий, увеличение миграции населения, угрозу национальной безопасности и другие проблемы.

- риски для инвесторов и финансовых организаций: это может включать угрозы финансовой устойчивости, угрозу для инвестиционных портфелей и другие проблемы, связанные с изменением климата.

Кроме того, информация о рисках, связанных с изменением климата, может включать прогнозы изменения погоды, уровня моря и других климатических показателей на будущее, а также сценарии их развития.

Экологическая отчетность должна быть подготовлена в соответствии с принципами прозрачности, точности, сопоставимости, надежности и полноты. Она должна быть доступна для ознакомления широкой общественности.

Экологическая отчетность в настоящее время должна включать в себя как минимум следующие формы отчетности:

- статистическую отчетность: формы N N2-ТП (воздух) годовая, 2-ТП (воздух) срочная, 2-ТП (отходы) годовая, 2-ТП (радиоактивные вещества) годовая, 2-ТП

(радиоактивность), 2-ТП (водхоз) годовая, 1-водопровод, 4-ОС годовая – сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды, 18-КС годовая – сведения о капитальных вложениях на охрану окружающей среды, П-2 (квартальная) – сведения об инвестициях [16];

- налоговые формы: налоговые декларации по платежам за пользование природными ресурсами, за загрязнение окружающей природной среды, за негативное воздействие на окружающую среду;

- отчетность по экологическим стандартам [17].

Стандарты МСЗООУ 3410 «Задания, обеспечивающие уверенность, в отношении отчетности о выбросах парниковых газов» (введен в действие на территории Российской Федерации Приказом Минфина России от 09.01.2019 N 2н) и Стандарт системы менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 14064-3-2021 «Газы парниковые. Часть 3. Требования и руководство по валидации и верификации заявлений в отношении парниковых газов» устанавливают обязательную подготовку отчетов о выбросах парниковых газов в составе экологической отчетности. Вместе с тем формы и содержание показателей данных отчетов на законодательном уровне не определены.

Экологическая отчетность компании должна включать информацию о ее воздействии на окружающую среду и о мерах, которые компания принимает для уменьшения своего экологического следа. Рассмотрим некоторые общие категории информации, которые должны включаться в экологическую отчетность:

1. Использование энергии: компания должна сообщать о ее потреблении энергии и о том, как она использует возобновляемые источники энергии.

2. Водоиспользование: компания должна сообщать о своих потребностях в воде и о мерах, которые она принимает для уменьшения своего потребления и снижения риска загрязнения воды.

3. Загрязнение воздуха: компания должна сообщать о выбросах вредных веществ в атмосферу и о мерах, которые она принимает для уменьшения своего воздействия на качество воздуха.

4. Управление отходами: компания должна сообщать о своих методах управления отходами и о том, как она сокращает количество производимых отходов.

5. Использование ресурсов: компания должна сообщать о своем использовании природных ресурсов, таких как леса, земля, минералы и другие природные ресурсы, и о мерах, которые она принимает для уменьшения своего потребления.

6. Инновации: компания должна сообщать о новых технологиях и методах, которые она использует для сокращения своего экологического следа и улучшения своего воздействия на окружающую среду.

Это лишь некоторые примеры информации, которую компания должна включать в свою экологическую отчетность. Конкретные требования могут варьироваться в зависимости от страны и отрасли.

Рекомендации в части совершенствования экологической отчетности в части непубличной финансовой отчетности

Для формирования экологической отчетности в системе непубличной финансовой отчетности необходимо формирования действенной системы нормативного регулирования. Нами предлагается следующая структура нормативного регулирования:

1. Уровень. Концепции развития публичной нефинансовой отчетности.

2. Уровень. Федеральный закон «О публичной нефинансовой отчетности».

3. Уровень. Федеральный стандарт бухгалтерского учета «Экологическая деятельность»

4. Уровень. Стандарты GRI, международные стандарты по раскрытию нефинансовой информации в части экологической деятельности, прочие стандарты.

5. Уровень. Внутрифирменные стандарты по раскрытию нефинансовой информации в части экологической деятельности.

Такая система нормативного регулирования обеспечит, во-первых, сближение национальных и международных стандартов в сфере формирования публичной финансовой отчетности в части экологической деятельности, а во-вторых, обеспечит сближение с действующей системой нормативного регулирования бухгалтерского учета в РФ.

Письмо Минфина РФ N ПЗ-7/2011 «О бухгалтерском учете, формировании и раскрытии в бухгалтерской отчетности информации об экологической деятельности организации» в пояснениях к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах организацией может быть также раскрыта информация о факторах, препятствующих осуществлению экологической деятельности (недостаток собственных денежных средств, невозможность привлечь кредиты или займы, высокая стоимость инноваций, сложность оценки последствий загрязнения окружающей среды и т.п.).

Таким образом, дополнительной формой экологической отчетности следует считать пояснительную записку к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах в которой рекомендуется раскрывать как минимум следующую информацию:

- риски и возможности, связанные с изменением климата, методы управления рисками;

- перечень основных проводимых и планируемых организацией мероприятий по защите окружающей среды;

- данные, содержащиеся в управленческой отчетности, формирующей систему экологической информации.

- данные о выбросах парниковых газов и загрязняющих веществах;

- событие приведшие к существенному загрязнению окружающей среды и предполагаемый экономический ущерб от данных событий.

Для компаний, получающих бюджетные средства в рамках национального проекта, государственных и региональных программ «экология», по нашему мнению, следует предусмотреть обязательное формирование и раскрытие экологической политики, по принципу учетной политики организации с раскрытием методологических аспектов учета расходов и доходов и источников финансирования на экологическую деятельность, а также порядок создания резервов на покрытия возможного ущерба окружающей среде.

По нашему мнению, совершенствование подготовки экологической отчетности должно проявляться в нескольких аспектах:

Улучшение качества данных: Для того чтобы экологическая отчетность была полезной, необходимо, чтобы данные в ней были точными и надежными. Поэтому совершенствование подготовки экологической

отчетности должно включать в себя улучшение систем сбора и обработки данных, а также повышение квалификации специалистов, ответственных за сбор и анализ экологических данных.

Увеличение прозрачности и доступности отчетности: Современные потребители все больше обращают внимание на экологические показатели, и для того, чтобы соответствовать их требованиям, необходимо сделать экологическую отчетность более прозрачной и доступной. Это может включать в себя публикацию отчетности в открытом доступе, использование стандартных форматов и метрик, а также усиление коммуникации между организацией и заинтересованными сторонами.

Включение новых аспектов: совершенствование подготовки экологической отчетности должно также включать в себя учет новых аспектов, которые становятся все более важными в экологической деятельности. Например, это может быть учет влияния на окружающую среду целого жизненного цикла продукции, учет потребления ресурсов, использование возобновляемых источников энергии, оценку рисков и т.д.

Стандартизация и унификация: чтобы экологическая отчетность стала более сравнимой, необходимо использовать стандартные форматы и метрики, которые были бы приняты в учетной системе государства. Это помогло бы не только сравнивать показатели разных компаний между собой, но и улучшить качество самой отчетности.

Порядок оформления и раскрытия не публичной финансовой отчетности в части экологической отчетности, по нашему мнению, может быть следующим:

Определение необходимой информации: компания должна определить, какую информацию нужно включить в экологическую отчетность, чтобы отразить релевантные данные, связанные с ее экологической деятельностью.

Сбор данных: компания должна собрать все необходимые данные, связанные с экологической деятельностью, такие как выбросы, отходы, энергопотребление, водопотребление, использование природных ресурсов и т.д.

Анализ данных: компания должна проанализировать собранные данные, чтобы понять, как они отражают экологическую деятельность компании.

Составление отчетности: на основе собранных данных и проведенного анализа, компания должна составить экологическую отчетность. В отчетности должна содержаться информация о том, как компания оценивает и управляет своим воздействием на окружающую среду, о достижениях и прогрессе в области экологии.

Подпись и утверждение отчета: отчет должен быть подписан уполномоченным лицом компании и утвержден в соответствии с внутренними процедурами.

Раскрытие отчетности: компания должна определить, кому будет раскрыта экологическая отчетность. Раскрытие может быть ограничено определенными заинтересованными сторонами, такими как руководство компании, владельцы, аудиторы, инвесторы или кредиторы.

Сохранение отчетности: компания должна сохранять копии экологической отчетности в течение определенного периода времени, в зависимости от

требований законодательства и внутренних правил компании.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Публичная нефинансовая отчетность играет важную роль в системе интегрированной корпоративной отчетности, которая объединяет в себе финансовую и нефинансовую информацию компании. Она представляет собой совокупность отчетов и сообщений, которые описывают важные аспекты деятельности компании, включая ее социальную и экологическую ответственность, корпоративную гражданскую ответственность и управление рисками.

Основная цель публичной нефинансовой отчетности – это информирование заинтересованных сторон, включая инвесторов, клиентов, поставщиков, регуляторов и общественность в целом, о том, как компания работает в рамках своих социальных и экологических обязательств, а также о своих планах по устойчивому развитию.

Необходимость развития публичной нефинансовой отчетности предусматривается Распоряжением Правительства Российской Федерации от 05.05.2017 N 876-р, утвердившим Концепцию развития публичной нефинансовой отчетности. Публичная нефинансовая отчетность рассматривается в качестве неотъемлемого элемента системы управления конкурентоспособностью корпораций [18].

Нефинансовая отчетность на базе GRI Standards условно включает следующие разделы и формы:

1. Экономические аспекты устойчивого развития;
2. Социальные аспекты устойчивого развития;
3. Экологические аспекты развития;
4. Управление персоналом.

Экологические аспекты публичной нефинансовой отчетности раскрывают как минимум следующую информацию:

- использование энергии
- водоиспользование
- загрязнение воздуха
- управление отходами
- использование ресурсов
- инновации

В системе нормативно-правового регулирования экологической деятельности основой подготовки публичной нефинансовой отчетности, включая экологическую отчетность должен стать Федеральный закон «О публичной нефинансовой отчетности», на основе которого должны разрабатываться действующие федеральные стандарты бухгалтерского учета и отчетности (ФСБУ). Подготовка ФСБУ о раскрытии объектов экологических отношений в процессе хозяйственной деятельности и подготовке форм отчетности важнейший этап формирования документальной базы об объектах бухгалтерского учета в сфере экологической деятельности. Подготовка ФСБУ отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов по сути второй этап развития учета деятельности хозяйствующих субъектов в новой формации «экологичной» экономики. На третьем и четвертом этапе развития концепции публичной нефинансовой отчетности законодатель должен подготовить отраслевые стандарты учета и сформировать принципы подготовки внутрифирменных стандартов хозяйствующих субъектов с учетом

международной практики и действующей системы нормативно-правового регулирования бухгалтерского учета.

Методически важными блоками в части нормативно-правовой базы станут прежде всего федеральный стандарт бухгалтерского учета «Экологическая деятельность» и Стандарты GRI, международные стандарты по раскрытию нефинансовой информации в части экологической деятельности. Стандарты GRI включают ряд показателей, связанных с экологической деятельностью, таких как потребление энергии, выбросы вредных веществ, управление отходами, использование воды и др. Они также включают в себя стандарты отчетности, которые помогают организациям сообщать о своих экологических действиях в стандартизированном формате.

Интеграция финансовой и нефинансовой отчетности является современным трендом в области корпоративной отчетности, многие специалисты полагают, что будущее корпоративной отчетности связано именно с этим процессом.

Важной составной частью публичной нефинансовой отчетности следует признать экологическую отчетность. Нормативно в нашей стране состав и ее содержание не определены, в связи с этим рекомендуем следующий состав экологической отчетности организации

1. Формы статистической отчетности в части экологической деятельности организации.

2. Налоговая отчетность в части экологической деятельности организации.

3. Отчетность по экологическим стандартам GRI.

4. Пояснительная записка к публичной нефинансовой отчетности в части раскрытия рисков и возможностей, связанных с изменением климата, и подходов к управлению такими рисками в публичной нефинансовой отчетности.

5. Экологическая политика организации.

6. Методы управления экологическими рисками и стандарты оценки ущерба от загрязнения окружающей среды.

Таким образом, данный состав экологической отчетности позволит интегрировать экономически значимую информацию в рамках национального и международного законодательства и обеспечит формирование необходимой информации об экологической деятельности для всех заинтересованных пользователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное авторами исследование позволило сделать вывод о том, что современная корпоративная интегрированная отчетность должна быть представлена публичной финансовой и нефинансовой отчетностью. Публичная нефинансовая отчетность в обязательном порядке должна интегрировать в себя экологическую отчетность компании, которая в свою очередь структурно должна включать статистические формы в части экологической деятельности, налоговую отчетность в части экологической деятельности и ресурсных налогов, отчетность по стандартам GRI, пояснительную записку к публичной нефинансовой отчетности в части раскрытия рисков и возможностей, связанных с изменением климата, и подходов к управлению такими рисками, экологическую политику организации. Сегодня на законодательном уровне состав и структура экологи-

ческой отчетности в рамках национальных стандартов учета и отчетности не закреплен, что имеет свои негативные последствия для раскрытия экономически значимой информации об экологической деятельности и экологические аспекты развития для заинтересованных пользователей.

В свою очередь нормативно-правовое регулирование публичной нефинансовой отчетности в РФ находится на начальном этапе развития, концептуальной основой подготовки публичной нефинансовой отчетности, включая экологическую отчетность должен стать проект Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности», на основе которого должны разрабатываться действующие федеральные стандарты бухгалтерского учета и отчетности (ФСБУ). Подготовка ФСБУ о раскрытии объектов экологических отношений в процессе хозяйственной деятельности и подготовке форм отчетности важнейший этап формирования документальной базы об объектах бухгалтерского учета в сфере экологической деятельности. Подготовка ФСБУ отражение экологических аспектов развития и деятельности хозяйствующих субъектов, по сути второй этап развития учета деятельности хозяйствующих субъектов в новой формации «экологичной» экономики. На заключительных этапах развития концепции публичной нефинансовой отчетности законодатель должен подготовить отраслевые стандарты учета и сформировать принципы подготовки внутрифирменных стандартов хозяйствующих субъектов с учетом международной практики и действующей системы нормативно-правового регулирования бухгалтерского учета.

Сегодня экологическая отчетность организации, по нашему мнению, должна включать следующие составляющие:

1. Описание организации и ее деятельности, включая информацию о миссии, целях, стратегии, структуре управления и производственных мощностях.

2. Описание методов оценки и управления экологическими рисками, связанными с деятельностью организации, включая меры по предотвращению загрязнения окружающей среды, уменьшению выбросов в атмосферу, водные и почвенные загрязнения, а также управление отходами.

3. Формы отчетных документов об экологической деятельности закрепленные в учетной политике организации [19].

Важно отметить, что каждая компания может иметь свои уникальные процедуры и требования в отношении оформления и раскрытия не публичной финансовой отчетности в части экологической отчетности. Поэтому, перед составлением отчетности, рекомендуется обратиться к внутренним правилам компании и соблюдать соответствующие требования законодательства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Островская О.Л. Роль аудита в развитии "зеленой" экономики // Аудиторские ведомости. 2015. N 5. С. 30–40.
2. Клычова Г.С., Салахутдинова Э.Р., Мухамедзянов К.З. Нефинансовая отчетность организаций: этапы и процедуры подготовки // Международный бухгалтерский учет. 2022. N 12. С. 1346–1359. <https://doi.org/10.24891/ia.25.12.1346>
3. Булыга Р.П. Аудит бизнеса: обзор действующих стандартов в фокусе ESG регулирования // Аудитор. 2022. Т.

8. N 7. С. 23–31. <https://doi.org/10.12737/1998-0701-2022-8-7-23-31>
4. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Рабаданов Р.М. Методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 1(62). С. 162–173. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-162-173>
5. Рощектаева У.Ю. Проблемы формирования интегрированной отчетности как инновационной модели корпоративной отчетности // Пространственная и структурная трансформация экономики России: проблемы и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции, Краснодар, 15–19 апреля 2019 года. Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ- филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России. 2019. С. 524–532.
6. Зенкина И.В. Повышение информативной и аналитической ценности публичной нефинансовой отчетности // Международный бухгалтерский учет. 2019. Т. 22. N 1(451). С. 4–23. <https://doi.org/10.24891/ia.22.1.4>
7. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н. и др. Современный зеленый курс России: проблемы и перспективы реализации // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3(64). С. 197–207. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-197-207>
8. Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В., Коноваленко С.А., Гаджиева У.А., Исмаилова О.С. Оценка перспектив устойчивого развития в условиях пандемии // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 1 (58). С. 98–109. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
9. Скрипкина О.В. Публичная нефинансовая отчетность: цели и принципы составления // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020: Сборник трудов III Международного научно-технического форума. В 10-ти томах, Рязань, 04–06 марта 2020 года / Под общ. ред. О.В. Милвзорова. Т. 8. Рязань: Индивидуальный предприниматель Коляхин Александр Викторович. 2020. С. 61–67.
10. Кибовская С.В. Современные тенденции нефинансовой отчетности нефтегазовых компаний в области устойчивого развития // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2019. N 9(177). С. 66–69. [https://doi.org/10.33285/1999-6942-2019-9\(177\)-66-69](https://doi.org/10.33285/1999-6942-2019-9(177)-66-69)
11. Маликова И.А. Развитие ESG в текущей политической ситуации Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых: Сборник трудов XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Челябинск, 22 апреля 2022 года / Науч. редакторы Д.В. Валько, А.М. Ромодина. Челябинск: Южно-Уральский технологический университет. 2022. С. 391–397.
12. Никулин А.А. Сырьевой сектор как фактор устойчивого экономического роста // Проблемы национальной стратегии. 2018. N 1(46). С. 169–188.
13. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Ахмедова Х.Г. и др. Анализ и статистическая оценка современного состояния экологической преступности, пути повышения эффективности их выявления // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 1. С. 169–180. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-169-18>
14. Сенаторова Е.А. Нефинансовая отчетность: международный контекст, российская практика // Корпоративные финансы. 2018. N 3. С. 81–92.
15. Гусева И.А., Ильинский А.И., Лукашенко И.В. и др. "Зеленые финансы" в мире и России. Москва: Русайнс, 2018. 168 с.
16. Бабичева Н.Э. Международный бухгалтерский учет // Москва: Финансы и кредит. 2015. N 3(345). 68 с.
17. Гоголева Т.Н., Бахтурина Ю.И. Экологический учет в системе видов учета // Международный бухгалтерский учет. 2015. N 3(345). С. 2–13.
18. Сапожникова Н.Г., Эльвия Б.К.М.А. О развитии нефинансовой отчетности в России // Современная экономика: проблемы и решения. 2018. N 4(100). С. 85–94. <https://doi.org/10.17308/meps.2018.04/1869>
19. 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>

REFERENCES

- Ostrovskaya O.L. The Role of Auditing in the Development of a "Green" Economy". *Auditorskie vedomosti* [Audit statements]. 2015, no. 5, pp. 30–40. (In Russian)
- Klychova G.S., Salakhutdinova E.R., Mukhamedzyanov K.Z. Non-financial reporting of organizations: stages and procedures of preparation. *International accounting*, 2022, no. 12, pp. 1346–1359. (In Russian) <https://doi.org/10.24891/ia.25.12.1346>
- Bulyga R.P. Business audit: a review of current standards in the focus of ESG regulation. *Auditor*, 2022, vol. 8, no. 7, pp. 23–31. (In Russian) <https://doi.org/10.12737/1998-0701-2022-8-7-23-31>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Rabadanov R.M. Methodological aspects of accounting for expenses on environmental safety and restoration of the environment. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 162–173. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-162-173>
- Roshchektaeva U.Yu. Problemy formirovaniya integrirovannoi otchetnosti kak innovatsionnoi modeli korporativnoi otchetnosti [Problems of formation of integrated reporting as an innovative model of corporate reporting]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Prostranstvennaya i strukturnaya transformatsiya ekonomiki Rossii: problemy i perspektivy»*, Krasnodar, 15–19 aprelya 2019 [Proceedings of the international scientific and practical conference "Spatial and structural transformation of the Russian economy: problems and prospects", Krasnodar, 15-19 April 2019]. Krasnodar, 2019, pp. 524–532. (In Russian)
- Zenkina I.V. Increasing the informative and analytical value of public non-financial reporting. *International accounting*, 2019, vol. 22, no. 1(451), pp. 4–23. (In Russian) <https://doi.org/10.24891/ia.22.1.4>
- Gadzhiev N. G., Konovalenko S. A., Trofimov M. N. et al. Russia's Modern Green Course: 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>
- Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V., Konovalenko S.A., Gadzhieva U.A., Ismailova O.S. Assessing the Prospects for Sustainable Development in the Context of a Pandemic. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 98–109. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
- Skripkina O.V. Publichnaya nefinansovaya otchetnost': tseli i printsipy sostavleniya. [Public non-financial reporting: objectives and principles of preparation]. *Sbornik trudov III Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo foruma. V 10-ti tomakh, «Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii - STNO-2020», Ryazan', 04 – 06 Marta 2020* [Collection of works of the III International scientific and technical forum. In 10 volumes "Modern technologies in science and education - STNO-2020", Ryazan, 04-06 March 2020]. Ryazan, 2020, pp. 61–67. (In Russian)
- Kibovskaya S.V. Modern trends in non-financial reporting of oil and gas companies in the field of sustainable development. *Problems of economics and management of the oil and gas*

complex, 2019, no. 9(177), pp. 66–69. (In Russian)

[https://doi.org/10.33285/1999-6942-2019-9\(177\)-66-69](https://doi.org/10.33285/1999-6942-2019-9(177)-66-69)

11. Malikova I.A. Razvitiye ESG v tekushchei politicheskoi situatsii [ESG development in the current political situation]. *Sbornik trudov XI Vserossiiskoi (natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennoi nauki: vzglyad molodykh», Chelyabinsk, 22 Aprelya 2022* [Collection of works of the XI All-Russian (national) scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Current issues of modern science: a view from the young", Chelyabinsk, 22 April 2022]. Chelyabinsk, 2022, pp. 391–397. (In Russian)

12. Nikulin A.A. The raw materials sector as a factor in sustainable economic growth. *Problemy natsional'noi strategii* [Problems of the national strategy]. 2018, no. 1(46), pp. 169–188. (In Russian)

13. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Akhmedova Kh.G. et al. Analysis and statistical assessment of the current state of environmental crime, ways to improve the efficiency of their detection. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 1, pp. 169–180. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-169-18>

14. Senatorova E.A. Non-financial reporting: international context, Russian practice. *Korporativnye finansy* [Corporate Finance]. 2018, no. 3, pp. 81–92. (In Russian)

15. Guseva I.A., Il'inskii A.I., Lukashenko I.V. et al. *Zelenye finansy" v mire i Rossii* ["Green finance" in the world and Russia]. Moscow, Rusains Publ., 2018, 168 p. (In Russian)

16. Babicheva N.E. *Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet* [International Accounting]. Moscow, Finansy i kredit Publ., 2015, no. 3(345), 68 p. (In Russian)

17. Gogoleva T.N., Bakhturina Yu.I. Environmental accounting in the system of accounting types. *Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet* [International accounting]. 2015, no. 3(345), pp. 2–13. (In Russian)

18. Sapozhnikova N.G., El'viya B.K.M.A. On the development of non-financial reporting in Russia. *Modern economy: problems and solutions*, 2018, no. 4(100), pp. 85–94. (In Russian) <https://doi.org/10.17308/meps.2018.04/1869>

19. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Gadzhiev A.N. The role and importance of environmental safety in the system of ensuring the economic security of the state. *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>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Назирхан Г. Гаджиев рассмотрел структуру и содержание публичной нефинансовой отчетности в соответствии с национальными и международными требованиями. Сергей А. Конаваленко предложил состав и содержание экологической отчетности в рамках концепции интегрированной корпоративной отчетности. Сформулировал выводы в рамках проведенного исследования. Михаил Н. Трофимов сформулировал выводы в рамках проведенного исследования, проанализировал перечень международных стандартов и наднациональных актов по раскрытию нефинансовой информации в части экологической составляющей в отчетности. Наталья В. Лазарева рассмотрела этапы становления публичной нефинансовой отчетности в Российской Федерации. Низами А. Юсуфов рассмотрел перечень экономически значимой информации, которую рекомендуется раскрывать в части экологической деятельности в публичной нефинансовой отчетности. 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

Nazirkhan G. Gadzhiev reviewed the structure and content of public non-financial reporting in accordance with national and international requirements. Sergey A. Konovalenko proposed the composition and content of environmental reporting within the concept of integrated corporate reporting and formulated conclusions in the framework of the study. Mikhail N. Trofimov formulated conclusions within the framework of the study, analysed the list of international standards and supranational acts on the disclosure of non-financial information in terms of the environmental component in reporting. Natalia V. Lazareva reviewed the stages of formation of public non-financial reporting in the Russian Federation. Nizami A. Yusufov reviewed the list of economically significant information that is recommended to be disclosed in terms of environmental performance in public non-financial reporting. 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

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Наталья В. Лазарева / Natalia V. Lazareva <https://orcid.org/0000-0002-5490-9936>

Сергей А. Конаваленко / Sergey A. Konovalenko <https://orcid.org/0000-0001-9696-942X>

Михаил Н. Трофимов / Mikhail N. Trofimov <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

Низами А. Юсуфов / Nizami A. Yusufov <https://orcid.org/0000-0001-5213-7787>

Original article / Оригинальная статья
УДК 582.284 (470.67) + 582.29
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-21



Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia)

Sergey V. Volobuev¹, Aziz B. Ismailov², and Yuliya Yu. Ivanushenko³

¹Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

²Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of RAS, Makhachkala, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Sergey V. Volobuev, Candidate of Sciences (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Systematics and Geography of Fungi, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences; 2 Professora Popova Str., Saint Petersburg, Russia 197022.
Tel. +78123725469
Email sergovolobuev@binran.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

How to cite this article

Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu. Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(3):219-229. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-21

Received 27 June 2024

Revised 20 July 2024

Accepted 15 August 2024

Abstract

Aim. Xylobiont fungi and lichens determine the sustainability of forest ecosystems, but their species richness and taxonomic diversity depend on the forest type and the degree of its disturbance. Alder forests, characterised by a specific set of ecological conditions, represent poorly studied habitats in terms of myco- and lichenobiota. The aim of this work was to determine the species composition of aphylloroid fungi and epiphytic lichens on a 1 ha sample plot in a lowland floodplain forest dominated by *Alnus glutinosa* in the Delta Samura area of the Samursky National Park.

The authors collected basidiomata of lignicolous fungi and lichen specimens on a sample plot of 1 ha during field studies. The surveyed forest area is represented by a community dominated by *Alnus glutinosa* and lianas. The material was identified using light microscopy techniques and a standard set of chemical reactions.

Thirty-three species of aphylloroid fungi (Basidiomycota) and 53 species of lichens and allied fungi (Ascomycota) were identified. Among them, 16 species (48 %) of aphylloroid fungi were recorded for the first time for the Samursky National Park, including six species revealed for the first time for the Republic of Dagestan, of which three species (*Donkia pulcherrima*, *Phanerochaete cumulodentata* and *Sertulicium granuliferum*) were new to the Northern Caucasus. Lichen species *Arthothelium ruanum*, *Bacidia arceutina* and *Graphis pulverulenta* are listed for the first time for the Republic of Dagestan. At the same time, 21 species of lichenized fungi were recorded for the first time on *Alnus glutinosa* within the region.

The taxonomical structure of aphylloroid fungi revealed reflects the spring period of basidiomata-based field study. The predominance of corticioid fungi and revealing hydroid species among morphological groups may be indicative of the generally wetter habitats of alder forests in comparison to other forest types distributed in the studied area. Most of species were recorded on dead wood of *Alnus glutinosa* as the main forest-forming tree. At the same time, each of other substrates (*Carpinus betulus* and *Corylus avellana*) turned out to be the habitat of species new to the region. The group of fungal species developing on large-scale substrate units, represented by fallen trunks, was the most prevalent and is to be considered as more vulnerable in a case of anthropogenic habitat disturbance. The majority of epiphytic lichens discovered on alder are not specific to this woody substrate, except for single findings. These species belong to epiphytes inhabiting the Samur forest, the core of the lichenobiota of which is composed of thermophilous lichens of lowland deciduous forests. In our opinion, the relict character of the forest, which is an isolated and rather small forest massif with relatively homogeneous climatic conditions, causes a high similarity between the species composition of lichens revealed in the surveyed sample plot with *Alnus glutinosa* and previously studied plots dominated by *Carpinus betulus*, *Populus alba*, and *Quercus robur*.

Key Words

Ascomycota, Basidiomycota, black alder forest, East Caucasus, epiphytic lichens, inventory, protected nature area, polypores, corticioid fungi, xylobionts, *Donkia pulcherrima*.

Миколихенологический портрет ольхового леса: альфа-разнообразия, выявленное на лесном участке площадью 1 га в национальном парке «Самурский» (Республика Дагестан, Россия)

Сергей В. Волобуев¹, Азиз Б. Исмаилов², Юлия Ю. Иванушенко³

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

²Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Сергей В. Волобуев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН; 197022 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2.
Тел. +78123725469
Email sergvolobuev@binran.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

Формат цитирования

Volobuev S.V., Ismailov A.B., Ivanushenko Yu.Yu. Mycolichenological portrait of alder forest: alpha diversity revealed in 1ha plot in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 3. С. 219-229. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-21

Получена 27 июня 2024 г.

Прошла рецензирование 20 июля 2024 г.

Принята 15 августа 2024 г.

Резюме

Цель. Ксилобионтные грибы и лишайники определяют устойчивость лесных экосистем, однако их видовое богатство и таксономическое разнообразие зависит от типа леса и степени его нарушенности. Ольховые леса, характеризующиеся специфическим набором экологических условий, представляют собой малоизученные местообитания в отношении мико- и лишайнобиоты. Целью данной работы являлось выявление видового состава афиллофороидных грибов и эпифитных лишайников на 1 га пробной площади в низменном пойменном лесу с доминированием *Alnus glutinosa* на территории кластера «Дельта Самура» национального парка «Самурский».

В ходе полевых исследований сбор плодовых тел грибов и образцов лишайников проводился авторами на пробной площади 1 га. Обследованный участок леса представлен сообществом с преобладанием *Alnus glutinosa* и лианами. Материал был идентифицирован с использованием методов световой микроскопии и стандартного набора химических реакций.

Выявлено 33 вида афиллофороидных грибов (Basidiomycota) и 53 вида лишайников и близких к ним нелихенизированных грибов (Ascomycota). Среди них 16 видов (48 %) афиллофороидных грибов отмечены впервые для территории национального парка «Самурский», в том числе шесть видов указываются впервые для Республики Дагестан, из них три вида (*Donkia pulcherrima*, *Phanerochaete cumulodentata* и *Sertulicium granuliferum*) оказались новыми для Северного Кавказа. Виды лишайников *Arthothelium ruanum*, *Bacidia arceutina* и *Graphis pulverulenta* впервые приводятся для Республики Дагестан. В то же время, 21 вид лишенизированных грибов впервые отмечены на *Alnus glutinosa* в пределах региона.

Выявленная таксономическая структура афиллофороидных грибов отражает специфику полевых исследований, проведенных в весенний период. Преобладание среди морфологических групп кортициоидных грибов и обнаружение видов с шиповатым гименофором может свидетельствовать о более влажных условиях черноольшаника по сравнению с другими типами леса, распространенными на исследуемой территории. Большинство видов отмечено на валежной древесине *Alnus glutinosa* как основной лесообразующей породы. В то же время, каждый из других древесных субстратов (*Carpinus betulus* и *Corylus avellana*) оказался местообитанием новых для региона видов. Группа видов грибов, развивающихся на крупных субстратных единицах, представленных валежными стволами, была преобладающей и может рассматриваться как наиболее уязвимая в случае антропогенного нарушения среды обитания. Большинство эпифитных лишайников, выявленных на ольхе, не являются специфическими для данного древесного субстрата, за исключением единичных находок. Эти виды относятся к эпифитам, обитающим в Самурском лесу, ядро лишайнобиоты которого составляют теплолюбивые лишайники низменных лиственных лесов. На наш взгляд, реликтовый характер леса, представляющий собой изолированный и довольно небольшой лесной массив с относительно однородными климатическими условиями, обуславливает высокое сходство видового состава лишайников, выявленных на обследованной пробной площади с *Alnus glutinosa* и ранее изученных участков с доминированием *Carpinus betulus*, *Populus alba*, *Quercus robur*.

Ключевые слова

Аскомицеты, базидиомицеты, черноольшаник, Восточный Кавказ, эпифитные лишайники, инвентаризация, особо охраняемая природная территория, трутовика, кортициоидные грибы, ксилобионты, *Donkia pulcherrima*.

INTRODUCTION

Xylobiont fungi and lichens determine the sustainability of forest ecosystems, being an integral part of nutrient and energy cycles. These organisms play a crucial role as source of nutrition and dwelling for various groups of heterotrophic organisms, such as insects, molluscs, birds, etc. At the same time, species richness and taxonomic diversity of xylobiont fungi and lichens highly depend on the forest structure and the degree of its disturbance. In this regard, protected natural areas, especially nature reserves and national parks, are worthy of special attention.

The Samursky National Park is a unique habitat for many groups of organisms, including Hyrcanian elements, Tertiary relicts and rare species of vascular plants. This study is a continuation of our researches on

alpha diversity of aphylloroid fungi and epiphytic lichens inhabits the Samur forest [1].

Alder forests, characterized by a specific set of ecological conditions, represent poorly studied habitats in terms of myco- and lichenobiota. The aim of this work is to determine the species composition of aphylloroid fungi and epiphytic lichens on a 1 ha sample plot in a lowland floodplain forest dominated by *Alnus glutinosa* in the Delta Samura area of the Samursky National Park.

MATERIALS AND METHODS

The specimens of aphylloroid fungi and epiphytic lichens (include lichenicolous and non-lichenized saprophytic fungi) were collected from 1-ha plot in the Samursky National Park (Fig. 1) during three days in May 2024. Detailed characterization of investigated plot is described below.



Figure 1. Location of the studied sample plot

Рисунок 1. Местоположение изученной пробной площади

All variety of woody substrates was studied – dry and fallen branches, deadwood, logs, snags, stumps, fallen and standing trunks, etc. Macromorphological and microscopical studies of specimens were carried out by light microscopy technique using routine spot-tests for lichens (KOH, hypochlorite, paraphenylenediamine and UV light) and the standard set of chemicals (5 % KOH, Melzer's reagent, 0.1 % Cotton Blue) for aphylloroid fungi. The specimens are deposited in the herbaria of the Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the RAS (DAG) and the Komarov Botanical Institute of the RAS (LE).

Investigated plot

Russia, Eastern Caucasus, Republic of Dagestan, Magaramkentsky district, Samursky National Park ("Delta Samura" area), 41.85043° N, 48.50897° E, alt. 6 m below the sea level, 07.05.2024–09.05.2024. One-ha plot in the black alder forest (Fig. 2). Dominated tree species: *Alnus glutinosa* (*Carpinus betulus* sporadically). Tree canopy density – 90 %. The second tree layer: *Acer campestre*, *Crataegus pentagyna*, *Ulmus laevis*. Undergrowth: *Cornus mas*, *Mespilus germanica*, *Prunus divaricata*. Lianas: *Hedera pastuchowii*, *Pereploca graeca*, *Smilax excelsa*, *Vitis silvestris*. Herbal layer: *Solenanthes biebersteinii*. Covering of the herbal layer – 95 %. Average height and diameter of dominated trees: *Alnus glutinosa* – 15–17 m, 50–60 cm. General relief is flat with pronounced micro-relief (depressions).



Figure 2. Studied forest plot dominated by *Alnus glutinosa*
Рисунок 2. Изученный участок леса с доминированием *Alnus glutinosa*

RESULTS AND DISCUSSION

In total, 33 species of aphylophoroid fungi (Basidiomycota) and 53 species of lichens and allied non-lichenized fungi (Ascomycota) have been revealed within surveyed plot. The species identified are listed below in the alphabetical order with data on substrata and herbarium numbers of specimens. Species new to the Northern Caucasus are marked with an exclamation point. An asterisk shows the species recorded for the Republic of Dagestan for the first time.

Species list of aphylophoroid fungi

- * ***Antrodiella romellii*** (Donk) Niemelä — on fallen branches of *Carpinus betulus*, LE F-334881.
- Athelia epiphylla* Pers. — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334882.
- Auricularia auricula-judae* (Bull.) Quéf. — on fallen branches of *Carpinus betulus*, LE F-334872.
- Auricularia mesenterica* (Dicks.) Pers. — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334877.
- Baltazaria galactina* (Fr.) Leal-Dutra, Dentinger et G.W. Griff. — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334887.
- Botryobasidium capitatum* (Link) Rossman et W.C. Allen — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334899.
- Brevicellicium olivascens* (Bres.) K.H. Larss. et Hjortstam — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334879.
- Ceriporia purpurea* (Fr.) Donk — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334890.
- Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt. — on fallen branches of *Alnus glutinosa*.
- ! ***Donkia pulcherrima*** (Berk. et M.A. Curtis) Pilát — on fallen trunks of *Alnus glutinosa*, LE F-334873, LE F-334903. Fig. 4, A.

Fibrodontia gossypina Parmasto — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334885.

Fomes fomentarius (L.) Fr. — on living trunk of *Alnus glutinosa*.

Fomitopsis pinicola (Sw.) P. Karst. — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334874.

Hydnophlebia caspica (Hallenb.) C.L. Zhao — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334883.

Kneiffiella abdita Riebesehl et Langer — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334902.

Lyomyces sambuci (Pers.) P. Karst. — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334878.

Mycoacia aurea (Fr.) J. Erikss. et Ryvarden — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334901.

Odontia ferruginea Pers. — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334904. Fig. 3, B.

! ***Phanerochaete cumulodentata*** (Nikol.) Parmasto — on fallen branches of *Corylus avellana*, LE F-334871.

Phanerochaete livescens (P. Karst.) Volobuev et Spirin — on fallen branches of *Carpinus betulus*, LE F-334880, LE F-334884, on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334886.

! ***Sertulicium granuliferum*** (Hallenb.) Spirin et Volobuev — on fallen trunks of *Alnus glutinosa*, LE F-334889, LE F-334906. Fig. 4, B.

Sidera vulgaris (Fr.) Miettinen — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334900.

* ***Steccherinum bourdotii*** Saliba et A. David — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334893. Fig. 3, A.

Steccherinum ochraceum (Pers. ex J.F. Gmel.) Gray — on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334892.

* ***Stereum subtomentosum*** Pouzar — on fallen trunks of *Alnus glutinosa*, LE F-334895, LE F-334897.

Thelephora ellisii (Sacc.) Zmitr., Shchepin, Volobuev et Myasnikov (≡ *Tomentella ellisii* (Sacc.) Jülich & Stalpers) — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334894.

Thelephora extendens Kõljalg, I. Saar et Svantesson (≡ *Tomentella radiosa* (P. Karst.) Rick) — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334876.

Trametes hirsuta (Wulfen) Lloyd — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334905.

Trametes versicolor (L.) Lloyd — on fallen trunk and stumps of *Alnus glutinosa*.

Trechispora cohaerens (Schwein.) Jülich et Stalpers — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334888.

Trechispora farinacea (Pers.) Liberta — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334875.

Trichaptum biforme (Fr.) Ryvarden — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334896.

Xylodon radulooides Riebesehl et Langer — on fallen trunk of *Alnus glutinosa*, LE F-334898, on fallen branches of *Alnus glutinosa*, LE F-334891.



Figure 3. Basidiomata of *Steccherinum bourdotii* (LE F-334893) (A) and *Odontia ferruginea* (LE F-334904) (B)
Scale bars: 1 cm

Рисунок 3. Базидиомы *Steccherinum bourdotii* (LE F-334893) (A) и *Odontia ferruginea* (LE F-334904) (B)
Масштабные линейки: 1 см

Species list of lichens and allied fungi

Acrocordia gemmata (Ach.) A. Massal. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Alyxoria varia (Pers.) Ertz et Tehler — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Anaptychia setifera (Mereschk.) Räsänen — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Arthonia atra (Pers.) A. Schneid. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1530).

Arthonia radiata (Pers.) Ach. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

* *Arthothelium ruanum* (A. Massal.) Kõrb. — on branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1525).

Athallia pyracea (Ach.) Arup, Frödén et Söchting — on trunk of *Alnus glutinosa*.

* *Bacidia arceutina* (Ach.) Arnold — on branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1526).

Bacidia polychroa (Th. Fr.) Kõrb. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Bacidia rubella (Hoffm.) A. Massal. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Bacidina delicata (Larbal. ex Leight.) V. Wirth et Vězda — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Bacidina phacodes (Kõrb.) Vězda — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1539).

Bactrospora dryina (Ach.) A. Massal. — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1527).

Caloplaca cerina (Hedw.) Th. Fr. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Candelaria concolor (Dicks.) Stein — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Candelariella aurella (Hoffm.) Zahlbr. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Candelariella xanthostigma (Ach.) Lettau — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Catillaria nigroclavata (Nyl.) Schuler — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Diarthonis spadicea (Leight.) Frisch, Ertz, Coppin et P.F.Cannon — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1536).

Enterographa crassa (DC.) Fée — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Enterographa hutchinsiae (Leight.) A. Massal. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Glaucomaria carpinea (L.) S.Y. Kondr., Lökkös et Farkas — on trunk and branches of *Alnus glutinosa* (margin of apothecia P-).

Glaucomaria leptyroides (G.B.F. Nilsson) S.Y. Kondr., Lökkös et Farkas — on trunk of *Alnus glutinosa* (disc of apothecia C+ bright yellow, margin of apothecia P+ pale yellow).

Graphis betulina (Pers.) Ach. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

* *Graphis pulverulenta* (Pers.) Ach. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1533).

Graphis scripta (L.) Ach. s. str. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1529).

Gyalolechia flavorubescens (Huds.) Söchting, Frödén et Arup — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Lecania cyrtella (Ach.) Th. Fr. — on branches of *Alnus glutinosa*.

Lecania naegelii (Hepp) Diederich et van den Boom — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1532).

Lecanora argentata (Ach.) Malme — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Lecanora chlarotera Nyl. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Lecidea erythrophaea Flörke ex Sommerf. — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1531).

Lecidella elaeochroma (Ach.) M. Choisy — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Melanelixia glabra (Schaer.) O. Blanco et al. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Melanelixia subaurifera (Nyl.) O. Blanco et al. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Milospium graphideorum (Nyl.) D. Hawksw. — on crust with *Trentepohlia* growing on trunk of *Alnus glutinosa*.

Myriolecis hagenii (Ach.) Śliwa, Zhao Xin et Lumbsch — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Naetrocymbe punctiformis (Pers.) R.C. Harris — on branches of *Alnus glutinosa*.

Parmelia sulcata Taylor — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Peridiothelia fuliguncta (Norman) D. Hawksw. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Phaeophyscia nigricans (Flörke) Moberg — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Phaeophyscia orbicularis (Neck.) Moberg — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Physcia adscendens H. Olivier — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Physcia aipolia (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Physcia stellaris (L.) Nyl. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Physconia distorta (With.) J. R. Laundon — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Physconia enteroxantha (Nyl.) Poelt — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1534).

Porina aenea (Wallr.) Zahlbr. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa* (DAG 1528).

Pyrenula chlorospila Arnold — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Pyrenula nitidella (Schaer.) Müll. Arg. — on trunk of *Alnus glutinosa*.

Ramalina farinacea (L.) Ach. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Ramalina pollinaria (Westr.) Ach. — on trunk of *Alnus glutinosa* (DAG 1535).

Xanthoria parietina (L.) Th. Fr. — on trunk and branches of *Alnus glutinosa*.

Our species lists include species and genera new to the Republic of Dagestan and to the Northern Caucasus. Detailed information on these new records is presented below.

New to the Northern Caucasus species of aphyllorphoroid fungi

Donkia pulcherrima (Berk. et M.A. Curtis) Pilát — new species to the Northern Caucasus (Fig. 4, A). This remarkable hydroid fungus grows on dead wood of deciduous trees (aspen, beech, birch, linden, oak), rarely conifers (fir). It is a saprotroph, causing a white rot. According to macromorphology features such as pileate basidiomata, imbricate growth and hydroid hymenophore, the species was related to the genus *Climacodon* for a long time [2; 3]. The results of molecular phylogenetic studies

[4; 5] together with previously known micromorphological differences argued the replacement of the species to the genus *Donkia*. Our records of *D. pulcherrima* on fallen trunks of *Alnus glutinosa* are the first findings for the Northern Caucasus. The nearest locality of the species in Russia is known in the Republic of Crimea [6]. Due to its sporadic distribution and a few regional collections, the species is red-listed in five Russian regions, namely Lipetsk Oblast [7], the Republic of Tatarstan [8], the Udmurt Republic [9], the Republic of Sakha (Yakutia) [10], Kamchatka Krai [11].

Phanerochaete cumulodentata (Nicol.) Parmasto — new species to the Northern Caucasus. The species was taxonomically validated in 2015, and the differences with the North American species *Phanerochaete magnoliae* (Berk. et M.A. Curtis) Burds. were stressed [12]. *Ph. cumulodentata* is distributed in temperate and hemiboreal zones of Europe [3] although it seems to be uncommon. It often occurs on fallen branches and thin logs of deciduous trees (alder, aspen, birch, bird cherry, linden, oak, rowan, willow) and occasionally on dead basidiomata of polypores (*Fomes*, *Phellinus*) [12; 13]. In the Caucasus region the species was known from Georgia and Iran [14]. Our finding on fallen branches of *Corylus avellana* is the first record for the Northern Caucasus. The closest localities of the fungus in Russia are registered in the Republic of Crimea [15] and Rostov Oblast [16].

Sertulicium granuliferum (Hallenb.) Spirin et Volobuev — new species to the Northern Caucasus (Fig. 4, B). The species was introduced as a member of newly described genus *Sertulicium* according to the taxonomic revision of *Sistotremastrum* and similar-looking taxa [17]. Previously, the fungus was known under the names of *Trechispora granulifera* Hallenb. (described from Iran) and *Sistotremastrum guttuliferum* Melo, M. Dueñas, Telleria & M.P. Martín (described from Portugal), which are conspecific. *S. granuliferum* is widely distributed in temperate Eurasia. It grows on wood remnants of deciduous trees (alder, aspen, birch, bird cherry, linden, maple, oak), mostly on decayed wood but a few on still corticated, rather tough branches or logs. Our records from fallen trunks of *Alnus glutinosa* are the first findings of the species for the Northern Caucasus. The nearest locality in Russia is revealed in the Donetsk People's Republic [17].

New to the Republic of Dagestan species of aphyllorphoroid fungi

Antrodiella romellii (Donk) Niemelä — new species to the Republic of Dagestan. The species is one of the few members of the genus *Antrodiella* with resupinate basidiomata. It grows on fallen branches and trunks of different deciduous trees and shrubs (alder, aspen, birch, bird cherry, elm, hazel, linden, oak, rowan, willow, etc.) [13]. The fungus is widespread species in Russia [18], but so far in the Caucasus it was only recorded in the Karachay-Cherkess Republic [19]. Our record on fallen branches of *Carpinus betulus* is the second finding of the species for the Northern Caucasus.

Steccherinum bourdotii Saliba et A. David — new species to the Republic of Dagestan (Fig. 3, A). This pileate fungus with hydroid hymenophore belongs to xylosaprotrophs, causing a white rot. It grows on dead wood of a wide range of deciduous tree and shrubs hosts. The main distinguishing morphological characteristic is subglobose to globose shape of basidiospores, 4.5–5.5(–6) x 3–5 µm according to Bernicchia and Gorjón

[3]. Our record on fallen trunk of *Alnus glutinosa* extends the known distribution of the species in the Northern Caucasus, where previously *S. bourdotii* was only registered in Krasnodar Krai [14].

Stereum subtomentosum Pouzar — new species to the Republic of Dagestan. The species is common and widely distributed in Eurasia [20]. It grows on dead wood of various deciduous trees (alder, aspen, beech, birch, elm, hornbeam, maple, oak, etc.), causing a write rot. This

corticoid fungus is differentiated by effuse-reflexed to pileate basidiomata with finely tomentose upper sterile surface and hymenium excreting a yellowish liquid when fresh and cut [3]. While the records of the species were known from different regions of the Northern Caucasus and Transcaucasia [14], but our collections from fallen trunks of *Alnus glutinosa* in the Samursky National Park are the first findings of *S. subtomentosum* in the Republic of Dagestan.



Figure 4. Basidiomata of *Donkia pulcherrima* (LE F-334873) (A) and *Sertulicium granuliferum* (LE F-334906) (B)
Scale bars: A – 1 cm, B – 2 cm

Рисунок 4. Базидиомы *Donkia pulcherrima* (LE F-334873) (A) и *Sertulicium granuliferum* (LE F-334906) (B)
Масштабные линейки: A – 1 см, B – 2 см

New to the Republic of Dagestan species of lichenized fungi
Arthothelium ruanum (A. Massal.) Körb. (Fig. 5, A) – new species to the Republic of Dagestan. This temperate-suboceanic lichen is mostly found on smooth bark of deciduous trees and shrubs in humid deciduous forests, often on the basal parts of trunks. The species is uncommon in the studied plot, we found the only specimen. In the Samur forest, similar species *A. spectabile* is more common, which differs by larger spores. Both species are characterized by immersed in substrate thallus.

Bacidia arceutina (Ach.) Arnold – new species to the Republic of Dagestan. The mild-temperate to humid subtropical species is found on bark of broad-leaved trees in open deciduous woodlands. The species was collected on branches of *Alnus glutinosa* within the studied plot. It is distinguishing from other *Bacidia* species of similar appearance by the lack of greenish or purplish apothecial pigments [21].

Graphis pulverulenta (Pers.) Ach. (Fig. 5, B) – new species to the Republic of Dagestan. The taxon of the *G. scripta*-group is characterized by apothecia with mostly acute ends and widely exposed white to grey pruinose discs. It is found on bark of broad-leaved trees in various forest types. Neuwirth and Aptroot [22] recognized four distinct taxa in *G. scripta* s. lat. based on apothecium morphology – *G. betulina*, *G. macrocarpa*, *G. pulverulenta* and *G. scripta* s. str. More recent study based on molecular and morphological characters [23] showed that apothecium morphology cannot be only trait for classification of this complex. In the absence of current revision of the *G. scripta*-group we follow the taxonomy proposed by Neuwirth and Aptroot [22].

Aphyllorphoid fungi

A total of 33 aphyllorphoid fungi species (Agaricomycetes, Basidiomycota) were revealed during carried out spring-time mycological investigations. Among them, six species are recorded for the first time for the Republic of Dagestan, including *Donkia pulcherrima*, *Phanerochaete cumulodentata*, and *Sertulicium granuliferum* which are new to the Northern Caucasus. In addition, 16 species have been registered for the first time for the Samursky National Park.

The taxonomical structure in the order level showed the predominance of *Polyporales* (14 species). The list of leading in species number orders includes *Hymenochaetales* (6 species) and *Trechisporales* (4 species). This structure differs from the typical order spectrum characterized for aphyllorphoid fungi of temperate deciduous and boreal forests where the third position in the list of leading orders usually belongs to *Agaricales* or *Russulales*. It seems to be the differences are in connection with the period of basidiomata-based field study, and further additions to species richness of aphyllorphoid fungi within studied forest type are to be expected due to the representatives of these orders first of all.

Corticoid fungi were the main morphological group, which is presented by 17 species, or 51.5 %. This fact corresponds to the proportions revealed for aphyllorphoid fungi in previously studied two 1ha plots in the Samursky National Park [1]. Poroid fungi include 11 species, or 33.3 %. Among hydroid basidiomycetes, which combine five species, two species (*Donkia pulcherrima*, *Steccherinum bourdotii*) are recorded for the

first time for the Republic of Dagestan. The observed diversity of morphological groups of aphylloroid fungi may be indicative of the generally wetter habitats of alder

forests in comparison to other forest types that have been previously surveyed.

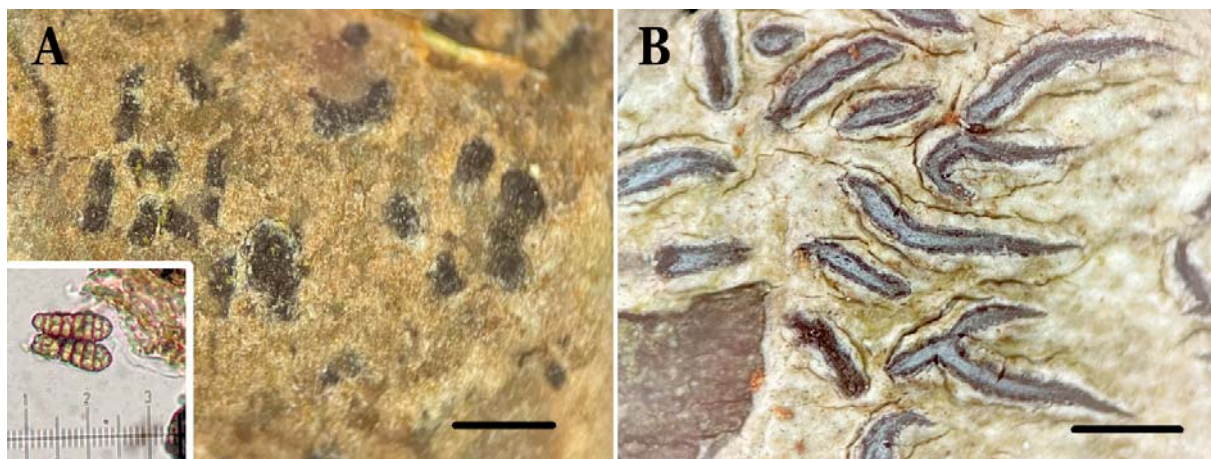


Figure 5. *Arthothelium ruanum* (A), scale bar – 0.5 mm, spores – 600x; *Graphis pulverulenta* (B), scale bar – 0.5 mm
Рисунок 5. *Arthothelium ruanum* (A), масштабная линейка – 0.5 мм, споры – 600x; *Graphis pulverulenta* (B), масштабная линейка – 0.5 мм

Most of species were recorded on dead wood of *Alnus glutinosa* (29 species) as the basic forest-forming tree. A significantly lower number of fungal species were discovered on other woody substrates: on dead wood of *Carpinus betulus* – three species (*Antrodiella romellii*, *Auricularia auricula-judae*, *Phanerochaete livescens*), and on dead wood of *Corylus avellana* – one species (*Phanerochaete cumulodentata*). At the same time, each substrate unit (hornbeam and hazel) turned out to be the habitat of species new to the region. Basidiomata of one species (*Fomes fomentarius*) were registered on living trunk of *Alnus glutinosa*. This species belongs to the group of facultative pathogens, which are primarily destroyed dead wood of fallen and dry standing trees, but sometimes they are able to develop on alive host plants. Mycorrhizal species within the studied plot are presented by *Thelephora ellisii* and *Th. extendens* developing their basidiomata on fallen trunks of black alder.

The distribution of fungal species according to the dimensionality of the substrates inhabited demonstrated that the group of species developing on large-scale substrate units, represented by black alder trunks, was the most prevalent (21 species). Simultaneously, basidiomata of 13 fungal species were observed on dead branches, with 10 species developing on black alder branches and another three on other tree species. One species, *Phanerochaete livescens*, was collected from fallen branches of *Alnus glutinosa* and *Carpinus betulus*. This species was exhibited ecological plasticity with regard to the woody substrates that are appropriate for its growth and development. Another species, *Xylodon radulooides*, was recorded on both dead trunks and fallen branches of *Alnus glutinosa*, which may indicate that there is no strict confinement to the size of the substrate inhabited.

Among remarkable records of aphylloroid fungi *Brevicellicium olivascens* and *Hydnophlebia caspica* have to be noted. The latter species is revealed for the second time not only in the Republic of Dagestan, but in Russia. *H. caspica* was earlier recorded on the Gunib Plateau from the on fallen trunk of *Betula* sp. in herb-rich birch forest [24]. This species is found on fallen branches of *Alnus glutinosa* during this survey. *Brevicellicium olivascens* is

uncommon corticioid fungus, registered in the Republic of Dagestan for the second time, besides the finding on *Juniperus oblonga* wood from the Gunib Plateau [25].

Lichenized fungi

Fifty-three taxa of lichenized and allied fungi were recorded overall with high diversity in the families *Ramalinaceae* (9 species), *Physciaceae* (8) and *Lecanoraceae* (6). Out of them, three are new to the Republic of Dagestan, i.e. *Arthothelium ruanum*, *Bacidia arceutina*, *Graphis pulverulenta*. Other 21 taxa, already known from the Samur liana forest, were never reported before on the *Alnus* here and through Dagestan. One of the recorded species, i.e. *Milospium graphideorum*, is a lichenicolous fungus and *Peridiothelia fuligincta* is non-lichenized saprotrophic fungus.

Most of lichenized species are crustose (35, 70.6 %) or foliose (9, 17.6 %), while a smaller proportion are fruticose (6, 11.7 %). The majority has a green globose alga as photobiont (35, 68.6 %), whereas fewer species have a trentepohlioid green alga (16, 31.4 %). The most of revealed species reproduce sexually (45, 84.9 %), fewer by means of soredia or isidia (8, 15.1 %). The trunk bark hosts 33 taxa, 16 species have been revealed on trunk and branches, and only four species (*Arthothelium ruanum*, *Bacidia arceutina*, *Lecania cyrtella*, *Naetrocymbe punctiformis*) – on branches.

Among the species of conservation value, *Enterographa hutchinsiae* is listed in the Red Data Book of the Republic of Dagestan as vulnerable [26]. This epiphytic lichen belongs to a predominantly tropical genus and has oceanic tendency in its distribution. Within Russia, it is found only in the Caucasus as whole the species of the genus *Enterographa*. Other species rarely recorded in the region, and therefore they are considered of some conservation interest at least at the regional level are *Bactrospora dryina*, *Diarthonis spadicea*, and *Enterographa crassa*. They are recognized as species of old-growth forests and are also growing in the Republic of Dagestan only in the Samur liana forest. *Bactrospora dryina* is rare and threatened in most European countries and specifically related to old-growth floodplain forests [27]. This

vulnerable species included in the red lists of Austria, Great Britain, Italy, Germany, Switzerland, Sweden, with main threats of habitat loss and eutrophication due to the way in which forests or rivers are managed [27; 28]. Similar patterns of anthropogenic transformation we observe in the studied communities. *Diarthonia spadicea* within the Caucasus found mainly on protected areas or in virgin forests (e.g. [29; 30]). This conforms to habitat that has been the focus of our study. *Enterographa crassa* is subtropical epiphytic lichen found on smooth bark in riparian, open, humid-warm woodlands. Such communities with suitable habitat are rare in Dagestan and preserved only in the delta of the Samur River. In the Caucasus this species known besides our locality also from the Western Caucasus in Khosta Yew-box grove [31] and from Transcaucasia (Talysh) [32], as *Chiodecton venosum* (Pers.) Zahlbr.).

Revealed epiphytic lichens of alder are not specific, with the exception of new records. They replicate the common epiphytes observed in the Samur forest, which core is characterized by thermophilic lowland deciduous forest species. Low diversity of epiphytes on the alder plot (53 species) we explain with strongly shaded trunks by lianas (Fig. 2) and monodominant community in general. A previous study on a 1-ha plot in the old growth core forest, which was dominated by *Quercus robur* with *Acer campestre* and *Carpinus betulus*, revealed the presence of 82 species (60 on oak, 53 on hornbeam and 25 on maple). Additionally, a notable number of species were observed to be specific to these phorophytes [33]. Other data obtained on two 1-ha plots in polydominant communities also in Samur forest showed a total diversity of epiphytes at 89 species [1]. Compared these data with, e.g., 112 species in an old-growth lowland forest in the Czech Republic [34] show a low diversity of epiphytes on studied plots (include present data) within Samur liana forest.

Similar trends of low diversity, lichen crusts predominance and high proportion of lichens with *Trentepohlia* photobiont revealed within alder and all previously studied plots in the Samur liana forest. In our view, these similarities due to the relict character of the forest – it is an isolated and rather small lowland forest remnant with uniform microclimatic conditions, which lichens communities are in the last stages of succession.

CONCLUSION

Our research expanded the knowledge on species richness and taxonomical diversity of aphylloroid and lichenized fungi inhabit the forests dominated by *Alnus glutinosa* in the Samursky National Park. A total of nine species are new to the Republic of Dagestan, including three fungal species revealed for the first time for the Northern Caucasus. Nevertheless, the taxonomical structure of aphylloroid fungi revealed reflects the spring period of basidiomata-based field study, and it demonstrates further possibilities for additions to the species richness revealed.

Most of aphylloroid fungi species were recorded on dead wood of *Alnus glutinosa* as the main forest-forming tree. At the same time, each of other woody substrates (*Carpinus betulus* and *Corylus avellana*) turned out to be the habitat of species new to the Republic of Dagestan. The predominance of fungal species developing on large-scale substrate units, represented by fallen trunks, allows us to consider these species group as more vulnerable in a case of anthropogenic habitat

disturbance, such as logging and removal of large dead wood units.

The majority of epiphytic lichens discovered on alder are not specific to this woody substrate, except for single findings. These species belong to epiphytes inhabiting the Samur forest, the core of the lichenobiota of which is composed of thermophilous lichens of lowland deciduous forests. In our opinion, the relict character of the forest, which is an isolated and rather small forest massif with relatively homogeneous climatic conditions, causes a high similarity between the species composition of lichens revealed in the surveyed sample plot with *Alnus glutinosa* and previously studied plots dominated by *Carpinus betulus*, *Populus alba*, and *Quercus robur*.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Russian Science Foundation (RSF project N 23-24-00335).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ №23-24-00335.

REFERENCES

1. Ismailov A.B., Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Alpha diversity of lichenized and aphylloroid fungi in two 1ha forest plots in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia). *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 51–63. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-51-63
2. Nikolaeva T.L. *Flora sporovykh rastenii SSSR. T. VI. Griby (2). Ezhovikovye griby* [Flora of spore plants of the USSR. Vol. VI. Fungi (2). Hedgehog mushrooms]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1961, 432 p. (In Russian)
3. Bernicchia A., Gorjón S.P. Corticiaceae s.l. Fungi Europaei. Vol. 12. Italia: Edizioni Candusso. 2010, 1008 p.
4. Miettinen O., Spirin V., Vlasák J., Rivoire B., Stenroos S., Hibbett D.S. Polypores and genus concepts in Phanerochaetaceae (Polyporales, Basidiomycota). *MycKeys*, 2016, vol. 17, pp. 1–46. DOI: 10.3897/mycokeys.17.10153
5. Moreno G., Blanco M.N., Platas G., Checa J., Olariaga I. Reappraisal of Climacodon (Basidiomycota, Meruliaceae) and reinstatement of Donkia (Phanerochaetaceae) using multigene data. *Phytotaxa*, 2017, vol. 291, iss. 3, pp. 171–182. DOI: 10.11646/phytotaxa.291.3.1
6. Akulov A.Yu., Usichenko A.S., Leontyev D.V., Yurchenko E.O., Prydiuk M.P. Annotated checklist of aphylloroid fungi of Ukraine. *Mycena*, 2003, vol. 2, iss. 2, pp. 1–73.
7. *Krasnaya kniga Lipetskoi oblasti. T. 1. Rasteniya, griby, lishainiki* [Red Book of Lipetsk Region. Vol. 1. Plants, mushrooms, lichens]. Lipetsk, 2014, 2nd ed., 696 p. (In Russian)
8. *Krasnaya kniga Respubliki Tatarstan. Zhivotnye, rasteniya, griby* [Red Book of the Republic of Tatarstan. Animals, Plants, Mushrooms]. Kazan', Idel-Press Publ., 2016, 3rd ed., 760 p. (In Russian)
9. *Krasnaya kniga Udmurtskoi Respubliki. Zhivotnye, rasteniya, lishainiki, griby* [Red Book of the Udmurt Republic. Animals, plants, lichens, mushrooms]. Belgorod, Konstanta Publ., 2023, 3rd ed., 500 p. (In Russian)
10. *Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya). T. 1. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy rastenii i gribov* [Red Book of the Republic of Sakha (Yakutia). Volume 1. Rare and endangered species of plants and fungi]. Moscow, Reart Publ., 2017, 412 p. (In Russian)
11. *Krasnaya kniga Kamchatskogo kraja. T. 2. Rasteniya* [Red Book of Kamchatka Territory. Vol. 2. Plants]. Petropavlovsk-Kamchatskii, Kamchatpress Publ., 2018, 388 p. (In Russian)

12. Volobuev S., Okun M., Ordynets A., Spirin V. The *Phanerochaete sordida* group (Polyporales, Basidiomycota) in temperate Eurasia, with a note on *Phanerochaete pallida*. *Mycological Progress*, 2015, vol. 14, iss. 10, art. 80. DOI: 10.1007/s11557-015-1097-0
13. Bolshakov S.Yu., Volobuev S.V., Ezhov O.N., Palomozhnykh E.A., Potapov K.O. *Afilloporoidnye griby evropeiskoi chasti Rossii: annotirovannyi spisok vidov* [Aphyllporoid fungi of the European part of Russia: a checklist]. Saint Petersburg, ETU Publ., 2022, 578 p. (In Russian)
14. Ghobad-Nejhad M., Hallenberg N., Parmasto E., Kotiranta H. A first annotated checklist of corticioid and polypore basidiomycetes of the Caucasus region. *Mycologia Balcanica*, 2009, vol. 6, iss. 3, pp. 123–168. DOI: 10.5281/zenodo.2550071
15. Stavishenko I.V., Sarkina I.S. New to the Crimea peninsula species of Aphyllporoid Fungi. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56(6), pp. 452–456. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0026364822060083>
16. Zmitrovich I.V., Popov E.S., Morozova O.V., Rebriev Yu.A., Rusanov V.A. Macromycetes. In: *Annotirovannye spiski vidov gribov i miksomitsetov* [Annotated lists of species of fungi and myxomycetes]. Rostov-na-Donu, 2008, pp. 61–71.
17. Spirin V., Volobuev S., Viner I., Miettinen O., Vlasák J., Schoutteten N., Motato-Vásquez V., Kotiranta H., Hernawati, Larsson K.-H. On Sistotremastrum and similar-looking taxa (Trechisporales, Basidiomycota). *Mycological Progress*, 2021, vol. 20, iss. 4, pp. 453–476. DOI: 10.1007/s11557-021-01682-z
18. Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Kalinina L.B., Kapitonov V.I., Popov E.S., Sarkina I.S., Rebriev Yu.A., Leostriin A.V., Efimova A.A., Shakhova N.V., Ezhov O.N., Isaeva L.G., Kryuchkova O.E., Zmitrovich I.V. New species for regional mycobiotas of Russia. 7. Report 2022. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56, iss. 6, pp. 383–392. <https://doi.org/10.31857/S0026364822060101>
19. Klán J., Kotilová-Kubičková L. Macrofungi from the West Caucasus. Part I. Aphyllporaceae Fungi (Aphyllporales, Basidiomycetes). *Česká Mykologie*, 1982, vol. 36, iss. 1, pp. 20–39.
20. Davydкина T.A. *Stereumovye griby Sovetskogo Soyuz* [Sterium fungi of the Soviet Union]. Leningrad, Nauka Publ., 1980, 143 p. (In Russian)
21. Cannon P., Ekman S., Kistenich S., LaGreca S., Printzen C., Timdal E., Aptroot A., Coppins B., Fletcher A., Sanderson N., Simkin J. Lecanorales: Ramalinaceae [revision 1], including the genera *Bacidia*, *Bacidina*, *Bellacidia*, *Biatora*, *Bibbya*, *Bilimbia*, *Cliostomum*, *Kiliasia*, *Lecania*, *Megalaria*, *Mycobilimbia*, *Phyllopsora*, *Ramalina*, *Scutula*, *Thalloidima*, *Toninia*, *Toniniopsis* and *Tylothallia*. Revisions of British and Irish Lichens, 2023, vol. 35, pp. 1–83.
22. Neuwirth G., Aptroot A. Recognition of four morphologically distinct species in the *Graphis scripta* complex in Europe. *Herzogia*, 2011, vol. 24, pp. 207–230. <http://dx.doi.org/10.13158/hea.24.2.2011.207>
23. Kraichak E., Lücking R., Aptroot A., Beck A., Dornes P., John V., Lendemer J. C., Nelsen M. P., Neuwirth G., Nutakki A., Parnmen S., Sohrabi M., Tønnsberg T., Lumbsch H.T. Hidden diversity in the morphologically variable script lichen (*Graphis scripta*) complex (Ascomycota, Ostropales, Graphidaceae). *Organisms Diversity and Evolution*, 2015, vol. 15, pp. 447–458.
24. Ivanushenko Yu.Yu., Volobuev S.V. New and noteworthy records of aphyllporoid fungi from the Gunib Plateau (Dagestan, Russia). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56(6), pp. 411–418. <https://doi.org/10.31857/S0026364822060058>
25. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Aphyllporoid fungi (Basidiomycota) on juniper on the Gunib Plateau, inner-mountain Dagestan. *Czech Mycology*, 2020, vol. 72(1), pp. 83–93. <https://doi.org/10.33585/cm.72106>
26. Ismailov A.B., Urbanavichus G.P. *Enterographa hutchinsiae* (Leight.) A. Massal. Roccellaceae. In: *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Data Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, 2020, pp. 86–87. (In Russian)
27. Nadyeina O., Zarabska-Bozejewicz D., Wiedmer A., Cornejo C., Scheidegger C. Polymorphic fungus-specific microsatellite markers of *Bactrospora dryina* reveal multiple colonizations of trees. *The Lichenologist*, 2017, vol. 49(6), pp. 561–577. doi: 10.1017/s0024282917000548
28. Dymytrova L.V. *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal. – a rare lichen of old oak forests. In: *Advances in botany and ecology*. Kyiv, Veles Publ., 2011, pp. 23–24.
29. Urbanavichene I.N., Urbanavichus G.P. Contributions to the lichen flora of the North Ossetia Nature Reserve (Republic of North Ossetia – Alania). I. Cluster “Shubi”. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2019, vol. 53(2), pp. 349–368. (In Russian) <https://doi.org/10.31111/nsnr/2019.53.2.349>
30. Urbanavichus G., Vondrák J., Urbanavichene I., Palice Z., Malíček J. Lichens and allied non-lichenized fungi of virgin forests in the Caucasus State Nature Biosphere Reserve (Western Caucasus, Russia). *Herzogia*, 2020, vol. 33(1), pp. 94–142. <https://doi.org/10.13158/hea.33.1.2020.90>
31. Urbanavichus G.P., Urbanavichene I.N. The lichens from Caucasus new to Russia. *Botanicheskii Zhurnal*. 2003, vol. 88(2), pp. 109–112. (In Russian)
32. Barkhalov Sh.O. *Flora lishaynikov Kavkaza* [The lichen flora of Caucasus]. Baku, 1983, 338 p. (In Russian)
33. Ismailov A., Urbanavichus G., Vondrák J., Pouska V. An old-growth forest at the Caspian Sea coast is similar in epiphytic lichens to lowland deciduous forests in Central Europe. *Herzogia*, 2017, vol. 30 (1), pp. 103–125. DOI: 10.13158/hea.28.1.2015.104
34. Vondrák J., Malíček J., Palice Z., Coppins B., Kukwa M., Czarnota P., Sanderson N., Acton A. Methods for obtaining more complete species lists in surveys of lichen biodiversity. *Nordic Journal of Botany*, 2016, vol. 34, pp. 619–626. <https://doi.org/10.1111/njb.01053>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ismailov A.B., Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Alpha diversity of lichenized and aphyllporoid fungi in two 1ha forest plots in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia) // South of Russia: ecology, development. 2023. V. 18. N 4. P. 51–63. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-51-63
- Николаева Т.Л. Флора споровых растений СССР. Т. VI. Грибы (2). Ежовиковые грибы. Отв. ред. В. П. Савич. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1961. 432 с.
- Bernicchia A., Gorjón S.P. Corticiaceae s.l. Fungi Europaei. V. 12. Italia: Edizioni Candusso, 2010. 1008 p.
- Miettinen O., Spirin V., Vlasák J., Rivoire V., Stenroos S., Hibbett D.S. Polypores and genus concepts in Phanerochaetaceae (Polyporales, Basidiomycota) // MycoKeys. 2016. V. 17. P. 1–46. DOI: 10.3897/mycokeys.17.10153
- Moreno G., Blanco M.N., Platas G., Checa J., Olariaga I. Reappraisal of *Climacodon* (Basidiomycota, Meruliaceae) and reinstatement of *Donkia* (Phanerochaetaceae) using multigene data // Phytotaxa. 2017. V. 291. Iss. 3. P. 171–182. DOI: 10.11646/phytotaxa.291.3.1
- Akulov A.Yu., Usichenko A.S., Leontyev D.V., Yurchenko E.O., Prydiuk M.P. Annotated checklist of aphyllporoid fungi of Ukraine // Mycena. 2003. V. 2. Iss. 2. P. 1–73.
- Красная книга Липецкой области. Т. 1. Растения, грибы, лишайники. 2-е изд., перераб. Липецк, 2014. 696 с.
- Красная книга Республики Татарстан. Животные, растения, грибы. Изд. 3-е. Казань: Идел-Пресс, 2016. 760 с.
- Красная книга Удмуртской Республики. Животные, растения, лишайники, грибы. Изд. 3-е, доп., перераб. Белгород: Константа, 2023. 500 с.
- Красная книга Республики Саха (Якутия). Т. 1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. М.: Реарт, 2017. 412 с.
- Красная книга Камчатского края. Т. 2. Растения. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2018. 388 с.

12. Volobuev S., Okun M., Ordynets A., Spirin V. The *Phanerochaete sordida* group (Polyporales, Basidiomycota) in temperate Eurasia, with a note on *Phanerochaete pallida* // *Mycological Progress*. 2015. V. 14. Iss. 10. Art. 80. DOI: 10.1007/s11557-015-1097-0
13. Большаков С.Ю., Волобуев С.В., Ежов О.Н., Паломоных Е.А., Потапов К.О. Афилофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2022. 578 с.
14. Ghobad-Nejhad M., Hallenberg N., Parmasto E., Kotiranta H. A first annotated checklist of corticioid and polypore basidiomycetes of the Caucasus region // *Mycologia Balcanica*. 2009. V. 6. Iss. 3. P. 123–168. DOI: 10.5281/zenodo.2550071
15. Ставищенко И.В., Саркина И.С. Новые для Крымского полуострова виды афилофороидных грибов // *Микология и фитопатология*. 2022. Т. 56(6). С. 452–456. <https://doi.org/10.31857/S0026364822060083>
16. Змитрович И.В., Попов Е.С., Морозова О.В., Ребриев Ю.А., Русанов В.А. Макромицеты // Попов Е.С., Ребриев Ю.А. (отв. ред.) IX Рабочее совещание Комиссии по изучению макромицетов (Вёшенская, 4–10 октября 2006 г.). Аннотированные списки видов грибов и миксомицетов. Ростов-на-Дону. 2008. С. 61–71.
17. Spirin V., Volobuev S., Viner I., Miettinen O., Vlasák J., Schoutteten N., Motato-Vásquez V., Kotiranta H., Hernawati, Larsson K.-H. On *Sistotremastrum* and similar-looking taxa (Trechisporales, Basidiomycota) // *Mycological Progress*. 2021. V. 20. Iss. 4. P. 453–476. DOI: 10.1007/s11557-021-01682-z
18. Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Kalinina L.B., Kapitonov V.I., Popov E.S., Sarkina I.S., Rebriev Yu.A., Leostrin A.V., Efimova A.A., Shakhova N.V., Ezhov O.N., Isaeva L.G., Kryuchkova O.E., Zmitrovich I.V. New species for regional mycobiotas of Russia. 7. Report 2022 // *Микология и фитопатология*. 2022. Т. 56. Вып. 6. С. 383–392. <https://doi.org/10.31857/S0026364822060101>
19. Klán J., Kotilová-Kubičková L. Macrofungi from the West Caucasus. Part I. Aphyllophoraceous Fungi (Aphyllophorales, Basidiomycetes) // *Česká Mykologie*. 1982. V. 36. Iss. 1. P. 20–39.
20. Давыдкина Т.А. Стереумовые грибы Советского Союза. Л.: Наука, 1980. 143 с.
21. Cannon P., Ekman S., Kistenich S., LaGreca S., Printzen C., Timdal E., Aptroot A., Coppins B., Fletcher A., Sanderson N., Simkin J. Lecanorales: Ramalinaceae [revision 1], including the genera *Bacidia*, *Bacidina*, *Bellicidia*, *Biatora*, *Bibbya*, *Bilimbia*, *Cliostomum*, *Kiliasia*, *Lecania*, *Megalaria*, *Mycobilimbia*, *Phyllopsora*, *Ramalina*, *Scutula*, *Thalloidima*, *Toninia*, *Toniniopsis* and *Tylothallia* // *Revisions of British and Irish Lichens*. 2023. V. 35, P. 1–83.
22. Neuwirth G., Aptroot A. Recognition of four morphologically distinct species in the *Graphis scripta* complex in Europe // *Herzogia*. 2011. V. 24. P. 207–230. <http://dx.doi.org/10.13158/hea.24.2.2011.207>
23. Kraichak E., Lücking R., Aptroot A., Beck A., Dornes P., John V., Lendemer J. C., Nelsen M. P., Neuwirth G., Nutakki A., Parmen S., Sohrabi M., Tønnsberg T., Lumbsch H.T. Hidden diversity in the morphologically variable script lichen (*Graphis scripta*) complex (Ascomycota, Ostropales, Graphidaceae) // *Organisms Diversity and Evolution*. 2015. V. 15. P. 447–458.
24. Ivanushenko Yu.Yu., Volobuev S.V. New and noteworthy records of aphylloroid fungi from the Gunib Plateau (Dagestan, Russia) // *Микология и фитопатология*. 2022. Т. 56(6). С. 411–418. <https://doi.org/10.31857/S0026364822060058>
25. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Aphylloroid fungi (Basidiomycota) on juniper on the Gunib Plateau, inner-mountain Dagestan // *Czech Mycology*. 2020. V. 72(1). P. 83–93. <https://doi.org/10.33585/cmy.72106>
26. Исмаилов А.Б., Урбанавичюс Г.П. *Enterographa hutchinsiae* (Leight.) A. Massal. Roccellaceae // *Красная книга Республики Дагестан*. Махачкала. 2020. С. 86–87.
27. Nadyeina O., Zarabska-Bozejewicz D., Wiedmer A., Cornejo C., Scheidegger C. Polymorphic fungus-specific microsatellite markers of *Bactrospora dryina* reveal multiple colonizations of trees // *The Lichenologist*. 2017. V. 49(6). P. 561–577. doi: 10.1017/s0024282917000548
28. Dymytrova L.V. *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal. – a rare lichen of old oak forests // *Advances in botany and ecology*. Kyiv: Veles Publ., 2011. P. 23–24.
29. Урбанавичене И.Н., Урбанавичюс Г.П. К лихенофлоре Северо-Осетинского заповедника (Северная Осетия – Алания). I. Кластер «Шуби» // *Новости систематики низших растений*. 2019. Т. 53(2). С. 349–368. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2019.53.2.349>
30. Urbanavichus G., Vondrák J., Urbanavichene I., Palice Z., Malíček J. Lichens and allied non-lichenized fungi of virgin forests in the Caucasus State Nature Biosphere Reserve (Western Caucasus, Russia) // *Herzogia*. 2020. V. 33(1). P. 94–142. <https://doi.org/10.13158/hea.33.1.2020.90>
31. Урбанавичюс Г.П., Урбанавичене И.Н. Новые для России лишайники с Кавказа // *Ботанический журнал*. 2003. Т. 88 (2). С. 109–112.
32. Бархалов Ш. О. Флора лишайников Кавказа. Баку: 1983, 338 с.
33. Ismailov A., Urbanavichus G., Vondrák J., Pouska V. An old-growth forest at the Caspian Sea coast is similar in epiphytic lichens to lowland deciduous forests in Central Europe // *Herzogia*. 2017. V. 30 (1). P. 103–125. DOI: 10.13158/hea.28.1.2015.104
34. Vondrák J., Malíček J., Palice Z., Coppins B., Kukwa M., Czarnota P., Sanderson N., Acton A. Methods for obtaining more complete species lists in surveys of lichen biodiversity // *Nordic Journal of Botany*. 2016. V. 34. P. 619–626. <https://doi.org/10.1111/njb.01053>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Aziz B. Ismailov / Азиз Б. Исмаилов <https://orcid.org/0000-0003-0563-0004>

Sergey V. Volobuev / Сергей В. Волобуев <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

Yuliya Yu. Ivanushenko / Юлия Ю. Иванушенко <https://orcid.org/0000-0003-0197-4176>

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Учредитель (соучредители) журнала:
ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

Издатель:
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»
Адрес издателя: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е

Адрес редакции: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Главный редактор
Шестопалов Александр Михайлович, доктор биологических наук, профессор

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала
по контактам:

Гусейнова Надира Орджоникидзева, к.б.н., доцент,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»
можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

Founders of journal:
The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Publisher:
Dagestan State University
367000, Russia, Makhachkala, 59e M. Yaragskogo str.,

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Editor-in-Chief
Alexander M. Shestopalov, Doctor of Biological Sciences, Professor

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).
Цена свободная.

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.
Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 14.10.2024 г.
Объем 230 стр. Тираж 100. Заказ № 43.
Формат 70x90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
по адресу: г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е