

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 18 № 4 2023

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.18 no. 4 2023

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 Абдугамид 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)

Бондарцева М.А., Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук (Санкт-Петербург, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

Огурева 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 (Syktvykar, Russia)

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

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

Margarita A. Bondartseva, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russia)

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)

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю.

Распространение рукокрылых в субтропических районах Черноморья и прилежащих территориях.....8-30

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.....31-41

Мирумян Л.С., Арутюнян Р.Г., Марджанян М.А., Оганесян В.С., Аветисян А.А.,

Акопян Н.Х., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Касабян М.Г., Арутюнова Л.Д.

Фауна некоторых групп беспозвоночных Государственного заповедника «Эребуни» (Армения).....42-50

ЭКОЛОГИЯ ГРИБОВ

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

Alpha diversity of lichenized and aphyllorphoroid fungi in two 1ha forest plots in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia).....51-63

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Баишева Э.З., Федоров Н.И., Жигунова С.Н., Широких П.С., Комиссаров М.А., Габбасова И.М.,

Мулдашев А.А., Бикбаев И. Г., Туктамышев И.Р., Шендель Г.В., Сулейманов Р.Р., Гарипов Т.Т.

Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион).....64-73

Алиев Х.У.

Структура изменчивости признаков побега и плода субальпийских популяций *Fagus orientalis* Lipsky Западного и Восточного Кавказа.....74-81

Рамазанова З.Р., Дибиров М.Д., Солтанмуратова З.И., Асадулаев З.М.

Морфологические особенности и анатомическое строение листа дагестанских эндемичных видов *Allium*.....82-90**ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Толкач В.Ф., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Алиев М.Р., Щелканов М.Ю.

Вирус огуречной мозаики в декоративных культурах на российском Дальнем Востоке.....91-103

Аллахвердян В.В., Сидорова Т.М., Темердашев А.З., Асатурова А.М., Томашевич Н.С.

Изучение влияния бактерий рода *Pseudomonas* на рост и токсинопродукцию гриба *Fusarium graminearum* in vitro.....104-113

Бабошко Д.А., Елфимов К.А., Даудова М.Г., Койчурев Х.Г., Гапизова Х.Ф.-К., Гашникова Н.М.

Оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в Республике Дагестан с помощью ПЦР-диагностики.....114-124

Халиков М.Р., Екушов В.Е., Тотменин А.В., Готфрид Л.Г., Скляр Л.Ф., Соловьева Н.П., Сердцева Е.Н.,

Шпортова М.И., Мартыненко Ж.А., Бениова С.Н., Ермолицкая С.А., Горелова И.С., Гашникова Н.М.

Вклад рекомбинационной изменчивости ВИЧ в формирование популяции ВИЧ-1, циркулирующих в Приморском крае.....125-133

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Чибилёв А.А., Святоха Н.Ю., Грудинин Д.А.

Факторы и предпосылки формирования трансграничных особо охраняемых природных территорий в Российско-Казахстанском регионе.....134-144

Гумеров А.Ф., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В., Сулейманов Р.Р.

Агроэкологическая оценка залежных почв северо-запада Республики Башкортостан.....145-160

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Волкова Г.В., Кудинова О.А., Игнатъева О.О., Агапова В.Д., Гладкова Е.В.,

Ваганова О.Ф., Матвеева И.П.

Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза.....161-172

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Курская О.Г., Сароян Т.А., Нохова А.Р., Дубовицкий Н.А., Дерко А.А., Басова П.С.,

Гутова Т.А., Соломатина М.В., Мурашкина Т.А., Шаршов К.А.

Вклад энтеровирусов в этиологию острых респираторных вирусных инфекций у детей г. Новосибирска.....173-181

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ*Левыкин С.В., Падалко Ю.А., Чибилёв А.А.*

Анализ современных проблем сотрудничества России и Казахстана в сфере природопользования
и экологической безопасности.....182-191

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ*Куанова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А., Литвинова Н.В.*

Содержание химических элементов в *Traza natans* и *Nymphoides peltata* дельты Волги.....192-196

Друзьяка О.Р., Друзьяка А.В., Соболев И.А., Шаршов К.А., Штоль Д.А., Шестопалов А.М.

Вклад индивидуальных особенностей особей *Anas* и *Aythya* в их восприимчивость
к низкопатогенным вирусам птичьего гриппа на юге Западной Сибири.....197-201

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....202

ECOLOGY OF ANIMALS

Ivanitzky A.N., Alekseev A.Yu.

Distribution of bats in the subtropical regions of the Black Sea coast and adjacent territories.....8-30

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.....31-41

Mirumyan L.S., Harutyunyan R.G., Marjanyan M.A., Hovhannisyan V.S., Avetisyan A.A.,
Akopyan N.Ch., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Ghasabyan M.G., Harutyunova L.D.

Fauna of some groups of invertebrates of Erebuni State Reserve (Armenia).....42-50

ECOLOGY OF FUNGI

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).....51-63

ECOLOGY OF PLANTS

Baisheva E.Z., Fedorov N.I., Zhigunova S.N., Shirokikh P.S., Komissarov M.A., Gabbasova I.M.,
Muldashiev A.A., Bikbaev I.G., Tukhtamyshev I.R., Shendel G.V., Suleymanov R.R., Garipov T.T.

Productivity of vegetation and carbon stock in meadow steppe on fallow areas
in the Bashkir Cis-Urals (Southern Urals region), Russia.....64-73

Aliev Kh.U.

The structure of variability in shoot and fruit traits of subalpine populations
of *Fagus orientalis* Lipsky in the Western and Eastern Caucasus.....74-81

Ramazanov Z.R., Dibirov M.D., Soltanmuradova Z.I., Asadulaev Z.M.

Morphological features and anatomical structure of the leaves of Dagestan endemic species of *Allium*.....82-90

ECOLOGY OF MICROORGANISMS

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

Cucumber mosaic virus among ornamental crops in the Russian Far East.....91-103

Allahverdiyev V.V., Sidorova T.M., Temerdashev A.Z., Asaturova A.M., Tomashevich N.S.

Study of the effect of bacteria of the genus *Pseudomonas* on the growth and toxin production
of the fungus *Fusarium graminearum* in vitro.....104-113

Baboshko D.A., Elfimov K.A., Daudova M.G., Koychuev Kh.G., Gapizova Kh.F.-K., Gashnikova N.M.

Assessment of the incidence of leukemia virus (BLV) in cattle in the Republic of Dagestan using PCR diagnostics.....114-124

Halikov M.R., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gotfrid L.G., Sklyar L.F., Soloveva N.P., Serdtseva E.N.,
Shportova M.I., Martynchenko Zh.A., Beniova S.N., Ermolickaja S.A., Gorelova I.S., Gashnikova N.M.

The role of recombination variability to the formation of the population the HIV-1 population
circulating in the Primorsky Krai, Russia.....125-133

GEOECOLOGY

Chibilev A.A., Svyatokha N.Yu., Grudin D.A.

Factors and prerequisites for the formation of transboundary specially protected natural areas
in the Russian-Kazakhstan region.....134-144

Gumerov A.F., Nizamutdinov T.I., Abakumov E.V., Suleymanov R.R.

Agroecological assessment of fallow soils in the north-west of the Republic of Bashkortostan.....145-160

AGRICULTURAL ECOLOGY

Volkova G.V., Kudinova O.A., Ignatieva O.O., Agapova V.D., Gladkova E.V.,
Vaganova O.F., Matveeva I.P.

Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages.....161-172

MEDICAL ECOLOGY

Kurskaya O.G., Saroyan T.A., Nokhova A.R., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Basova P.S.,
Gutova T.A., Solomatina M.V., Murashkina T.A., Sharshov K.A.

Enteroviruses in the etiology of acute respiratory viral infections in children, Novosibirsk, Russia.....173-181

GENERAL PROBLEMS*Levykin S.V., Padalko Yu.A., Chibilev A.A.*

Analysis of modern problems of cooperation between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan
in the field of environmental management and environmental safety.....182-191

BRIEF REPORTS*Kuanova A.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F., Chaplygin V.A., Litvinova N.V.*

The content of chemical elements in *Trapa natans* and *Nymphoides peltata* of the Volga Delta.....192-196

Druzyaka O.R., Druzyaka A.V., Sobolev I.A., Sharshov K.A., Shtol D.A., Shestopalov A.M.

The contribution of individual characteristics of *Anas* and *Aythya* individuals to their susceptibility
to low-pathogenic avian influenza viruses in the south of Western Siberia.....197-201

CONTACT INFORMATION.....202

Обзорная статья / Review article
УДК 599.4:591.52(551.581.23+262.5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-8-30

Распространение рукокрылых в субтропических районах Черноморья и прилежащих территориях

Александр Н. Иваницкий¹, Александр Ю. Алексеев^{2,3}

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

²НИИ вирусологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» (ФИЦ ФТМ), Новосибирск, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

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

Формат цитирования

Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю. Распространение рукокрылых в субтропических районах Черноморья и прилежащих территориях // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 8-30. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-8-30

Получена 16 октября 2023 г.
Прошла рецензирование 10 ноября 2023 г.
Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Черноморский регион – это один из центров разнообразия рукокрылых в Палеарктике. В связи с этим была определена основная цель работы – установление видового состава хироптерофауны Черноморья и изучение характера размещения рукокрылых в регионе. Цель приобретает особую актуальность, если учесть, что в составе фауны региона в последние годы произошли существенные изменения, а распространение рукокрылых в Черноморском регионе в целом никогда не было объектом специальных исследований.

Обсуждение. В статье приводятся точечные картосхемы распространения каждого из 35 видов летучих мышей, обитающих в субтропиках Черноморья и прилежащих территориях. Кроме того, картосхемы снабжены комментариями по черноморской части ареала каждого вида.

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

Ключевые слова

Рукокрылые, распространение, ареал, субтропические районы Черноморья, Крым, Кавказ, Малая Азия, Балканы.

Distribution of bats in the subtropical regions of the Black Sea coast and adjacent territories

Alexander N. Ivanitzky¹ and Alexander Yu. Alekseev^{2,3}

¹T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences – branch of the FRC «A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences», Feodosiya, Russia

²Research Institute of Virology, The Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

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

Tel. +73656226287

Email nathusii@mail.ru

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

How to cite this article

Ivanitzky A.N., 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) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-8-30

Received 16 October 2023

Revised 10 November 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. The Black Sea region is one of the centers of diversity of bats in the Palearctic. In this regard, the main aim of the work was determined - to study the species composition of the bat fauna of the Black Sea region and the distribution of bat species there. The aim becomes especially relevant if we consider that significant changes have occurred in the composition of the region's fauna in recent years and that the distribution of chiropterans in the Black Sea region as a whole has never been the object of special research.

Discussion. The article contains point maps of the distribution of each of the 35 species of bats living in the subtropics of the Black Sea region and adjacent territories. In addition, the maps are provided with comments on the range of each species on the Black Sea coast.

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

Key Words

Bats, distribution, range, subtropical regions of the Black Sea coast, Crimea, Caucasus, Asia Minor, Balkans.

ВВЕДЕНИЕ

Черноморский регион – это один из центров разнообразия рукокрылых в Палеарктике. К тому же Черноморье является периферией ареалов абсолютного большинства обитающих здесь видов, северной или южной, западной или восточной, в регионе проходит и граница распространения многих видов. Такое смешение видов с различными ареалами обусловлено тем, что в Черноморском регионе проходят важнейшие зоогеографические рубежи, и прежде всего – граница между Средиземноморской и Европейской неморальной подобластями Палеарктики, являющаяся в то же время северной границей субтропического Черноморья и прилежащих территорий [1]. К выше сказанному, следует добавить, что в Черноморской котловине располагались Колхидский третичный рефугиум и некоторые более мелкие локальные рефугиумы, в которых древне-средиземноморские виды сохранились в Ледниковый период [2]. Такая фаунистическая и зоогеографическая значимость Черноморья непременно вызывает высокий интерес к изучению распространения рукокрылых в таком регионе, что и определило цель и задачи настоящей публикации.

Другим мотивом, побудившим к подготовке данной работы значительные изменения видового состава фауны Черноморья за последние полвека. Во-первых, за счёт открытия в регионе неотмеченных здесь ранее видов (как, например, *Myotis daubentonii*, см. ниже). Во-вторых, из-за недавних ревизий видовой принадлежности различных «супервидов», в результате которых в регионе «появились» 13 новых, малоразличимых друг от друга видов, в частности вместо ранее известной *Myotis mystacinus* s.l. в регионе оказалось 4 вида (*M. mystacinus* s.str., *M. davidii*, *M. alcathoe* и *M. brandtii*) [3; 4], отдельно стали рассматриваться крупные ночницы (в регионе 2 вида – *M. myotis* и *M. blythii*) [5], а также ночницы с ресничками на межбедерной перепонке (в регионе 2 вида – *M. nattereri* и *M. tschuliensis*) [6–8], мелкие нетопыри *Pipistrellus pipistrellus* s.str. и *P. pygmaeus* вместо ранее определяемому как *P. pipistrellus* s.l. [9; 10], а кроме того разделение единого в регионе вида ушана на 3 самостоятельных вида (*Plecotus auritus* s.str., *P. macrobullaris* и *P. austriacus*) [11]. В данной работе находки без различения на вышеупомянутые вновь выделенные виды, которые могут относиться к двум или более видам, не учитывались для более определённой картины распространения каждого из видов в регионе.

В работе основное внимание обращено к распространению рукокрылых в субтропических районах Черноморья (рис. 1.), на картосхемах (рис. 2–36) оно отражено пунсонами красного цвета. Границы этих районов проведены на основе анализа различных индикаторов – рельефа, границ водосборных бассейнов, границ климатических зон, растительности, ареала ряда видов растений и животных. Для определения, что следует понимать под субтропиками Северного полушария, в основном использованы

критерии G.T. Trewartha [12] и С. Troll, К. Paffen [13]. Именно климатические условия, наряду с наличием убежищ, является ключевым фактором в распространении летучих мышей. Климат в различных районах субтропиков Черноморья неодинаков. Менее высокой температурой воздуха в холодный период и меньшим количеством осадков характеризуются балканский (побережье между южной окраиной г. Варна и пролив Босфор), крымский (между г. Севастополем и южной окраиной г. Феодосия) и новороссийский (между южной окраиной г. Анапа и г. Туапсе) – климат этих районов называют ещё субсредиземноморским. Наиболее тёплой температурой в холодный период и большим количеством осадков отличается колхидский район (побережье между городами Туапсе и Орду). Промежуточное положение по этим климатическим показателям занимает малоазиатская часть побережья (от Босфора до г. Орду). Именно к субтропическим районам Черноморья относится оптимум ареала ряда видов рукокрылых, прежде всего относимых к средиземно-морскому зоогеографическому комплексу.

Описываемый регион окружают горные леса Крыма, Балкан, Кавказа и Малой Азии, в которые проникают многие виды, встречающиеся на субтропическом побережье. За ними следуют степи: на северо-западе, севере и северо-востоке – Приазовско-Причерноморская степь, простирающаяся от Балкан через Крым до Предкавказья, на востоке – степи Восточно Закавказья, на юге – нагорные степи Малой Азии. Степи отделяют изолированную часть ареала бореальных и лесных европейских видов рукокрылых в Черноморье от остальной части ареала, и таким образом чётко очерчивают границы прилежащих к региону территорий, на севере это граница средиземноморской и европейской неморальной подобластей Палеарктики. Прилежащие территории также подразделяются на запобережные районы Черноморья, представляющие собой горную часть обращённых к Чёрному морю склонов хребтов, и на прочие горнолесные районы региона.

История изучения фауны рукокрылых Черноморья насчитывает около 250 лет и берёт своё начало задолго до научного описания большинства видов обитающих в регионе [14]. Изучению распространения летучих мышей в регионе были посвящены ряд работ, включающих среди прочего и точечные ареалы распространения, например по Черноморью в пределах бывшего СССР [15; 16], российской части Кавказа [17; 18], Абхазии [19], Грузии [20], Турции [21], Болгарии [22], Крыма [23]. Также среди работ по изучению распространения рукокрылых региона можно назвать Интернет-портал «Млекопитающие России» [24] и некоторые другие электронные ресурсы, где среди прочего собраны сведения о российской части Черноморья (Крым, Кавказ). Вместе с тем, специальное изучение распространения летучих мышей по всему Черноморскому побережью и сопредельным территориям никогда не проводилось. Восполнить этот пробел и призвана настоящая работа.



Рисунок 1. Субтропические районы Черноморья. Красной сплошной линией – граница региона, жёлтой прерывистой – граница средиземноморской и европейской неморальной подобластей Палеарктики [1]
Figure 1. Subtropical regions of the Black Sea coast. The red solid line is the border of the region, the yellow dashed line is the boundary of the Mediterranean and European nemoral subregions of the Palearctic [1]

ОБСУЖДЕНИЕ

В субтропических районах Черноморья и прилежащих территориях зарегистрированы рукокрылые 35 видов, 11 родов, 4 семейств.

1. *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797) – малый подковонос (рис. 2). В субтропическом Черно-

морье и прилежащих территориях вид распространен широко. Исследуемый регион расположен у северных границ ареала малого подковоноса. Тем не менее, многие районы субтропического Черноморья, исходя из его высокой встречаемости здесь, можно отнести к оптимуму ареала вида.

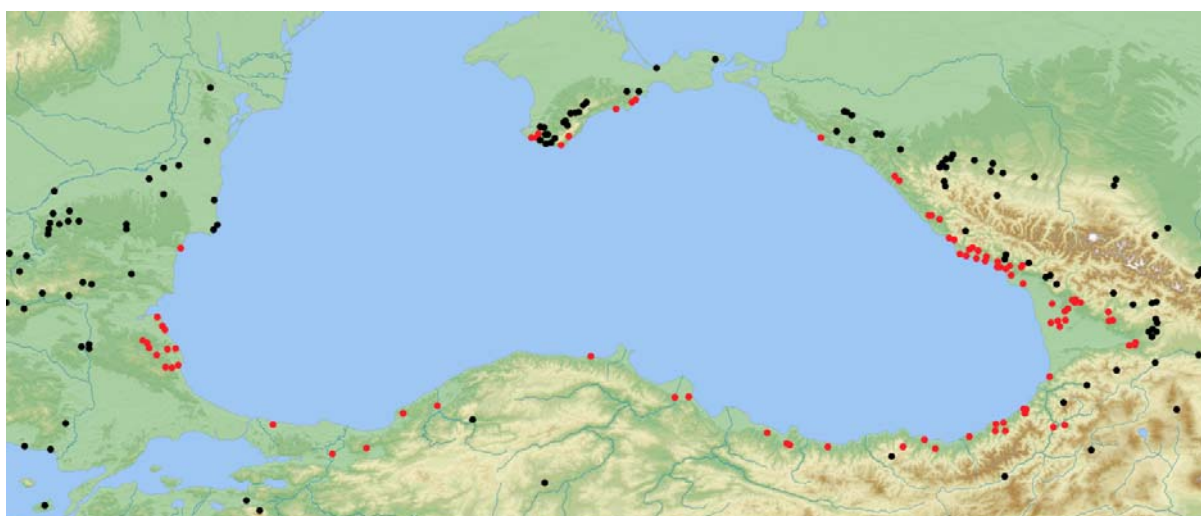


Рисунок 2. Распространение *Rhinolophus hipposideros*. Пунсонами красного цвета обозначены находки в субтропических районах Черноморья, чёрного – все прочие
Figure 2. Distribution of *Rhinolophus hipposideros*. Red colored punches indicate finds in the subtropical regions of the Black Sea region, black – all other ones

2. *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) – большой подковонос (рис. 3). Распространение вида в Черноморье сходно с таковым малого подковоноса. Наряду с предыдущим видом, большой подковонос в регионе относится не только к самым распространённым видам среди подковоносов, но и среди рукокрылых в целом. Хотя Черноморский регион является северной периферией ареала вида.

3. *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853 – южный подковонос (рис. 4). В исследуемом регионе проходит северная граница ареала вида. Распространение охватывает значительную часть субтропического Черноморья, кроме крымского и новороссийского регио-

нов. В балканском и колхидском регионах характеризуется высокой встречаемостью.

4. *Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901 – очковый подковонос (рис. 5). Распространение в регионе изучено слабо, во многом схоже с таковым южного подковоноса. В отличие от предыдущего вида, в колхидской части субтропического Черноморья и прилежащей к ней заповерженной территории он известен по единичным находкам. За пределами картосхемы (рис. 5) остались точки находок этого подковоноса в ряде пунктов Восточной Турции [21], а также Восточной Грузии [20] и прочих местах Восточного Закавказья [25], дополнившие бы картину распространения вида на прилежащих к Колхиде территориях.

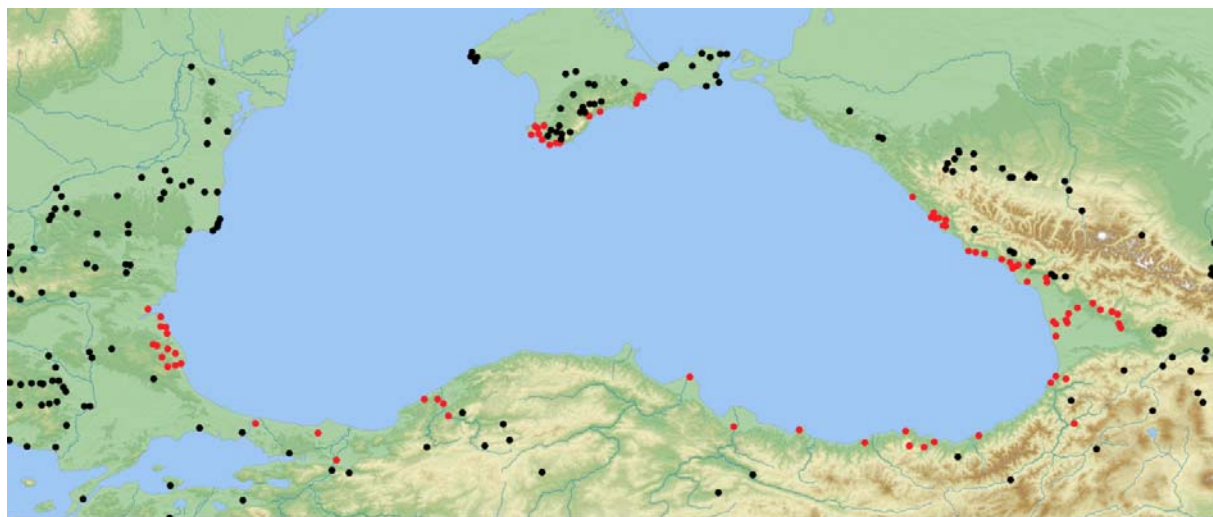


Рисунок 3. Распространение *Rhinolophus ferrumequinum*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 3. Distribution of *Rhinolophus ferrumequinum*. Designation as in Fig. 2

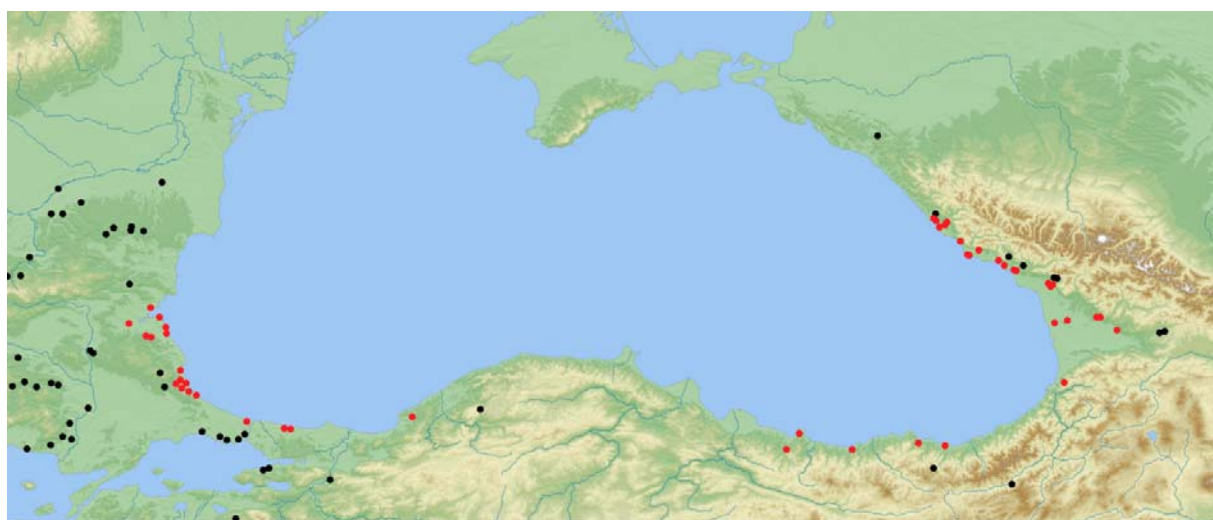


Рисунок 4. Распространение *Rhinolophus euryale*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 4. Distribution of *Rhinolophus euryale*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 5. Распространение *Rhinolophus mehelyi*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 5. Distribution of *Rhinolophus mehelyi*. Designation as in Fig. 2

5. *Rhinolophus blasii* Peters, 1866 – средиземноморский подковонос (рис. 6). В Черноморье распространение вида в регионе во многом схоже с таковым очкового подковоноса, здесь проходит северная граница ареала вида. Также как и предыдущий вид, кроме описываемого

здесь региона, известен и из ряда пунктов юго-восточных склонов Малого Кавказа и юго-востока Большого Кавказа [25]. Низкая встречаемость средиземноморских подковоносов в отдельных регионах Черноморья отчасти может объясняться недоучётами в убежищах из-за путаницы в

определении с другими подковоносами средних размеров, прежде всего с *R. euryale*, с которым он часто формирует совместные колонии.

6. *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817) – водяная ночница (рис. 7). До 1980 г. считалось [16; 22], что она обитает только в балканской части субтропиков Черноморского побережья (одиночные находки), хотя на прилегающих территориях, в низовьях Дуная, была найдена ещё А.Д. Нордманом [26]. За пределами научных знаний о распространения вида в регионе более полувека оставались, хранившиеся многие годы в центральных музейных хранилищах России (ЗИН РАН и Зоомузея МГУ), коллекционные экземпляры из сборов К.Н. Россикова 1884 г. из Прохладного, КБР, а также из Сочи 1923 г. и верховий р. Малая Лаба в Кавказском заповеднике 1935 г. [19]. Исследования последних десятилетий показали широкое распространение вида на большей части субтропиков Черноморья и на прилегающих территориях. Именно Черноморским регионом ограничивается ареал вида на юге. Не обнаружен вид в крымской части Черноморья, но находки вида в близлежащих районах: в окрестностях Анапы, а также в низовьях р. Днепр в Херсонской области [27; 28], позволяют предполагать его находки и в Крыму.

7. *Myotis dasycneme* (Voie, 1825) – прудовая ночница (рис. 8). До 1999 г. считалось, что в регионе не обитает, а её ближайшие находки лежат далеко за пределами Черноморья [16]. В настоящее время известна на всех прилегающих с севера территориях, а крайние южные находки лежат вдоль всей северной границы описываемого региона. Также как и водяная ночница, вид не может считаться недавним вселенцем в регионе, об этом говорят находки субфоссильных останков на Западном Кавказе, северо-западе Болгарии и юго-западе Румынии [29–31]. Кроме того, в настоящее время по другому звучит сообщение о находке проф. К.Ф. Кесслером прудовой ночницы в пещере Кизил-Коба в окрестностях Симферополя [32], подвергнутое ранее сомнению различными авторами, как маловероятное, из-за отсутствия иных находок в регионе в XX в. Тем более, что свежие находки прудовых ночниц в низовье Днепра в Херсонской области [28] также свидетельствуют о более широком распространении вида и на Крымском полуострове. Имеющихся находок не достаточно, чтобы говорить о присутствии, или отсутствии, вида в субтро-

пическом Черноморье, но исключать наличие прудовой ночницы в регионе нельзя, так как она найдена и значительно южнее, но в пределах максимальной миграционной активности, известной для этого вида, от южных границ Черноморья – взрослый самец отловлен М. Шнейдером в 1878 г. в Сирии [33].

8. *Myotis capaccinii* (Bonaparte, 1837) – итальянская ночница (рис. 9). Распространение в регионе охватывает балканскую и малоазиатскую часть Черноморья. Вероятно, также как и два выше упомянутых вида околотовных ночниц, «открытых» в регионе 25–45 лет назад, итальянская ночница может быть найдена и в других регионах, прежде всего в восточном Черноморье, и в целом на Кавказе, в пользу этого говорят новые находки вида (2000–2011 гг.) на прилегающих территориях на берегу озера Ван на востоке Турции и на северо-западе Ирана [34; 35], а также старая (1875 г.) изолированная находка в Нукусе в низовьях Аму-Дарьи [16]. С.И. Огнев также допускал возможность находок этого вида и в Крыму [15].

9. *Myotis brandtii* (Eversmann, 1845) – ночница Брандта (рис. 10). Распространена по всему Черноморью и прилегающим территориям. При этом, Черноморское побережье является крайней южной периферией ареала вида. До начала 1980-х гг. ночница Брандта в отдельный вид не выделялась, рассматривалась в качестве подвида в составе следующего вида. Тем не менее, верифицированные коллекционные экземпляры вида самого начала XX в. с Кавказского региона (Теберда, Бакуриани) [3; 4], подтверждают древность обитания этой ночницы в регионе.

10. *Myotis mystacinus* (Kuhl, 1817) – усатая ночница (рис. 11). Распространена очень широко от побережья Ладожского озера на севере до севера Израиля (г. Хермон, Голанский высоты) на юге [36; 37]. В узком смысле *M. mystacinus* s.str. рассматривается в регионе только в последние годы [3; 4], однако ревизия видовой принадлежности ранее за коллектированных экземпляров и новые находки демонстрируют широкое распространение вида в регионе. Неясно присутствует ли вид на Крымском полуострове (прежде всего в лесистом Горном Крыму), так как все новые находки усатых ночниц, как и переопределённые старые экземпляры (к слову, переопределены не все) относятся к следующему виду, *M. davidii*.



Рисунок 6. Распространение *Rhinolophus blasii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 6. Distribution of *Rhinolophus blasii*. Designation as in Fig. 2

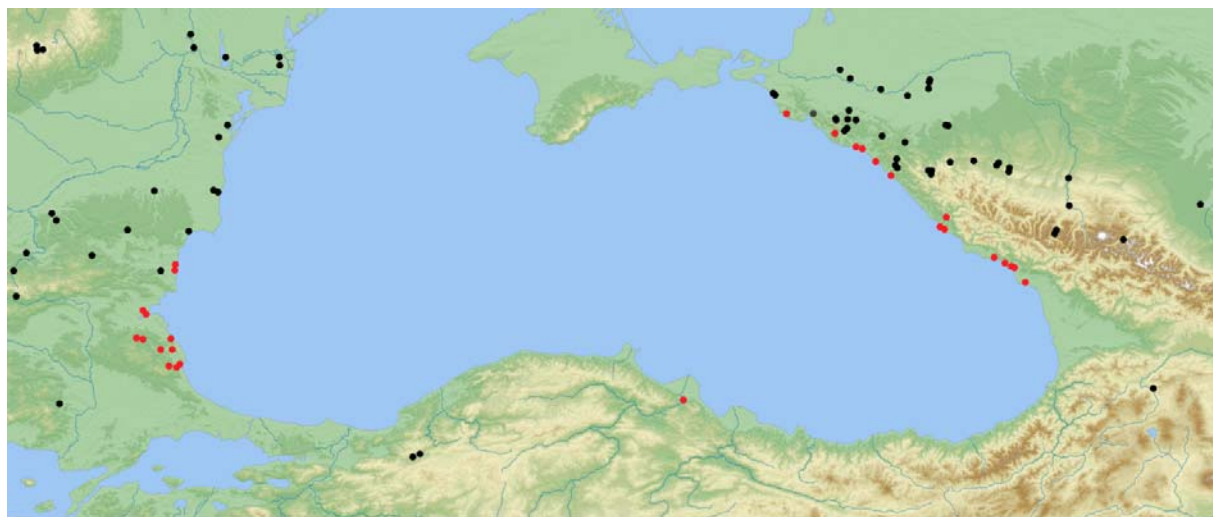


Рисунок 7. Распространение *Myotis daubentonii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 7. Distribution of *Myotis daubentonii*. Designation as in Fig. 2

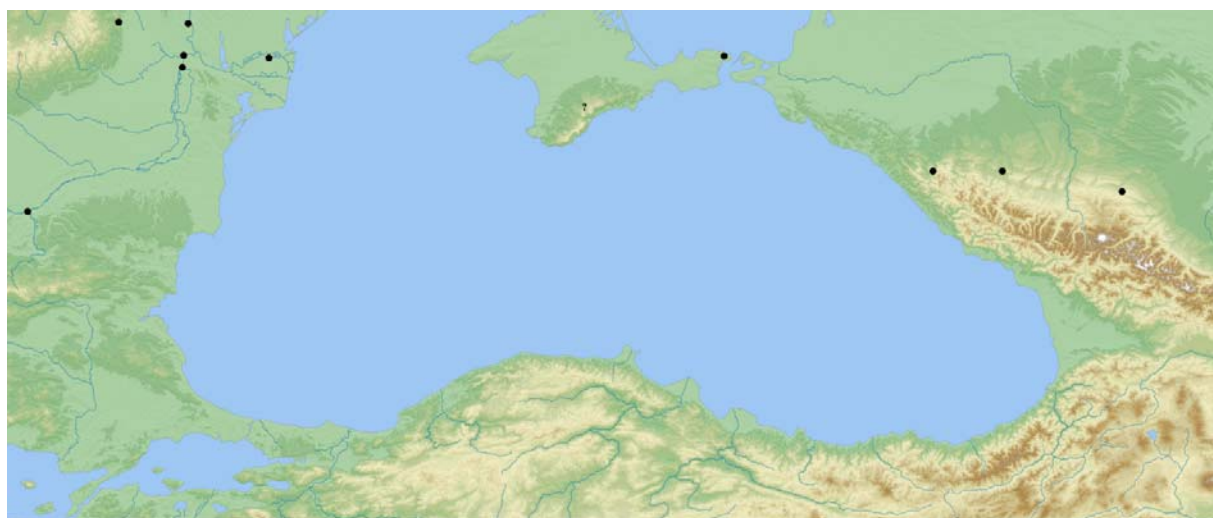


Рисунок 8. Распространение *Myotis dasycneme*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 8. Distribution of *Myotis dasycneme*. Designation as in Fig. 2

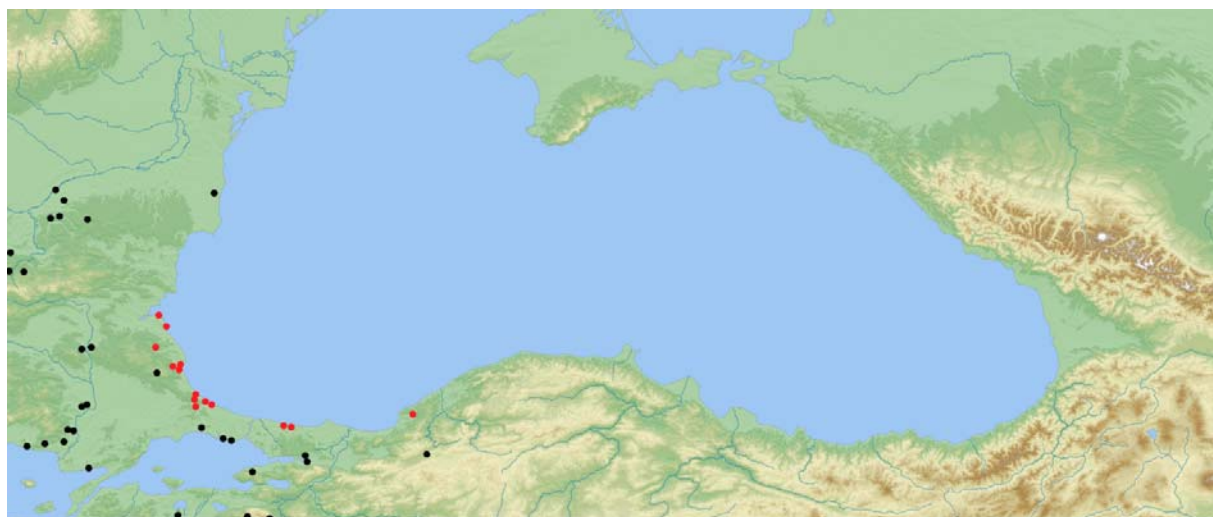


Рисунок 9. Распространение *Myotis capaccinii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 9. Distribution of *Myotis capaccinii*. Designation as in Fig. 2

11. *Myotis davidii* Peters, 1869 – степная ночница (рис. 12). Черноморское побережье является ядром, центром ареала вида, распространённого главным образом на Балканах, в Малой Азии, на Кавказе, в Причерноморье и

Прикаспии. Хотя и распространена эта ночница по всему региону, наибольшее число находок приходится на Крым и Кавказ. Как и другие виды усовых ночниц, как отдельный вид в регионе стала рассматриваться лишь в последние

годы [3; 4], поэтому вероятно ряд старых находок *M. mystacinus* s.l. может относиться к этому виду.

12. *Myotis alcathoe* Helversen et Heller, 2001 – короткопалая ночница (рис. 13). Так же как три предыдущих вида, эта ночница как самостоятельный вид в регионе выделяется только в последние годы. Черноморский регион представляет собой периферийную часть ареала вида, однако известные находки вида [3; 4] представляют его в регионе широко распространённым. Картину регионального распространения короткопалой ночницы дополняют данные о находках этой мелкой ночницы в Центральной Болгарии, Греции [38].

13. *Myotis nattereri* (Kuhl, 1817) – ночница Наттерера (рис. 14). Ранее считалось, что данный вид обитает по всему Черноморью. Однако, в последнее десятилетие стало известно [6–8], что в регионе обитает два близких вида: *M. nattereri* s.str. и, прежде включавшийся в его состав, *M. tschuliensis*. В Черноморском регионе проходит восточная граница ареала вида. Распространение в регионе охватывает балканское побережье, и вероятно, западную часть малоазиатского побережья Чёрного моря.

14. *Myotis tschuliensis* Kuzyakin, 1935 (рис. 15.) – чулийская ночница. В исследуемом регионе выявлена в

результате ревизии видовой принадлежности известных здесь находок *M. nattereri* s.l. [6–8]. В Черноморье проходит восточная граница ареала чулийской ночницы, а кроме того регионом ограничивается её распространение на север. В регионе вид найден на крымском, новороссийском и колхидском побережье и прилегающих территориях в Крыму и на Кавказе. Недостаточно данных для понимания насколько этот вид по малоазиатскому побережью распространён на запад.

15. *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806) – трёхцветная ночница (рис. 16). Черноморским регионом ограничивается ареал вида на севере. В самом Черноморье и на прилежащих территориях этот теплолюбивый вид распространён широко. В то же время, встречаемость вида в регионе невысокая.

16. *Myotis bechsteinii* (Kuhl, 1817) – длинноухая ночница (рис. 17). В Черноморье ареал вида проходит полосой широтного направления. Находки найдены повсеместно, за исключением крымской части региона, а также центральной части малоазиатского побережья. Возможно, отсутствие находок длинноухой ночницы в отдельных регионах связано с недостаточной изученностью вида, вследствие его низкой встречаемости и малочисленности в регионе.



Рисунок 10. Распространение *Myotis brandtii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 10. Distribution of *Myotis brandtii*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 11. Распространение *Myotis mystacinus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 11. Distribution of *Myotis mystacinus*. Designation as in Fig. 2

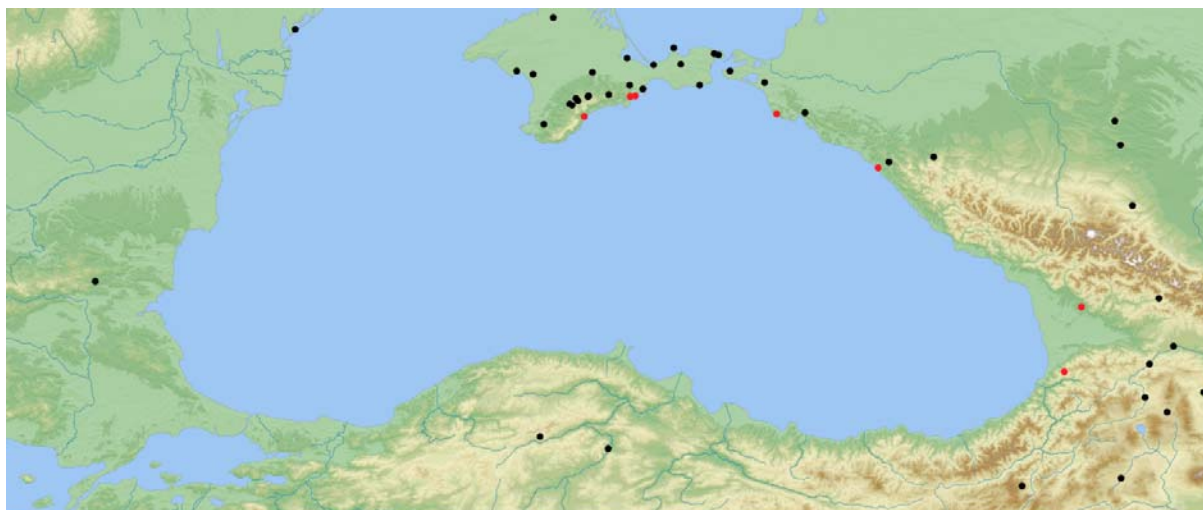


Рисунок 12. Распространение *Myotis davidii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 12. Distribution of *Myotis davidii*. Designation as in Fig. 2

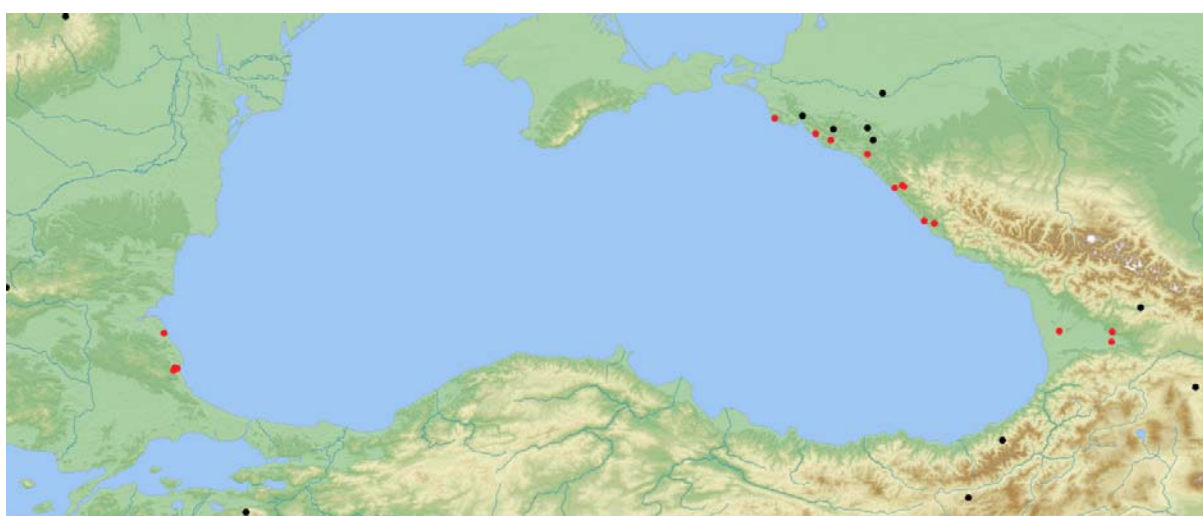


Рисунок 13. Распространение *Myotis alcathoe*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 13. Distribution of *Myotis alcathoe*. Designation as in Fig. 2

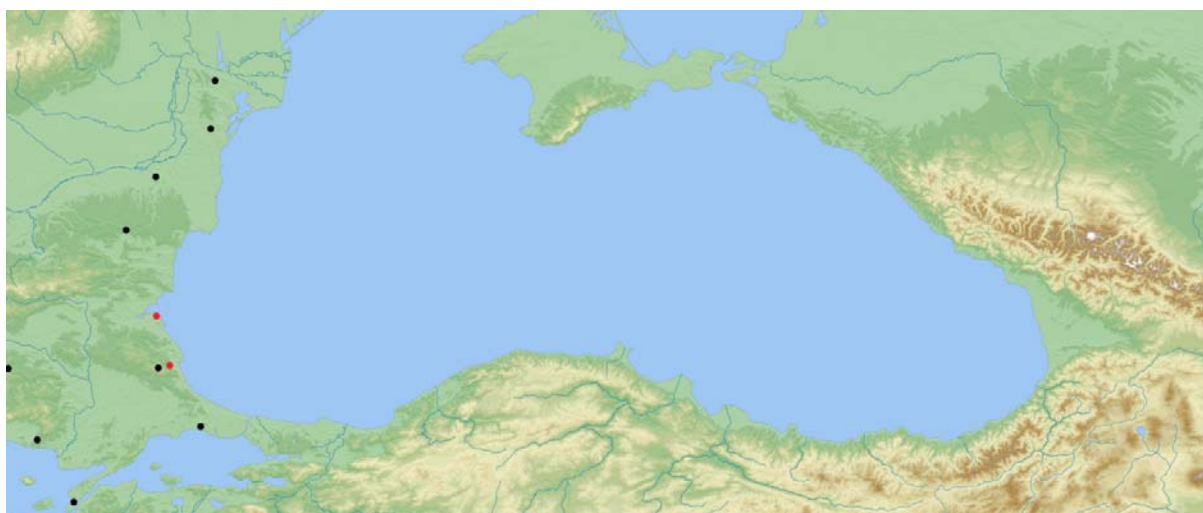


Рисунок 14. Распространение *Myotis nattereri*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 14. Distribution of *Myotis nattereri*. Designation as in Fig. 2

17. *Myotis blythii* (Tomes, 1857) – остроухая ночница (рис. 18). *M. myotis* и *M. blythii* рассматривали как отдельные два вида ещё в начале XX в. [39; 40], однако не все исследователи это принимали, у С.И. Огнёва [15] выделяются на подвидовом уровне, с подчёркиванием их

близости. До конца XX в. в группе больших ночниц не было полной ясности во взаимоотношении этих видов. Даже без учёта черноморских находок прошлого века крупных ночниц без различения на эти два вида, очевидно, остроухая ночница в регионе относится к

видам с очень высокой встречаемостью. При этом следует отметить, что Черноморским побережьем и прилегающими территориями ограничивается распространение вида на север.

18. *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797) – большая ночница (рис. 19). Черноморье охватывает периферию ареала вида. Распространена на балканской и малоазиатской, южной половины колхидской части Черноморского побережья [21; 22]. Вероятно, распространение вида простирается и в Западное Закавказье. Эта часть Черноморья отличается слабой изученностью фауны, многие данные собраны здесь случайно, попутно, иногда неспециалистами по рукокрылым, из-за чего большая ночница здесь могла быть недоучтенной, смешанной с похожей остроухой ночницей.

19. *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774) – рыжая вечерница (рис. 20). Распространение вида охватывает всё субтропическое Черноморье и прилегающие территории. При этом данный регион следует отнести к южной части ареала этой вечерницы, хотя в своём распространении она проникает значительно южнее, в частности известна из Израиля [37].

20. *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) – гигантская вечерница (рис. 21). Повсеместно естественно редкий вид с низкой встречаемостью. Широко распространена в Черноморье (кроме центральных районов анатолийского побережья), которое относится к южной части ареала вида. В своём распространении на юг вид не ограничивается Черноморским побережьем, найден и значительно южнее, в регионе Анталя, на Кипре, горной Киренаике в Ливии [41; 42].

21. *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817) – малая вечерница (рис. 22). Также как и для двух других упомянутых выше видов вечерниц, для малой Черноморье является частью южной окраины ареала, хотя вид встречается и гораздо южнее, в частности в Ливии [42].

22. *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) – нетопырь-карлик (рис. 23). Как самостоятельный вид, нетопырь-карлик в регионе выделяется в последние два десятилетия [9; 10]. Несмотря на то, что Черноморье представляет собой северную периферию его ареала, в отдельных регионах побережья вид отличается очень высокой встречаемостью (иногда наивысшей среди рукокрылых), даже если не принимать во внимание старые находки без различения на современные виды.



Рисунок 15. Распространение *Myotis tschuliensis*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 15. Distribution of *Myotis tschuliensis*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 16. Распространение *Myotis emarginatus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 16. Distribution of *Myotis emarginatus*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 17. Распространение *Myotis bechsteinii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 17. Distribution of *Myotis bechsteinii*. Designation as in Fig. 2

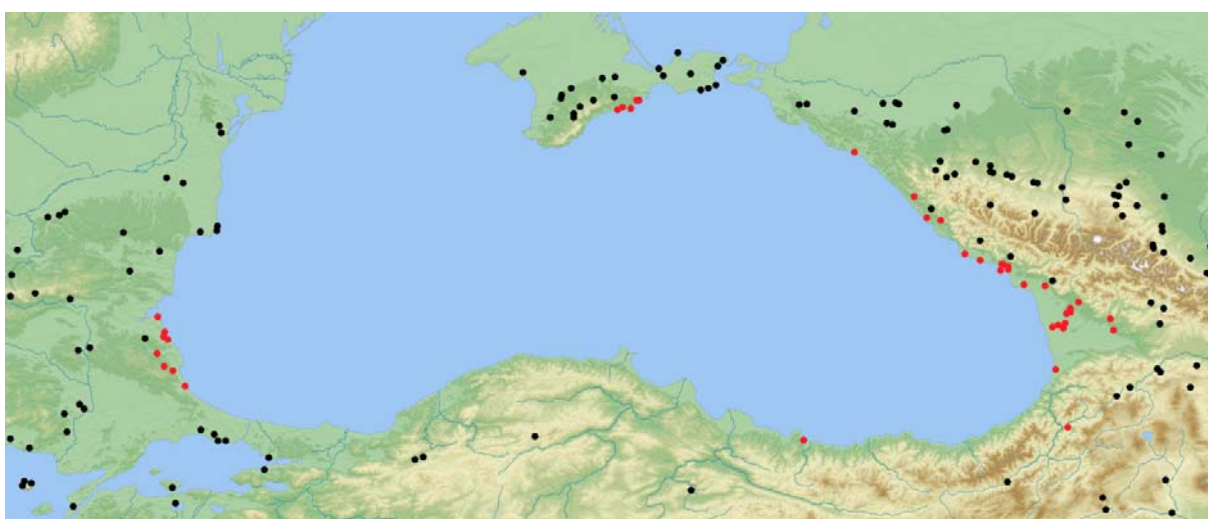


Рисунок 18. Распространение *Myotis blythii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 18. Distribution of *Myotis blythii*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 19. Распространение *Myotis myotis*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 19. Distribution of *Myotis myotis*. Designation as in Fig. 2

23. *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825) – тонкоголосый нетопырь (рис. 24). Этот мелкий нетопырь стал рассматриваться как отдельный вид только в последние пару десятилетий, до того его не отличали от

предыдущего вида [9; 10]. По этой причине, высока вероятность того, что многие старые находки без различия на новые виды могут относиться к этому нетопырю. Тонкоголосый нетопырь в регионе распрост-

ранён широко. Черноморье относится к южной части ареала, однако вид найден и несколько южнее, в частности на Кипре [41].

24. *Pipistrellus nathusii* (Keyserling et Blasius, 1839) – лесной нетопырь (рис. 25). Для этого перелётного вида летучих мышей распространение на юг в этой части ареала ограничивается Черноморьем. Вместе с тем, в самих субтропиках Черноморья и прилежащих территориях вид найден повсеместно, кроме центральных районов побережья Малой Азии. Находки на прилежащих территориях, в частности в Восточной Турции (на побережье озера Ван) [21] позволяют предположить более широкое распространение и на южном берегу Чёрного моря. Кроме того, мигрирующие лесные нетопыри неоднократно отмечались над водами Чёрного моря.

25. *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1817) – средиземноморский нетопырь (рис. 26). Век назад этот нетопырь в России был известнее из единичных пунктов в Крыму и Южном Кавказе (в частности в запобережном Карсе). Очевидно, сосредоточение находок вида в Черноморье и Средиземноморье в целом, определило в то время его русское тривиальное название, оно имеется, например, у К.А. Сатунина [40]. Несколько

позже появились сообщения о находках этого нетопыря в колхидском регионе, а в конце 1970-х – в 1980-е гг. число его находок резко возросло, вид найден был по всему Черноморью: в новороссийском, балканском и малоазиатском участках побережья. К тому же в эти годы значительно увеличилось число его находок в Крыму. Однако наибольшее количество находок вида в Черноморском регионе сделано в три последних десятилетия [19]. В отдельных районах Черноморья выявилось, что он отличается здесь высокой встречаемостью. Кроме того, в эти десятилетия отмечена значительная экспансия ареала средиземноморского нетопыря, прежде всего в северном и северо-восточном направлениях, далеко за пределы Средиземноморской подобласти Палеарктики. Таким образом, в настоящее время Черноморье уже нельзя назвать крайней северной периферией ареала вида.

26. *Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837) – кожановидный нетопырь (рис. 27). Черноморским побережьем и прилежащими территориями ограничивается распространение вида на север. В исследуемом регионе отмечен повсеместно. В настоящее время отмечаются тенденции к расширению ареала вида в северном направлении [43].

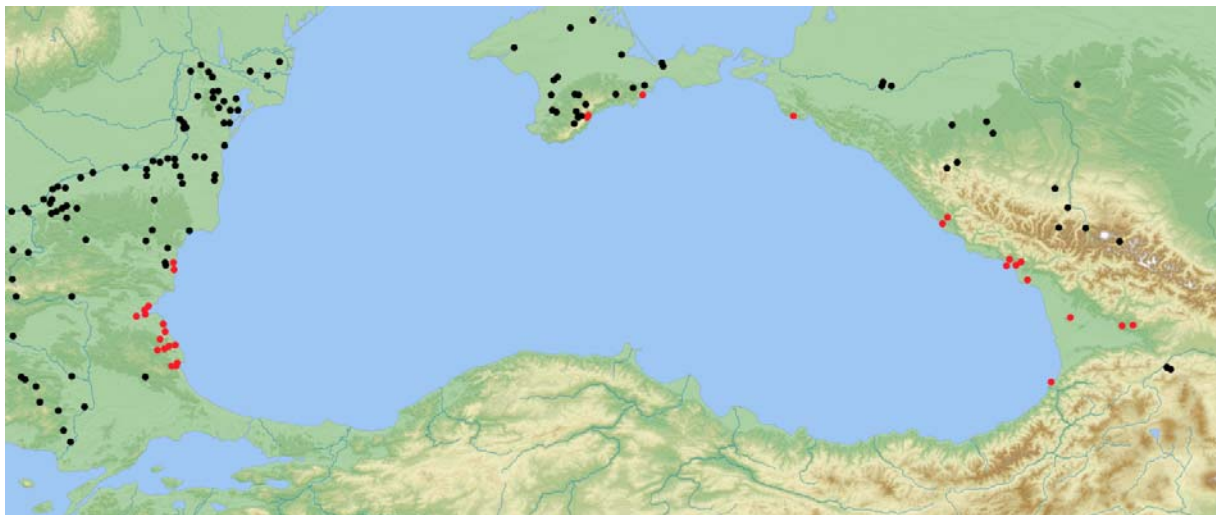


Рисунок 20. Распространение *Nyctalus noctula*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 20. Distribution of *Nyctalus noctula*. Designation as in Fig. 2

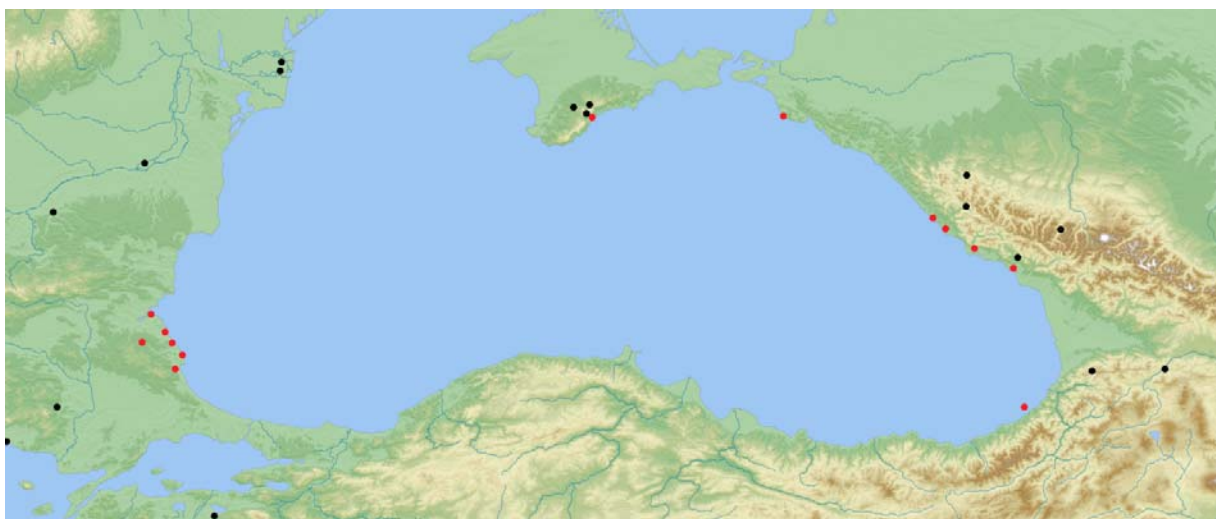


Рисунок 21. Распространение *Nyctalus lasiopterus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 21. Distribution of *Nyctalus lasiopterus*. Designation as in Fig. 2

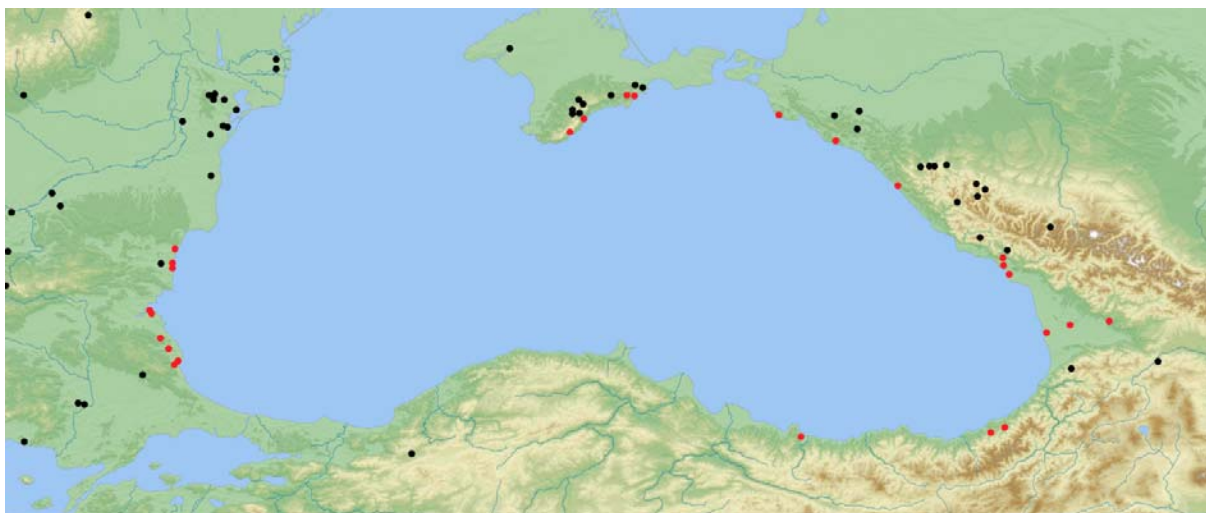


Рисунок 22. Распространение *Nyctalus leisleri*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 22. Distribution of *Nyctalus leisleri*. Designation as in Fig. 2

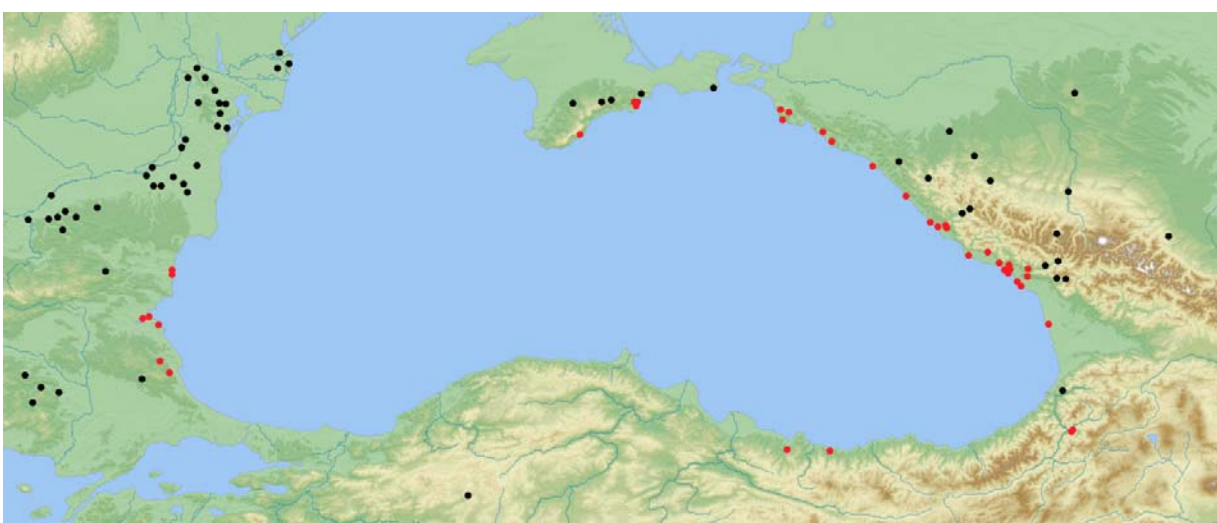


Рисунок 23. Распространение *Pipistrellus pipistrellus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 23. Distribution of *Pipistrellus pipistrellus*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 24. Распространение *Pipistrellus pygmaeus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 24. Distribution of *Pipistrellus pygmaeus*. Designation as in Fig. 2

27. *Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758 – двуцветный кожан (рис. 28). Черноморье является южной окраиной ареала вида. Вместе с тем, в отдельных районах региона вид отмечается высокой встречаемостью.

28. *Eptesicus serotinus* (Schreber, 1774) – поздний кожан (рис. 29). Широко распространён в субтропиках Черноморья и прилежащих территориях.

29. *Eptesicus nilssonii* (Keyserling et Blasius, 1839) – северный кожанок (рис. 30). Субтропики Черноморья относятся к крайней южной периферии ареала вида, что и определяет его низкую встречаемость в регионе. Здесь он найден в Чаквистави (Зелёный Мыс) [44] на юго-востоке региона. Однако, ряд находок на прилежащих территориях (в Тбилиси, Теберде, Влади-

кавказе, Рильском монастыре на юго-западе Болгарии) [18–20; 22], а также некоторые южные находки на Балканах и в Иране, позволяют предполагать более широкое распространение в регионе [35; 45]. Кавказские находки конца XIX в. противоречат версии о виде, как недавнем вселенце в регионе.

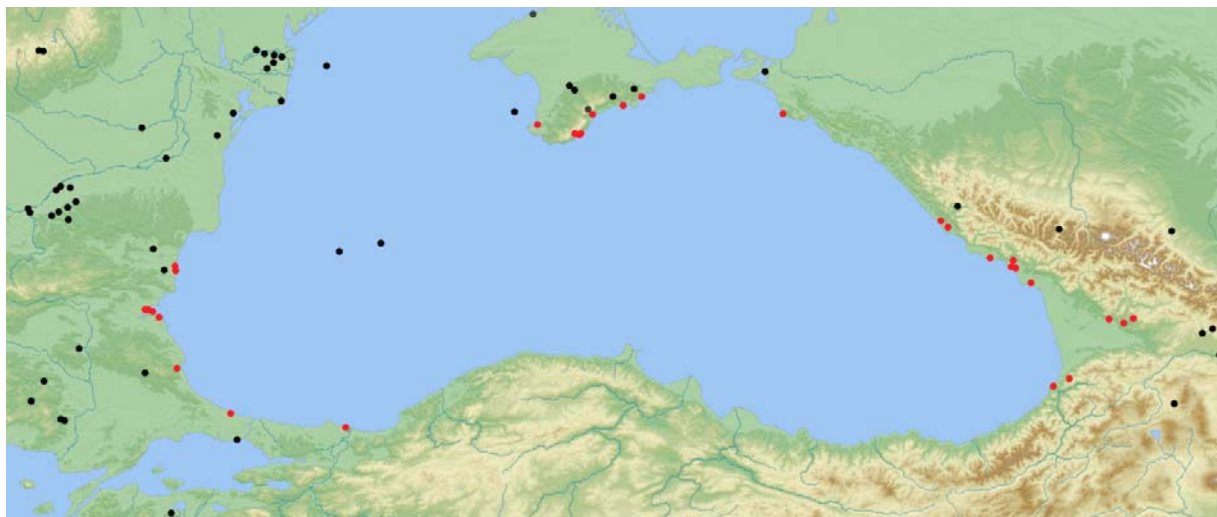


Рисунок 25. Распространение *Pipistrellus nathusii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 25. Distribution of *Pipistrellus nathusii*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 26. Распространение *Pipistrellus kuhlii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 26. Distribution of *Pipistrellus kuhlii*. Designation as in Fig. 2

30. *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) – европейская широкоушка (рис. 31). Черноморское побережье и прилежащие территории относятся к юго-восточной периферии ареала вида. В Черноморье вид распространён широко, не известен только на малоазиатском побережье. Наибольшее число находок приходится на крымско-кавказскую часть побережья Чёрного моря.

31. *Plecotus auritus* (Linnaeus, 1758) – бурый ушан (рис. 32). В узком смысле вид, *Plecotus auritus* s.str., стал учитываться на Черноморском побережье около 40 лет назад, ранее в его состав включали все прочие виды ушанов, обитающих в регионе [11]. Черноморьем ограничивается ареал этого вида на юге. В самом субтропическом Черноморье и на сопредельных

территориях бурый ушан распространён широко. Не известны его находки лишь в центральной части малоазиатского побережья.

32. *Plecotus macrobullaris* Kuzyakin, 1965 – горный ушан (рис. 33). Распространён на прилежащих территориях на северо-востоке и юго-востоке от Черноморского побережья, при этом на юго-востоке проникает и в субтропические районы Черноморья. Учитывая положение находок на прилежащих территориях можно предполагать более широкое распространение вида в запобережной зоне колхидского региона Черноморья. В качестве отдельного вида горного ушана стали выделять только в последнее десятилетие [11], ранее он рассматривался в составе предыдущего вида. Ревизия видовой

принадлежности старых экземпляров показала, что вид в регионе встречается с 1907 г. (экземпляр, добытый Ю.Н. Вороновым в Артвине, хранящийся в коллекции

ЗИН РАН). В Черноморье и прилегающих территориях отмечено симпатрическое обитание вида с бурым ушаном.



Рисунок 27. Распространение *Hypsugo savii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 27. Distribution of *Hypsugo savii*. Designation as in Fig. 2

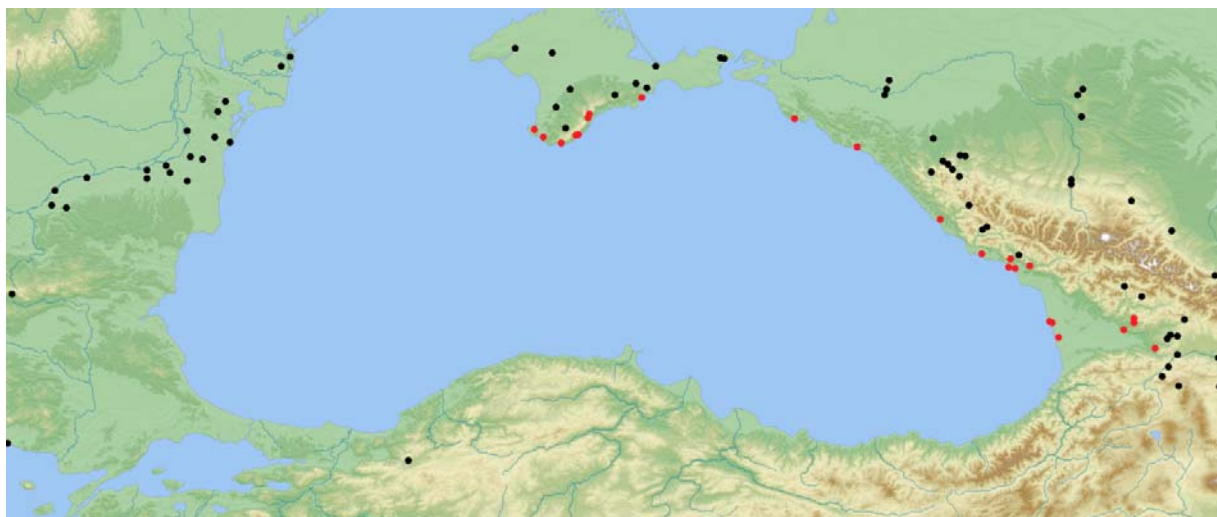


Рисунок 28. Распространение *Vespertilio murinus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 28. Distribution of *Vespertilio murinus*. Designation as in Fig. 2

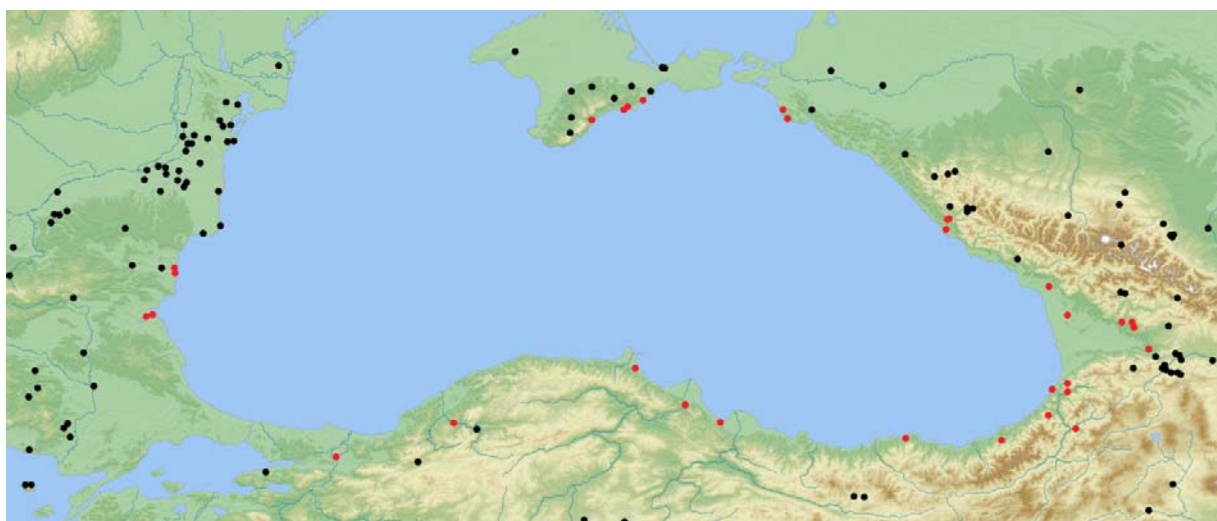


Рисунок 29. Распространение *Eptesicus serotinus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 29. Distribution of *Eptesicus serotinus*. Designation as in Fig. 2

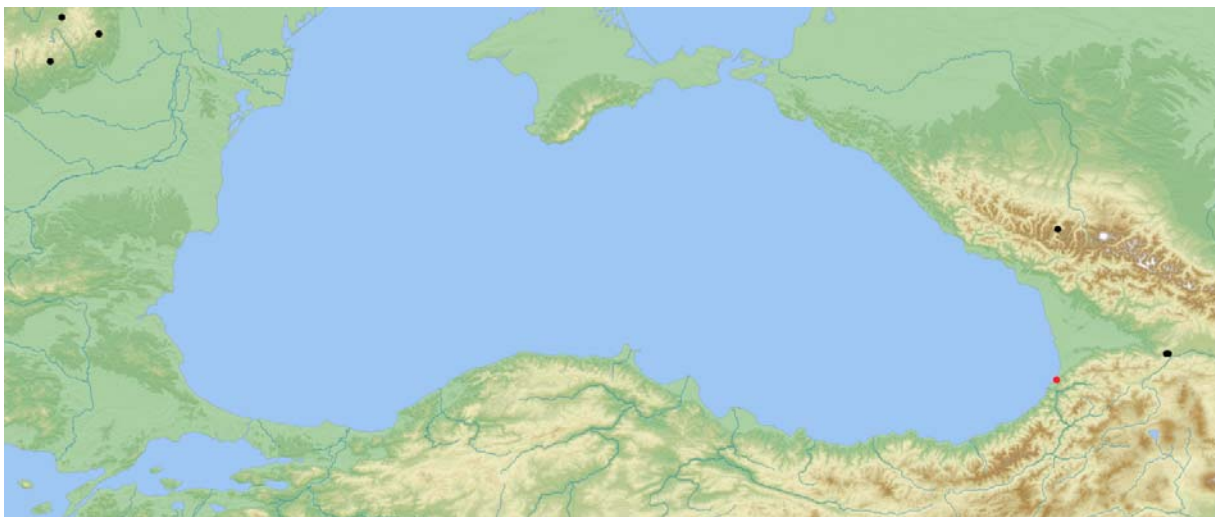


Рисунок 30. Распространение *Eptesicus nilssonii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 30. Distribution of *Eptesicus nilssonii*. Designation as in Fig. 2

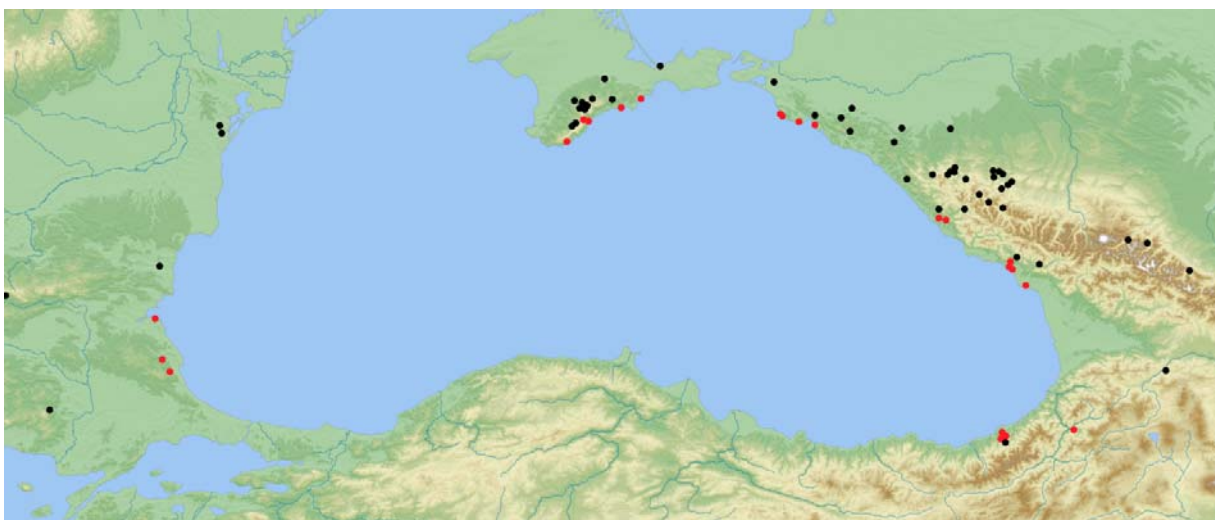


Рисунок 31. Распространение *Barbastella barbastellus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 31. Distribution of *Barbastella barbastellus*. Designation as in Fig. 2



Рисунок 32. Распространение *Plecotus auritus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 32. Distribution of *Plecotus auritus*. Designation as in Fig. 2

33. *Plecotus austriacus* (Fischer, 1829) – серый ушан (рис. 34). Распространён в европейской части

Черноморья, в регионе проходит восточная граница его ареала. В качестве самостоятельного вида стал

рассматриваться относительно недавно [11], поэтому распространение серого ушана всё ещё слабо изучено. Прежде всего, остается неизвестным насколько далеко вид проникает на запад по черноморскому побережью Малой Азии, каково его распространение в Горном Крыму. Не исключены находки вида и на кавказском побережье, в особенности в ново-

российском регионе, тем более, что в последние годы появляются сведения о находках вида далеко на север за пределами ранее известного ареала [28]. В балканской части Черноморья, а также на некоторых прилежащих территориях серый ушан отличается от бурого более высокой встречаемостью.

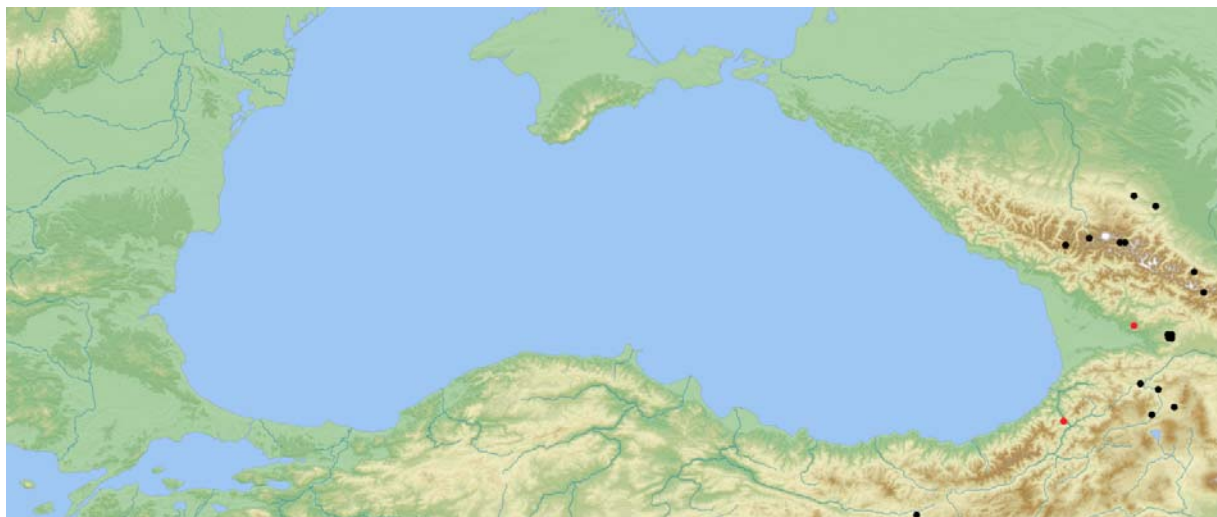


Рисунок 33. Распространение *Plecotus macrobullaris*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 33. Distribution of *Plecotus macrobullaris*. Designation as in Fig. 2

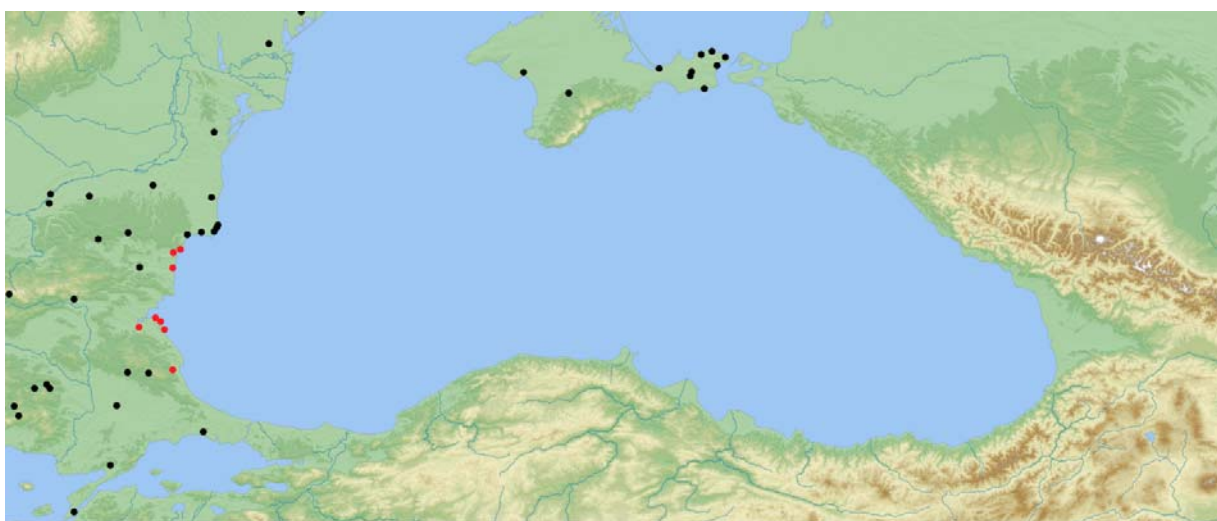


Рисунок 34. Распространение *Plecotus austriacus*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 34. Distribution of *Plecotus austriacus*. Designation as in Fig. 2

34. *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) – обыкновенный длиннокрыл (рис. 35). Черноморский регион – это крайняя северная периферия ареала вида. Несмотря на это в регионе длиннокрыл относится к широко распространённым видам с повсеместно высокими встречаемостью и относительной численностью, кроме крымской части побережья, где вид известен по единичным находкам более чем полувековой давности. Однако в Европе в последние годы наблюдается восстановление северной периферии ареала и даже его экспансия на север [46; 47], в связи с чем можно ожидать и новые встречи длиннокрыла в Крыму [48].

35. *Tadarida teniotis* (Rafinesque, 1814) – широкоухий складчатогуб (рис. 36). Черноморским регионом ограничивается ареал вида на севере. При этом сравнительно небольшое количество известных находок в Черноморье и на прилежащих территориях этого труднодоступного для наблюдения вида (к тому же многие из точек основаны на регистрации ультразвукового сигнала) представляет его в регионе широко распространённым. Широкоухий складчатогуб не является для Черноморья недавним вселенцем, наиболее ранние находки относятся ещё к концу XIX в., когда была найдена молодая самка в Крыму [33; 40].

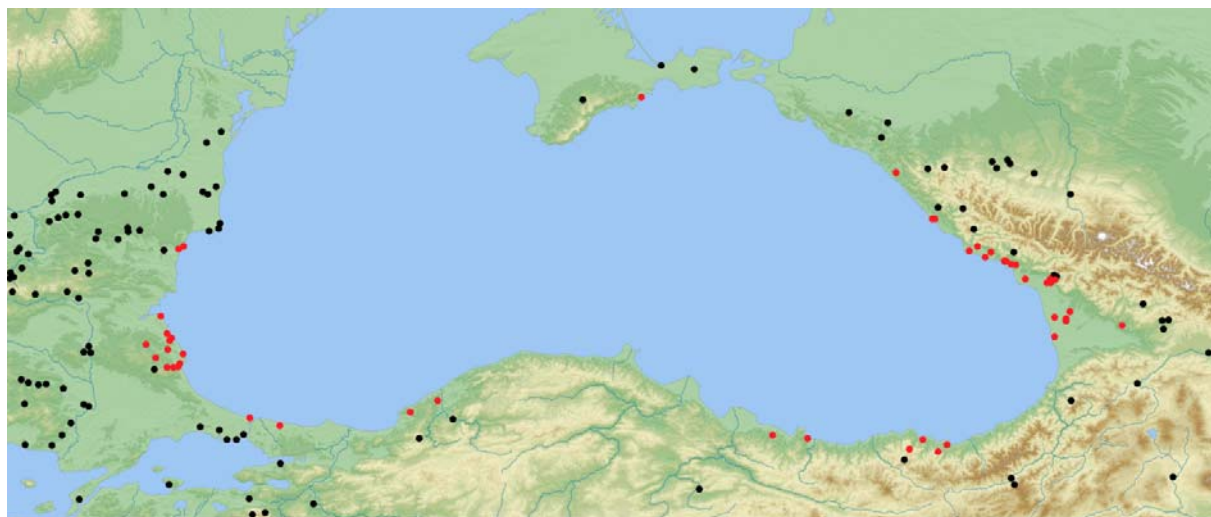


Рисунок 35. Распространение *Miniopterus schreibersii*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 35. Distribution of *Miniopterus schreibersii*. Designation as in Fig. 2

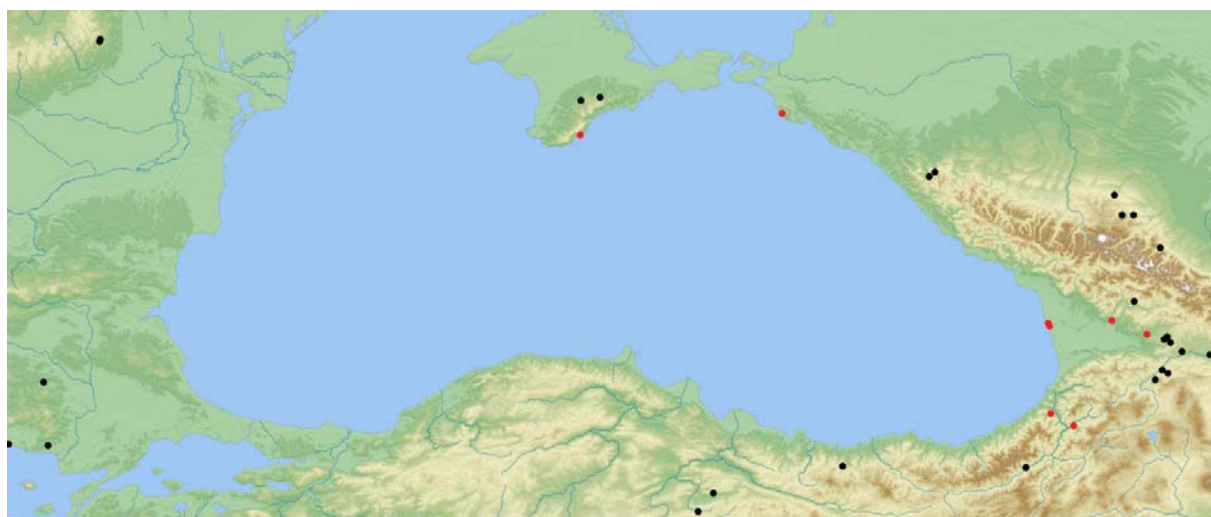


Рисунок 36. Распространение *Tadarida teniotis*. Обозначения см. на рис. 2

Figure 36. Distribution of *Tadarida teniotis*. Designation as in Fig. 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фауна субтропических районов Черноморья и прилегающих территорий богата и разнообразна, уникальна и сложна по составу формирующих её видов из различных зоогеографических комплексов, таких как средиземноморско-переднеазиатский, европейский неморальный и бореальный [2]. Вместе с тем здесь не обнаружены ряд видов рукокрылых, найденных вблизи границ описываемого региона, часто это обитатели аридных ландшафтов. Это, например, *Myotis schaubi* Kormos, 1934, *Barbastella leucomelas* Cretzschmar, 1826 и *Eptesicus ognevi* Bobrinsky, 1918 найденные в Восточном Закавказье (*M. schaubi* ещё и в ископаемом виде на Балканах, в Венгрии) [25; 21], *Eptesicus gobiensis bobrinskoi* Kuzyakin, 1935 – в Северной Осетии (РФ) и на северо-западе Ирана [49], *Eptesicus anatolicus* Felten, 1971 [50] и *Rousettus aegyptiacus* (Geoffroy, 1810) на западе Турции [51].

Региональные фаунистические исследования в Черноморском регионе могут быть использованы при проведении масштабных фундаментальных научных работ, в частности для изучения экологических основ становления и динамики фауны на зоогеографических

рубежах, в особенности в связи с климатическими изменениями.

Изучение распространения рукокрылых в Черноморском регионе представляет не только научную, но и высокую природоохранную значимость. Хироптерофауну региона составляют редкие и малочисленные виды животных, многие из которых подлежат специальным мерам охраны в странах региона. В частности, среди 9 видов летучих мышей, включённых в Красную книгу РФ (2021) 8 обитают в Черноморье [52–59], большинство из них тропикофильные теплолюбивые виды [60]. При этом, одной из основных проблем охраны этих животных в регионе остаётся их слабая изученность. Региональную неравномерность изученности отчасти отражают приведённые выше картосхемы. Без проведения специальных исследований летучих мышей, в частности выявления их убежищ, без учёта и мониторинга известных колоний, не возможны организация и ведение природоохранной деятельности, среди которой важнейшей является охрана видов в особо охраняемых природных территориях [61]. Вопрос приобретает особую актуальность при осознании огромного масш-

таба всеобъемлющей человеческой деятельности в Черноморском регионе.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Считаю своей приятной обязанностью выразить благодарность коллегам: Р.С. Дбару, З.И. Адзинба, А.Г. Ковалю и Р.С. Варговичу, Д.Г. Смирнову и Н.М. Салдаевой, Д.А. Васенькову и Н.В. Сидорчук, Н.С. Чернецову, Г.А. Прокопову, Б.С. Туниеву, А.В. Ромашину, А.А. Маслову и другим, за совместные полевые исследования, а также за личные сообщения о находках, в том числе неопубликованные.

Работа выполнена на УНУ ГПЗ "Карадагский" в рамках темы госзадания №121032300023-7. Часть работ на территории северного Кавказа выполнялась за счет гранта Российского научного фонда №22-24-00617.

ACKNOWLEDGMENT

It is a pleasant duty to express gratitude to colleagues R.S. Dbar, Z.I. Adzinba, A.G. Koval and R.S. Vargovich, D.G. Smirnov and N.M. Saldaeva, D.A. Vasenkov and N.V. Sidorchuk, N.S. Chernetsov, G.A. Prokopov, B.S. Tuniev, A.V. Romashin, A.A. Maslov and others, for joint field research, as well as for personal messages concerning the records, including those unpublished. The work was carried out in the USI Karadagsky SNR within the framework of the state task No. 121032300023-7. Part of the work in the North Caucasus was carried out at with the financial support of Russian Science Foundation Grant No. 22-24-00617.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Иваницкий А.Н. Рукокрылые субтропических районов Черноморского побережья (эколого-зоогеографический аспект) // Мат. конф. «Млекопитающие России: фаунистика и вопросы териогеографии», Ростов-на-Дону, 17–19 апреля, 2019. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2019. С. 93–95.
- Иваницкий А.Н., Смирнов Д.Г. Видовой состав и закономерности распространения рукокрылых (Chiroptera) в Колхиде // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. V. 18. N 1. С. 12–16.
- Benda P., Gazaryan S., Vallo P. On the distribution and taxonomy of bats of the *Myotis mystacinus* morphogroup from the Caucasus region (Chiroptera: Vespertilionidae) // Turk. J. Zool. 2016. V. 40. P. 1–22+8
- Дундарова Х.И. Молекулярна филогения на морфогрупата: *Myotis mystacinus* (Chiroptera: Vespertilionidae) на Балканския полуостров. Дис. ... степен "доктор". София, 2018. 81 с.
- Ruedi M., Mayer F. Molecular systematics of bats of the genus *Myotis* (Vespertilionidae) suggest deterministic ecomorphological convergences // Molecular Phylogenetic and Evolution. 2001. V. 21. P. 436–448.
- Smirnov D.G., Vekhnik V.P., Dzhahirzoyev G.S., Titov S.V. On the taxonomic status of species from the group «*Myotis nattereri*» (Chiroptera, Vespertilionidae) in the eastern Caucasus // Zapoved Nauka. 2020. V. 5. N 4. P. 1–13.
- Kruskop S.V., Solovyeva E.N. Validating the relationships: which species of *Myotis* «*nattereri*» group (Chiroptera: Vespertilionidae) actually inhabits the Caucasus // Mammalia. 2021. V. 85. P. 90–99.
- Uvizl M., Benda P. Diversity and distribution of the *Myotis nattereri* complex (Chiroptera: Vespertilionidae) in the Middle East: filling the gaps // Mammalian Biology. 2021. V. 101. <https://doi.org/10.1007/s42991-021-00143-0>
- Häussler U., Nagel A., Braun M., Arnold A. External characters discriminating sibling species of European *pipistrellus*, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) and *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825) // Myotis. 2000. V. 37. P. 27–40.
- Крускоп С.В. К распространению нетопырей комплекса *Pipistrellus pipistrellus/pygmaeus* (Chiroptera, Vespertilionidae) в России // Plecotus. 2007. N 10. С. 36–46.
- Spitzenberger F., Strelkov P.P., Winkler H., Haring E. A preliminary revision of the genus *Plecotus* (Chiroptera, Vespertilionidae) based on genetic and morphological results // Zoologica Scripta. 2006. V. 35. P. 187–230.
- Trewartha G.T. The earth's problem climates. London: Methuen & Co., 1966. 334 p.
- Troll C., Paffen K.H. Karte der Jahreszeitenklimate der Erde // Erdkunde. 1964. V. 18. P. 5–28.
- Иваницкий А.Н. К истории изучения фауны рукокрылых субтропических районов Черноморского побережья (конец XVIII – начало XX вв.) // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность. Тезисы докладов Международной научной конференции, посвященной 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий», Севастополь, 2021. С. 99–101.
- Огнев С.И. Звери Восточной Европы и Северной Азии // Насекомоядные и летучие мыши. Т. 1. М.–Л.: Главнаука, 1928. 631 с.
- Бобринский Н.А., Кузнецов Б.А., Кузякин А.П. Отряд Рукокрылые. Ordo Chiroptera // Определитель млекопитающих СССР. М.: Просвещение, 1965. С. 79–116.
- Газарян С.В. Эколого-фаунистический анализ населения рукокрылых (Chiroptera) Западного Кавказа: дис. ... канд. биол. наук. М., 2002. 225 с.
- Ильин В.Ю., Смирнов Д.Г., Красильников Д.Б., Яняева Н.М. Материалы к кадастру рукокрылых (Chiroptera) Европейской России и смежных регионов. Пенза: Пензенский государственный университет, 2002. 64 с.
- Иваницкий А.Н. Рукокрылые (Chiroptera) Абхазии и сопредельных территорий (фауна, зоогеография, охрана). Симферополь: Ариал, 2018. 156 с.
- Бухникашвили А.К., Кандауров А.С., Натрадзе И.М. Находки рукокрылых в Грузии за последние 140 лет // Plecotus. 2004. N 7. С. 41–57.
- Benda P., Horaček I. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 1. Review of distribution and taxonomy of bats in Turkey // Acta Soc. Zool. Bohem. 1998. V. 62. P. 255–313.
- Benda P., Ivanova T., Horaček I., Hanák V., Červený J., Gaisler J., Gueorgieva A., Petrov B., Vohralík V. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the eastern Mediterranean. Part 3. Review of bat distribution in Bulgaria // Acta Soc. Zool. Bohem. 2003. V. 67. N 4. P. 245–357.
- Дулицкий А.И. Биоразнообразие Крыма. Млекопитающие: история, состояние, охрана, перспективы. Симферополь: СОНАТ, 2001. 208 с.
- Портал «Млекопитающих России», 2017–2023. URL: <https://rusmam.ru> (дата обращения: 01.10.2023)
- Рахматулина И.К. Рукокрылые Азербайджана (фауна, экология, зоогеография). Баку, 2005. 480 с.
- Nordmann A. Observations sur la faune pontique. Voyage dans la Russie meridionale et la Crimée, execute en 1837 par A. de Demidoff. Paris, 1840. V. 3. 756 p.
- Газарян С.В. О современном фаунистическом статусе водяной ночницы *Myotis daubentonii* (Chiroptera, Vespertilionidae) на Кавказе // Plecotus. 2003. N 6. С. 37–48.
- Червона книга України. Тваринний світ / за ред. Акімова І.А. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
- Kormos T. Középkori bölény és medvevadászok nyomai a krassószerényi hegységben. Természettudományi Közlemények. Budapest. 1912. N 44. P. 267–271.

30. Газарян С.В. Прудовая ночница *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) – новый вид фауны рукокрылых Кавказа // *Plecotus*. 2004. N 7. С. 102–103.
31. Popov V., Lakovski K.T. Southernmost postglacial record of Pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) (Mammalia: Chiroptera) – Varteshka Cave, NW Bulgaria // *Acta Zoologica Bulgarica*. 2019. V. 71. N 1. P. 57–62.
32. Кесслер К.Ф. Заметка о летучих мышах России // *Труды С.-Петербургского Общества Естествоиспытателей*. 1872. Т. 3. С. II–IV.
33. Jentink F.A. Muséum d'Histoire Naturelle de Pays-Bas. Tome XII. Catalogue Systématique des Mammifères (Rongeurs, Insectivores, Cheiroptères, Édentés et Marsupiaux). 1888. 280 p.
34. Karataş A., Benda P., Toprak F., Karakaya H. New and significant records of *Myotis capaccinii* (Chiroptera: Vespertilionidae) from Turkey, with some data on its biology // *Lynx (Praha)*. 2003. V. 34. P. 39–46.
35. Benda P., Faizolâhi K., Andreas M., Obuch J., Reiter A., Ševčík M., Uhrin M., Vallo P., Ashrafi S. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 10. Bat fauna of Iran // *Acta Soc. Zool. Bohem.* 2012. V. 76. P. 163–582.
36. Богдарина С.В., Стрелков П.П. Распространение рукокрылых (Chiroptera) на севере европейской России // *Plecotus*. 2003. N 6. P. 7–28.
37. Mendelssohn H., Yom-Tov Y. Mammalia of Israel. Israel: Israel Academy of Sciences and Humanities, 1999. 439 p.
38. von Helversen O., Heller K.G., Mayer F., Nemeth A., Volleth M., Gombkötő P. Cryptic mammalian species: a new species of whiskered bat (*Myotis alcathoe* n. sp.) in Europe // *Naturwissenschaften*. 2001. V. 88. P. 217–223.
39. Miller G.S. Catalogue of the mammals of Western Europe (Europe exclusive of Russia) in the collection of the British museum. London: BMNH, 1912. 1019 p.
40. Сатунин К.А. Определитель млекопитающих Российской империи (рукокрылые, насекомоядные и хищные). Тифлис: Типограф канцелярии наместника Е.И.В. на Кавказе, 1914. Т. 1. 184 с.
41. Benda P., Hanák V., Horáček I., Hulva P., Lučan R., Ruedi M. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 5. Bat fauna of Cyprus: review of records with confirmation of six species new for the island and description of a new subspecies // *Acta Soc. Zool. Bohem.* 2007. V. 71. P. 71–130.
42. Benda P., Spitzenberger F., Hanák V., Andreas M., Reiter A., Ševčík M., Šmid J., Uhrin M. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 11. On the bat fauna of Libya II // *Acta Soc. Zool. Bohem.* 2014. V. 78. P. 1–162.
43. Uhrin M., Hüttmeir U., Kipson M., Estók P., Sachanowicz K., Bücs Sz., Karapandža B., Paunović M., Presetnik P., Bashta A.-T., Maxinová E., Lehotská B., Lehotský P., Barti L., Csösz I., Szodoray-Paradi F., Dombi I., Görföl T., Boldogh S.A., Jére Cs., Pocora I., Benda P. Status of Savi's pipistrelle *Hypsugo savii* (Chiroptera) and range expansion in Central and south-eastern Europe: a review // *Mammal Review*. 2016. V. 46. P. 1–16.
44. Zazanashvili N., Mallon D., eds. Status and protection of globally threatened species in the Caucasus. Tbilisi: CEPF, WWF, 2009. 232 p.
45. Pavlinić I., Tvrtković N. The presence of *Eptesicus nilssonii* and *Vespertilio murinus* in the Croatian bat fauna confirmed // *Nat. Croat.* 2003. V. 12. N 2. P. 55–62.
46. Cel'uch M. Return of *Miniopterus schreibersii* to the northern edge of its historical distribution in Slovakia // *Vespertilio*. 2014. V. 17. P. 59–63.
47. Piksa K., Gubała W.J. First record of *Miniopterus schreibersii* (Chiroptera: Miniopteridae) in Poland – a possible range expansion? // *Mammal Research*. 2021. V. 66. P. 211–215.
48. Смирнов Д.Г., Курмаева Н.М., Иваницкий А.Н. К изучению рукокрылых (Chiroptera) на востоке Крыма // *Plecotus*. 2017. N 20. С. 17–29.
49. Benda P., Mashkour M.A. finding of *Eptesicus gobiensis* in an ancient salt mine in Iran and notes on the status of this bat in the Middle East (Mammalia: Chiroptera) // *Journal of the National Museum (Prague), Natural History Series*. 2021. V. 190. P. 61–72.
50. Bouillard N. *Eptesicus anatolicus* // The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T85198368A85199537. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T85198368A85199537.en>
51. Benda P., Abi-Said M., Bartonička T., Bilgin R., Faizolâhi K., Lučan R.K., Nicolaou H., Reiter A., Shohdi W.M., Uhrin M., Horáček I. *Rousettus aegyptiacus* (Pteropodidae) in the Palaearctic: list of records and revision of the distribution range // *Vespertilio*. 2011. V. 15. P. 3–36.
52. Иваницкий А.Н. Подковонос Мегели *Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901 // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 942–943.
53. Иваницкий А.Н. Южный подковонос *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853 // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 943–944.
54. Иваницкий А.Н. Малый подковонос *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 945–946.
55. Иваницкий А.Н. Большой подковонос *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 946–947.
56. Иваницкий А.Н. Обыкновенный длиннокрыл *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 948–949.
57. Васеньков Д.А., Иваницкий А.Н. Остроухая ночница *Myotis blythii* (Tomes, 1857) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 951–953.
58. Иваницкий А.Н. Трехцветная ночница *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 954–955.
59. Иваницкий А.Н., Крусков С.В. Европейская широкоушка *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) // Красная книга Российской Федерации. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. Т. «Животные». 2-ое издание. С. 955–957.
60. Иваницкий А.Н. К биологии и фенологии троглофильных рукокрылых Абхазии // *Plecotus*. 2015. N 18. С. 26–33.
61. Иваницкий А.Н. Роль ООПТ субтропических районов российского Черноморья в охране рукокрылых // Научные основы сохранения полноты биоразнообразия в заповедниках и национальных парках. Перспективные для создания ООПТ территории. Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 40-летию Сочинского национального парка. Сер. "Труды Сочинского национального парка". Отв. редактор Б.С. Туниев, Ростов-на-Дону, 2023. С. 154–157.

REFERENCES

1. Ivanitskii A.N. Rukokrylye subtropicheskikh rayonov Chernomorskogo poberezhya (ekologo-zoogeograficheskii aspekt) [Bats of the subtropical regions of the Black Sea coast (ecological and zoogeographical aspect)]. *Materialy*

- konferentsii "Mlekopitayuschie Rossii: faunistika i voprosy teriogeographii", Rostov-na-Donu, 17–19 aprelya 2019* [Proceedings of the conference «Mammals of Russia: faunistics and issues of theriogeography», Rostov-on-Don, 17–19 April 2019]. Moscow, 2019, pp. 93–95. (In Russian)
2. Ivanitskii A.N., Smirnov D.G. The species composition and distribution features of bat (Chiroptera) in Colchis. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of Samara Scientific Center of RAS]. 2016, vol. 18, no. 1, pp. 12–16. (In Russian)
 3. Benda P., Gazaryan S., Vallo P. On the distribution and taxonomy of bats of the *Myotis mystacinus* morphogroup from the Caucasus region (Chiroptera: Vespertilionidae). *Turkish Journal of Zoology*. 2016, vol. 40, pp. 1–22+8
 4. Dundarova H. *Molekulyarna filogeniya na morfo-grupata: Myotis mystacinus (Chiroptera: Vespertilionidae) na Balkanskiya poluostrov* [Molecular phylogeny of the *Myotis mystacinus* morphogroup (Chiroptera: Vespertilionidae) on the Balkan peninsula]. PhD thesis. Sofia, 2018, 81 p. (In Bulgarian)
 5. Ruedi M., Mayer F. Molecular systematics of bats of the genus *Myotis* (Vespertilionidae) suggest deterministic ecomorphological convergences. *Molecular Phylogenetic and Evolution*. 2001, vol. 21, pp. 436–448.
 6. Smirnov D.G., Vekhnik V.P., Dzhmirzoyev G.S., Titov S.V. On the taxonomic status of species from the group «*Myotis nattereri*» (Chiroptera, Vespertilionidae) in the eastern Caucasus. *Zapoved Nauka*. 2020, vol. 5, no. 4, pp. 1–13.
 7. Kruskop S.V., Solovyeva E.N. Validating the relationships: which species of *Myotis* «*nattereri*» group (Chiroptera: Vespertilionidae) actually inhabits the Caucasus. *Mammalia*. 2021, vol. 85, pp. 90–99.
 8. Uvizi M., Benda P. Diversity and distribution of the *Myotis nattereri* complex (Chiroptera: Vespertilionidae) in the Middle East: filling the gaps. *Mammalian Biology*, 2021, vol. 101. <https://doi.org/10.1007/s42991-021-00143-0>
 9. Häussler U., Nagel A., Braun M., Arnold A. External characters discriminating sibling species of European pipistrellus, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) and *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825). *Myotis*. 2000, vol. 37, pp. 27–40.
 10. Kruskop S.V. On distribution of pipistrellus from *Pipistrellus pipistrellus/pygmaeus* complex (Chiroptera, Vespertilionidae) in Russia. *Plecotus* [Plecotus]. 2007, no. 10, pp. 36–46. (In Russian)
 11. Spitsenberger F., Strelkov P.P., Winkler H., Haring E. A preliminary revision of the genus *Plecotus* (Chiroptera, Vespertilionidae) based on genetic and morphological results. *Zoologica Scripta*. 2006, vol. 35, pp. 187–230.
 12. Trewartha G.T. The earth's problem climates. London, Methuen & Co., 1966, 334 p.
 13. Troll C., Paffen K.H. Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. *Erdkunde*. 1964, vol. 18, pp. 5–28.
 14. Ivanitskii A.N. K istorii izucheniya fauny rukokrylykh subtropicheskikh rayonov Chernomorskogo poberezhya (konets XVIII – nachalo XX vv.) [On the history of studying the bat fauna in the subtropical regions of the Black Sea coast (late 18th – early 20th centuries)]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyaschennoi 150-letiyu Sevastopolskoi biologicheskoi stantsii – Instituta biologii yuzhnykh morei imeni A.O. Kovalevskogo i 45-letiyu NIS "Professor Vodyanitskii", Sevastopol*, 2021 [Study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modern times. Abstracts of reports of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station – A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas and the 45th anniversary of the Scientific Research Ship "Professor Vodyanitskii", Sevastopol, 2021]. Sevastopol, 2021, pp. 99–101. (In Russian)
 15. Ognev S.I. *Zveri Vostochnoi Evropy i Severnoi Azii: Nasekomoyadnye i letuchie myshy* [Beasts of Eastern Europe and Northern Asia: Insectivores and bats]. Moscow–Leningrad, Glavnauka Publ., 1928, vol. 1, 631 p. (In Russian)
 16. Bobrinskii N.A., Kuznetsov B.A. Kuzyakin A.P. Otryad Rukokrylye. Ordo Chiroptera [Order Bats. Ordo Chiroptera]. In: *Opredelitel mlekopitayushchikh SSSR* [Key to the mammals of USSR]. Moscow, Prosveschenie Publ., 1965, pp. 79–116. (In Russian)
 17. Gazaryan S.V. *Ekologo-faunisticheskiy analiz naseleniya rukokrylykh (Chiroptera) Zapadnogo Kavkaza* [Ecological and faunal analysis of the bat (Chiroptera) population of the Western Caucasus]. PhD thesis. Moscow, 2002, 225 p. (In Russian)
 18. Ilyin V.Yu., Smirnov D.G., Krasilnikov D.B., Yanyayeva N.M. *Materialy k kadastru rukokrylykh (Chiroptera) Evropeiskoi Rossii i smezhnykh regionov* [Materials to the cadastre of bats (Chiroptera) in European Russia and adjacent regions]. Penza, Penza State Pedagogical University Publ., 2002, 64 p. (In Russian)
 19. Ivanitskii A.N. *Rukokrylye (Chiroptera) Abkhazii i sopredelnykh territorii (fauna, zoogeografiya, okhrana)* [Bats (Chiroptera) of Abkhazia and adjacent territories (fauna, zoogeography, protection)]. Simferopol, Ariel Publ., 2018, 156 p. (In Russian)
 20. Bukhnikashvili A.K., Kandaurov A.S., Natradze I.M. Records of bats in Georgia over the last 140 years. *Plecotus*. 2004, no. 7, pp. 41–57. (In Russian)
 21. Benda P., Horaček I. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 1. Review of distribution and taxonomy of bats in Turkey. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 1998, vol. 62, pp. 255–313.
 22. Benda P., Ivanova T., Horaček I., Hanák V., Červený J., Gaisler J., Gueorguieva A., Petrov B., Vohralík V. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the eastern Mediterranean. Part 3. Review of bat distribution in Bulgaria. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2003, vol. 67, no. 4, pp. 245–357.
 23. Dulitskii A.I. Bioraznoolozhiye Kryma. *Mlekopitayuschie: istoriya, sostoyanie, okhrana, perspektivy* [Biodiversity of Crimea. Mammals: history, status, protection, prospects]. Simferopol, SONAT Publ., 2001, 208 p. (In Russian)
 24. *Portal «Mlekopitayushchikh Rossii», 2017–2023* [Portal «Mammals of Russia», 2017–2023]. Available at: <https://rusmam.ru> (accessed 01.10.2023)
 25. Rakhmatulina I.K. *Rukokrylye Azerbaidzhana (fauna, ekologiya, zoogeografiya)* [Bats of Azerbaijan (fauna, ecology, zoogeography)]. Baku, 2005, 480 p. (In Russian)
 26. Nordmann A. Observations sur la faune pontique. Voyage dans la Russie meridionale et la Crimée, execute en 1837 par A. de Demidoff. Paris, 1840, vol. 3, 756 p.
 27. Gazaryan S.V. Current faunal status of the Daubenton's bat *Myotis daubentonii* (Chiroptera, Vespertilionidae) in the Caucasus. *Plecotus* [Plecotus]. 2003, no. 6, pp. 37–48. (In Russian)
 28. Akimov I.A., ed. *Chervona knyga Ukrainy. Tvarynnyy svit*. [Red data book of Ukraine. Animal world]. Kiev, Globalconsulting Publ., 2009, 600 p. (In Ukrainian)
 29. Kormos T. Középkori bölény és medvevadászok nyomai a krassószerényi hegységben. *Természettudományi Közlemények*. Budapest, 1912, no. 44, pp. 267–271.
 30. Gazaryan S.V. The pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) is a new species of the bat fauna of the Caucasus. *Plecotus* [Plecotus]. 2004, no. 7, pp. 102–103. (In Russian)
 31. Popov V., Lakovski K.T. Southernmost postglacial record of Pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) (Mammalia: Chiroptera) – Varteshka Cave, NW Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2019, vol. 71, no. 1, pp. 57–62.
 32. Kessler K.F. A note about bats in Russia. In: *Trudy S.-Peterburskogo Obschestva Estestvoispytatelei* [Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists]. 1872, vol. 3, pp. II–IV. (In Russian)

33. Jentink F.A. Muséum d'Histoire Naturelle de Pays-Bas. Tome XII. Catalogue Systématique des Mammifères (Rongeurs, Insectivores, Cheiroptères, Édentés et Marsupiaux). 1888, 280 p.
34. Karataş A., Benda P., Toprak F., Karakaya H. New and significant records of *Myotis capaccinii* (Chiroptera: Vespertilionidae) from Turkey, with some data on its biology. *Lynx* (Praha). 2003, vol. 34, pp. 39–46.
35. Benda P., Faizolâhi K., Andreas M., Obuch J., Reiter A., Ševčík M., Uhrin M., Vallo P., Ashrafi S. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 10. Bat fauna of Iran. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2012, vol. 76, pp. 163–582.
36. Bogdarina S.V., Strelkov P.P. Distribution of bats (Chiroptera) in the north of European Russia. *Plecotus* [Plecotus]. 2003, no. 6, pp. 7–28. (In Russian)
37. Mendelssohn H., Yom-Tov Y. *Mammalia of Israel*. Israel, Israel Academy of Sciences and Humanities Publ., 1999, 439 p.
38. von Helversen O., Heller K.G., Mayer F., Nemeth A., Volleth M., Gombkötő P. Cryptic mammalian species: a new species of whiskered bat (*Myotis alcathoe* n. sp.) in Europe. *Naturwissenschaften*. 2001, vol. 88, pp. 217–223.
39. Miller G.S. Catalogue of the mammals of Western Europe (Europe exclusive of Russia) in the collection of the British museum. London, BMNH, 1912, 1019 p.
40. Satunin K.A. *Opredelitel mlekoopitayuschikh Rossiiskoi Imperii (rukokrylye, nasekomoyadnye i khishchnye)* [Key to the mammals of Russian Empire (bats, insectivores and carnivores)]. Tiflis, Vicar of HIM Office in Caucasus Publ., 1914, vol. 1, 184 p. (In Russian)
41. Benda P., Hanák V., Horáček I., Hulva P., Lučan R., Ruedi M. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 5. Bat fauna of Cyprus: review of records with confirmation of six species new for the island and description of a new subspecies. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2007, vol. 71, pp. 71–130.
42. Benda P., Spitzenberger F., Hanák V., Andreas M., Reiter A., Ševčík M., Šmid J., Uhrin M. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 11. On the bat fauna of Libya II. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2014, vol. 78, pp. 1–162.
43. Uhrin M., Hüttmeir U., Kipson M., Estók P., Sachanowicz K., Bücs Sz., Karapandža B., Paunović M., Presetnik P., Bashta A.-T., Maxinová E., Lehotská B., Lehotský P., Barti L., Csösz I., Szodoray-Paradi F., Dombi I., Görföl T., Boldogh S.A., Jére Cs., Pocora I., Benda P. Status of Savi's pipistrelle *Hypsugo savii* (Chiroptera) and range expansion in Central and south-eastern Europe: a review. *Mammal Review*. 2016, vol. 46, pp. 1–16.
44. Zazanashvili N., Mallon D., eds. Status and protection of globally threatened species in the Caucasus. Tbilisi, CEPF, WWF, 2009, 232 p.
45. Pavlinić I., Tvrković N. The presence of *Eptesicus nilssonii* and *Vespertilio murinus* in the Croatian bat fauna confirmed. *Natura Croatica*. 2003, vol. 12, no. 2, pp. 55–62.
46. Cel'uch M. Return of *Miniopterus schreibersii* to the northern edge of its historical distribution in Slovakia. *Vespertilio*. 2014, vol. 17, pp. 59–63.
47. Piksa K., Gubała W.J. First record of *Miniopterus schreibersii* (Chiroptera: Miniopteridae) in Poland – a possible range expansion? *Mammal Research*. 2021, vol. 66, pp. 211–215.
48. Smirnov D.G., Kurmaeva N.M., Ivanitskii A.N. To the study of bats (Chiroptera) of the Eastern Crimea. *Plecotus*. 2017, no. 20, pp. 17–29. (In Russian)
49. Benda P., Mashkour M. A finding of *Eptesicus gobiensis* in an ancient salt mine in Iran and notes on the status of this bat in the Middle East (Mammalia: Chiroptera). *Journal of the National Museum (Prague), Natural History Series*. 2021, vol. 190, pp. 61–72.
50. Bouillard N. *Eptesicus anatolicus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T85198368A85199537. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T85198368A85199537.en>
51. Benda P., Abi-Said M., Bartonička T., Bilgin R., Faizolâhi K., Lučan R.K., Nicolaou H., Reiter A., Shohdi W.M., Uhrin M., Horáček I. *Rousettus aegyptiacus* (Pteropodidae) in the Palaearctic: list of records and revision of the distribution range. *Vespertilio*. 2011, vol. 15, pp. 3–36.
52. Ivanitskii A.N. Horseshoe bat Mezhehi *Rhinolophus menelaë* Machi, 1901 [Podkovonos Megeli *Rhinolophus meheli* Matschie, 1901]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 942–943. (In Russian)
53. Ivanitskii A.N. Southern horseshoe bat *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853 [Yuzhnyi podkovonos *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 943–944. (In Russian)
54. Ivanitskii A.N. Lesser horseshoe bat *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797) [Malyi podkovonos *Rhinolophus hipposideros* (Borkhausen, 1797)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 945–946. (In Russian)
55. Ivanitskii A.N. Great horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) [Bol'shoi podkovonos *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 946–947. (In Russian)
56. Ivanitskii A.N. Common longwing *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) [Obyknovennyi dlinnokryl *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 948–949. (In Russian)
57. Vasen'kov D.A., Ivanitskii A.N. Pointed-eared bat *Myotis blythii* (Tomes, 1857) [Ostroukhaya nochnitsa *Myotis blythii* (Tomes, 1857)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 951–953. (In Russian)
58. Ivanitskii A.N. Tricolor night bat *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806) [Tryokhtsvetnaya nochnitsa *Myotis emarginatus* (Geoffroy St.-Hilaire, 1806)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 954–955. (In Russian)
59. Ivanitskii A.N., Kruskop S.V. European shirokoushka *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) [Western barbastelle bat *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774)]. In: *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii* [Red data book of Russian Federation]. Moscow, FSBI Research Institute of Ecology Publ., 2021, vol. Animals, 2nd ed., pp. 955–957. (In Russian)
60. Ivanitskii A.N. To biology and phenology of troglomorphic bat of Abkhazia. *Plecotus* [Plecotus]. 2015, no. 18, pp. 26–33. (In Russian)
61. Ivanitskii A.N. Rol' OOPT subtropicheskikh rayonov Chernomorya v okhrane rukokrylykh [The role of protected areas of the subtropical regions of the Russian Black Sea region in the protection of bats]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyaschennoi 40-letiyu Sochinskogo natsionalnogo parka, Ser. «Trudy Sochinskogo natsionalnogo parka» «Nauchnye osnovy sokhraneniya polnoty bioraznoobraziya v zapovednikakh i natsionalnykh parkakh. Perspektivy dlya sozdaniya OOPT*

territotiy», Rostov-na-Donu, 2023 [J. Materials of a scientific and practical conference with international participation dedicated to the 40th anniversary of the Sochi National Park. Series "Proceedings of the Sochi National Park" "Scientific

basis for preserving the completeness of biodiversity in nature reserves and national parks. Territories that are promising for the creation of protected areas", Rostov-on-Don, 2023]. Rostov-on-Don, 2023, pp. 154–157. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Иваницкий собрал материал и проанализировал. Александр Ю. Алексеев провел обработку и описание результатов. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander N. Ivanitzky collected and analysed the material. Alexander Yu. Alekseev carried out the processing and description of the results. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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

Александр Ю. Алексеев / Alexander Yu. Alekseev <https://orcid.org/0000-0003-0015-9305>

Оригинальная статья / Original article

УДК 632.937

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-31-41

Ключевые факторы успешной адаптации вредителя *Corythucha ciliata* Say в условиях северных субтропиков Черноморского побережья

Евгения В. Кашутина, Людмила Н. Бугаева, Екатерина В. Хетагурова, Татьяна Н. Игнатьева

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., Хетагурова Е.В., Игнатьева Т.Н. Ключевые факторы успешной адаптации вредителя *Corythucha ciliata* Say в условиях северных субтропиков Черноморского побережья // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 31-41. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-31-41

Получена 7 апреля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 августа 2023 г.

Принята 25 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Выявить комплекс факторов успешной адаптации *Corythucha ciliata* для разработки методов регулирования численности платановой кружевницы и эффективных мер биологической борьбы с этим опасным вредителем.

Материалы и методы. Исследования проводились путем изучения научных публикаций; анализа динамики изменения климата на территории Лазаревского района г. Сочи за 15 лет; изучения отчетных данных Лазаревской ОСЗР – филиала ФГБНУ ФНЦБЗР за период с 2008 по 2022 годы.

Результаты. Выявлены 5 ключевых факторов успешной приспособляемости *Corythucha ciliata* к новым регионам инвазии. Факторы пищевой и климатической адаптации, фактор взаимодействия с природными врагами, фактор сопротивляемости энтомопатогенным организмам, фактор адаптации к антропогенной нагрузке. Определены основные условия и возможные векторы дальнейшей инвазии платановой кружевницы в новые регионы.

Заключение. Разработка эффективных методов биологической борьбы с инвазивным вредителем *Corythucha ciliata* Say должна строиться на базе учета совокупности качественных характеристик условий жизнедеятельности вредителя. Платановая кружевница *Corythucha ciliata* Say эффективно выстраивает новые трофические связи, без ущерба для своей популяции, адаптируется не только к новым климатическим условиям, но и к их изменениям. На развитие популяции платановой кружевницы не оказывают значительного влияния природные энтомофаги и энтомопатогены. Вредитель приспособился к выживанию в условиях высокой антропогенной нагрузки и успешно использует ее для инвазии в новые регионы.

Ключевые слова

Инвазия, платановая кружевница, *Corythucha ciliata* Say, адаптация, приспособляемость, изменчивость, вредитель, вектор инвазии, экологический фактор, устойчивость.

Key factors in the successful adaptation of the pest *Corythucha ciliata* Say in the northern subtropics of the Black Sea coast

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

Lazarevskaya Experimental Plant Protection Station – Branch of the Federal Research Center of Biological Plant Protection, Sochi, Russia

Principal contact

Evgeniya V. Kashutina, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Lazarevskaya Experimental Plant Protection Station, Branch of the Federal Research Center 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., 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) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-31-41

Received 7 April 2023

Revised 14 August 2023

Accepted 25 August 2023

Abstract

Aim. To identify a complex of factors in the successful adaptation of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* Say for the development of methods for regulating its numbers and effective biological control measures against this dangerous pest.

Material and Methods. The research was carried out by studying scientific publications, analysing the dynamics of climate change in the Lazarevsky district of Sochi for 15 years and studying the reporting data of the Lazarevskaya Experimental Plant Protection Station, Branch of the Federal Research Center of Biological Plant Protection for the period 2008 to 2022.

Results. 5 key factors of successful adaptation of *Corythucha ciliata* to new invasion regions have been identified: the factors of food and climatic adaptation, the factor of interaction with natural enemies, the factor of resistance to entomopathogenic organisms and the factor of adaptation to anthropogenic load. The main conditions and possible vectors of further invasion of sycamore lace in new regions have been determined.

Conclusion. The development of effective methods of biological control of the invasive pest *Corythucha ciliata* Say should be based taking into account the totality of qualitative characteristics of the pest's living conditions. The sycamore lace bug *Corythucha ciliata* Say effectively builds new trophic connections, without prejudice to its population, adapts not only to new climatic conditions, but also to their changes. Natural entomophages and entomopathogens do not significantly affect the development of the *Corythucha ciliata* population. The pest has adapted to survival in conditions of high anthropogenic load and successfully uses it to invade new regions.

Key Words

Invasion, sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* Say, adaptation, adaptability, variability, pest, vector of invasion, environmental factor, sustainability.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем борьбы со многими инвазивными вредителями является недостаточно полное представление о комплексе факторов, позволяющих адвентивным видам быстро адаптироваться, увеличивать численность популяции и степень вредоносности на новых для себя территориях. Проблема поиска эффективных методов борьбы с инвазивными вредителями растет пропорционально увеличению видового разнообразия и росту численности адвентивных видов. Остроту вопросу придает высокая степень приспособляемости некоторых вредителей к новым условиям обитания. Одним из таких быстро адаптирующихся адвентивных насекомых является платановая кружевница *Corythucha ciliata* Say.

Впервые попав на Евразийский континент в 1964 году, клоп платановая кружевница к настоящему времени захватил огромные территории по всему миру. В Европе – от Parque ecologico do Funchal, о. Мадейра, Португалия (32,7N, 16,9W) на юге до о. Pagensand, р. Рейн, Германия (53,7N, 9,5E) на севере; от муниципалитета Понтеведра, Испания (38.8N, 9.4W) на западе до г. Пятигорск, Россия (44,0N, 43,0E) на востоке. В Азии *Corythucha ciliata* встречается в большинстве районов Восточного Китая, почти на всей территории Корейского полуострова, а также в центральной части Японии. Вредитель был обнаружен также на островах Новой Зеландии, в Юго-Восточной части Австралии, на юге Африки и юго-западе Южной Америки. Скорость распространения клопа достигает 100 км в год.

На территории России платановая кружевница впервые была обнаружена в 1996 году, в г. Краснодар. За прошедшие 26 лет вредитель распространился на большей части Краснодарского края, на юго-востоке Ставропольского края. Распространение платановой кружевницы отмечено в южных районах Крыма [1], в Адыгее, а также на западе Абхазии.

Северная граница ареала распространения коритухи в России [2] уже в 2009 году пересекла 45 параллель Северной широты, что говорит об активном продвижении вредителя в более северные районы страны. Кроме того, по некоторым данным [3], в природе платановая кружевница встречается на таких растениях, как ясень *Fraxinus* sp., дуб лавролистый *Quercus laurifolia*, каштан *Castanea* sp., произрастающих, в том числе и на более северных территориях России. А следовательно, более широкая экспансия вредителя по территории нашей страны становится гипотетически возможной даже в отсутствие посадок платанов.

Платановая кружевница *Corythucha ciliata* относится к насекомым с очень высокой репродуктивной способностью. Одна самка в состоянии отложить, по разным источникам, до 350–500 яиц за вегетационный период. В разных климатических условиях за один сезон развивается 1 (в естественном ареале), 2 (в умеренном климатическом поясе) и 3 (в субтропическом климатическом поясе) поколения *Corythucha ciliata*. В своем развитии платановая кружевница демонстрирует перекрытие поколений после второго поколения [4]. Таким образом, мы можем говорить о высоком потенциале приспособленческих реакций клопа, поскольку в одно время присутствуют все стадии развития вредителя и в случае гибели одной из стадий, процесс размножения не будет прерван.

За пределами естественного ареала платановая кружевница использует в качестве источника питания все

виды рода *Platanus*, в том числе Платан Западный (*Platanus occidentalis*), Платан Восточный (*Platanus orientalis*), Платан Гибридный (*Platanus xhispanica*, также *Platanus xacerifolia*, *Platanus xhybrida*). *Corythucha ciliata* питается, высасывая из листьев платана цитоплазму, в основном хлоропласты [5]. Питание клопа соками растения приводит к хлорозу, дефолиации, ухудшению процесса фотосинтеза, что в свою очередь приводит к преждевременному листопаду. Нами отмечено, что до настоящего времени недооценена степень опасности платановой кружевницы для своего основного хозяина – растений рода *Platanus*. Характеристика вреда, который способен нанести платанам этот вредитель, часто ограничивается описанием потери эстетического вида деревьев. Мы считаем важным обратить внимание на следующие факты. Платан – это ценный ландшафтообразующий вид растений. Платан является одним из наиболее декоративно ценных растений. Благодаря своей высокой экологической пластичности и устойчивости к значительной антропогенной нагрузке, платан уверенно заменяет в городах менее устойчивые породы. В условиях глобального повышения температуры воздуха густая раскидистая крона платана становится особо ценной в деле защиты людей от губительного воздействия солнечных лучей. Кроме того, не следует забывать о том, что в местах произрастания платана почва становится стабильнее, замедляется засоление грунта. Вред, наносимый популяцией вредителя с высокой численностью на протяжении ряда лет подряд вкупе с другими факторами стресса способен привести к гибели деревьев. Отмечено, что наиболее сильным заселением платановой кружевницей подвержены, как правило, декоративные посадки платанов, произрастающих в парковых зонах и зонах городских насаждений [4].

Исследователями отмечено связанное с деятельностью платановой кружевницы распространение некоторых фитопатогенных грибов [6]. На севере Италии вредитель переносит споры *Ceratocystis fimbriata*, forma *platani* и *Apiognomia veneta* [5]. Заражение платанов *Valsaceae*, *Ceratocystis fimbriata* f. *platani* зарубежные авторы также связывают с присутствием этого клопа. [4; 7] Опасность этих фитопатогенов заключается в том, что они широко распространены по всему миру и наносят значительный вред широкому кругу растений, в том числе сельскохозяйственным.

Результаты других исследований [8; 9] показывают, что платановая кружевница *Corythucha ciliata* обладает способностью быстро эволюционировать с целью ускорения адаптации к новым условиям обитания; насекомому для выживания не требуется высокий уровень межпопуляционного разнообразия; эффект бутылочного горлышка не оказывает губительного воздействия на инвазивную популяцию платановой кружевницы.

Помимо опосредованного вреда, по данным зарубежных исследователей, коритуха наносит и непосредственный вред человеку. Так, исследователями из Италии были зафиксированы случаи дерматозов, [10] вызываемых укусами *Corythucha ciliata*. И хотя в описываемых случаях не наблюдалось бактериальных или грибковых инфекций, специалисты не исключают возможности их появления.

Результаты наших многолетних наблюдений за платановой кружевницей и опыт отечественных [11] и зарубежных исследователей позволяют сделать выводы о

повышении плотности популяции клопа и его вредоносности в последние годы.

Уже в 2009 и 2012 годах проведенный отечественными специалистами АФР (анализ фитосанитарного риска) подтвердил наличие реального карантинного статуса *Corythucha ciliata* (показатель – 2,45) [12].

Стремительное расширение ареала платановой кружевницы в РФ и увеличение ее вредоносности подтверждают данные Национального Доклада о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации. Так, если в 2019 году площадь установленных карантинных фитосанитарных зон по объекту Платановая кружевница (*Corythucha ciliata* Say) составляла лишь 150,78 га, то в 2020 году она составила 10 752,782 га, а в 2021 году – 10 889,963 га.

Разработку эффективных методов борьбы с платановой кружевницей осложняет два блока факторов. Экологический фактор: платаны, являющие преимущественными источниками питания коритухи, в массе своей произрастают в плотно заселенных районах, что делает полномасштабную обработку столь крупных деревьев опасной для здоровья людей. Также обработки инсектицидами губительны для полезной фауны. Экономический фактор: платаны – высокие (до 50 м) деревья с густой широкой кроной и мощным (до 18 м в окружности) стволом, высаживаемые в длинные, до нескольких километров, аллеи. При таких условиях даже однократная обработка одного массива платанов является очень дорогостоящим мероприятием, к тому же не дающим существенных гарантий избавления от вредителей.

По нашему мнению, единственно приемлемым решением вопроса борьбы с этим опасным инвазивным вредителем является поиск и разработка методов биологического контроля численности платановой кружевницы. Для решения этой задачи необходимо выявить и тщательно изучить весь комплекс факторов высокой приспособляемости *Corythucha ciliata* к новым условиям обитания. Нами был собран и проанализирован широкий спектр данных, касающихся процессов развития и адаптации платановой кружевницы за последние 15 лет. По итогам этой работы мы выявили 5 модифицирующих и регулирующих ключевых факторов высокой адаптивности *Corythucha ciliata* Say.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование опубликованных данных производилось путем анализа отечественных и зарубежных научных публикаций за весь период изучения платановой кружевницы с момента ее первичной интродукции на Европейский континент.

Метеоданные (ежедневные показатели температуры воздуха, количества осадков, относительной влажности) на территории поселка Лазаревское г. Сочи за период с мая 2008 года по январь 2023 года получены из архивов погоды порталов Gismeteo и Pogoda.mail.ru.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программы Numbers 12.2 (iOS).

Сумму эффективных температур для откладки яиц определяли по формуле [8].

$$C = (t - t^{\circ}) * n$$

где C – сумма эффективных температур (SET), гр.-дн. [Sum of the effective temperatures (SET), degree-days]; t – температура окружающей среды [Ambient temperature], °C; t° – температура порога развития

[Developmental threshold temperature], °C; n – число дней с температурой, превышающей порог развития [The number of days of with a temperature exceeding the threshold of development, days].

В качестве нижнего порога развития взято значение T°=+15,1°C – минимальная температура для откладки яиц.

Исследования популяции платановой кружевницы проводились на территории Лазаревского района г. Сочи с 2000 года по январь 2023 года посредством фитомониторинга и лабораторных исследований.

Обследование платанов проводили на территории Лазаревского района г. Сочи Краснодарского края, вдоль федеральной трассы А-147 Джубга–Сочи на участке Лазаревское – Детляжка, 35 км, в 2000–2022 гг.; а также на территории поселка Лазаревское г. Сочи. В 2022 году для проведения детального фитомониторинга были выбраны 5 участков посадок платана в поселке Лазаревское в районах с различной степенью антропогенной нагрузки. Участок №1 – ул. Лазарева, платановые посадки общей протяженностью 2,4 км, наибольшая антропогенная нагрузка (вдоль участка пролегают участок Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги и федеральная автотрасса А-147 Джубга-Сочи). На данном участке модельные растения выбирались в промежутках через каждые 35–40 м, всего – 21 растение. Участок №2 – ул. Победы, платановые посадки общей протяженностью 1,1 км, высокая антропогенная нагрузка (участок расположен вдоль центральной улицы поселка, высокая плотность застройки). На данном участке модельные растения выбирались через каждые 25 м, всего – 12 растений. Участок №3 – ул. Калараш, 123, средняя антропогенная нагрузка, расстояние от федеральной автотрассы А-147 Джубга-Сочи – 605 м, улица со средней автомобильной загрузкой, участок с низкой плотностью застройки, выбрана группа из 6 платанов на площади 562 м². Участок №4 – пер. Павлова, низкая антропогенная нагрузка («спальный район», средняя плотность застройки), 0,9 км от федеральной автотрассы А-147 Джубга-Сочи, общая площадь – 7 316 м², выбраны отдельно растущие деревья в количестве 6 штук. Участок №5, контрольный – р-н пансионатов «Гренада» и «Тихий Дон», антропогенная нагрузка минимальная (минимальная плотность застройки, отсутствие крупных и средних дорог, непосредственная граница с лесным массивом), расстояние от федеральной автотрассы А-147 Джубга-Сочи – 659 м, выбраны отдельно растущие растения в количестве 3 штук. К выбору модельных растений применяли обязательное правило: в каждой обследуемой группе должны присутствовать в равных количествах деревья разного возраста – старые, среднего возраста и молодые.

Предварительное обследование проводили визуально рекогносцировочным способом. Визуально оценивали возраст и общее фитосанитарное состояние растений, степень и характер повреждений, наличие платановой кружевницы разных стадий развития. Подсчет яиц, имаго производили из расчета на площадь в 1 кв. дм. Обследование зимующей популяции платановой кружевницы проводили путем отделения от ствола участков коры с северной, южной, западной и восточной сторон на высоту от 0 до 1,8 м. Сбор и обработка материала проводилась по общепринятым методикам фаунистических исследований. Собранный материал исследовали в лабораториях Лазаревской ОСЗР – филиала ФГБНУ ФНЦБЗР. Во время исследований собранного

материала отмечали: количество и плотность вредителя, общее состояние особей и яйцекладки, подвижность, размеры. Идентификация проводилась с использованием научных публикаций со специализированных ресурсов. Фотосъемка проводилась при помощи фотокамер смартфонов iPhone SE и Infinix smart 6plus.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Совокупность качественных характеристик условий жизнедеятельности. Как показывают наши исследования научных публикаций, *Corythucha ciliata* является олигофагом, отдающим явное предпочтение растениям рода *Platanus*. В этой связи можно предположить, что вектор инвазии этого вредителя связан непосредственно с вектором интродукции растения-хозяина. Данное предположение, как показывают наши исследования, не совсем верно. Действительно, часть инвазивных популяций платановой кружевницы, как, например, британская и китайская, попала в новые места обитания с ввозом в регионы инвазии саженцев платана [13]. В процессе изучения фактов обнаружения *Corythucha ciliata* нами было отмечено, что большая часть клопа мигрировала независимо, пробираясь в салоны самолетов и автомобилей, на борты морских судов, забираясь в сумки, чемоданы и складки одежды [14]. В естественных условиях обитания платановая кружевница питается на *Platanus occidentalis*, *Platanus racemosa*, *Platanus wrightii*. Данные виды платанов не произрастают вне североамериканского континента, однако это не является

фактором, ограничивающим инвазию вредителя. Как показывает время, *Corythucha ciliata* способна питаться любыми видами платанов не только без ущерба популяции, но и многократно увеличивая свою численность. В регионах инвазии коритухи повсеместно произрастает большое количество *Platanus orientalis*, *Platanus acerifolia*, которые стали основным источником питания клопа [15]. Кроме того, зарубежные источники отмечают *Broussonetia papyrifera*, *Carya ovata*, *Chamaedaphne* sp., *Fraxinus* sp., *Quercus laurifolia* и *Liquidambar styraciflua*, как растения, используемые кружевницей для питания и развития. Таким образом, мы можем утверждать, что платановая кружевница, не являясь полифагом, явно не испытывает пищевой стресс в процессе приспособления к новым территориям обитания. Фактор успешной пищевой адаптации *Corythucha ciliata* подтверждает высокую степень вероятности дальнейшей инвазии платановой кружевницы в еще не заселенные вредителем регионы мира.

Изучение географии распространения *Corythucha ciliata* в мире привело нас к выводу, что платановая кружевница распространяется по регионам со схожими климатическими условиями. *Corythucha ciliata* родом с восточного побережья Северной Америки, из региона с континентальным и муссонным умеренным климатом. 90 % популяции платановой кружевницы расселяется в прибрежных районах мира, а также на материковой части, но в регионах с достаточно высокой или умеренной влажностью (рис. 1).

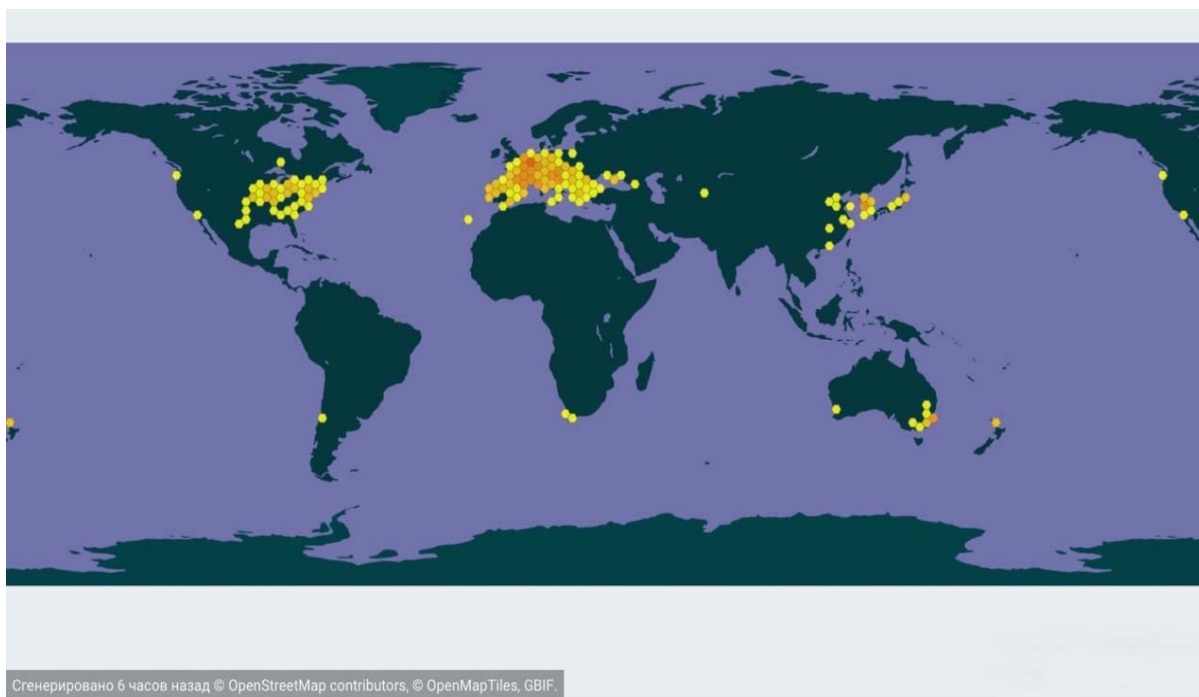


Рисунок 1. Карта расселения *Corythucha ciliata* по миру

Figure 1. Map of distribution of *Corythucha ciliata* around the world

Европа – умеренно континентальный, морской умеренный, средиземноморский климат; Восточный Китай, Корейский полуостров – муссонный умеренный климат; Южные районы Японии – муссонный субтропический климат, Юго-Восточное побережье Австралии, Новая Зеландия – субтропический климат с равномерным увлажнением, прибрежные районы Южной Африки и юго-западное побережье Южной Америки – субтропический средиземноморский климат. Средняя

Азия – Узбекистан – единичные находки (апрель 2017 г., г. Ташкент, октябрь 2022 г., г. Ташкент). Присутствие коритухи в данном нехарактерном для вредителя регионе связано с особенностями микроклимата: город находится в зоне субтропического континентального климата, и благодаря окружающим его горам, влажность в Ташкенте выше, чем в прилегающих районах.

Сочи находится на самой северной границе субтропической климатической зоны со средиземно-

морским субтропическим климатом, Лазаревский район – самый северный район города. Таким образом, наш регион оказался на границе субтропического и умеренного климатов, что делает исследование климатической адаптации вредителя особенно интересным [16–17].

Наблюдения за платановой кружевницей мы начали в 2000 году, в момент ее первого обнаружения в

Лазаревском районе. За прошедшие годы нами зафиксированы 3 вспышки численности вредителя: в 2008, 2016 и 2022 гг. Исследовав архивные метеоданные за период с мая 2008 года по январь 2023 года, мы вычислили суммы среднесуточных температур за каждый месяц и сравнили кривые температур за годы, прошедшие между вспышками численности кружевницы (рис. 2, 3).

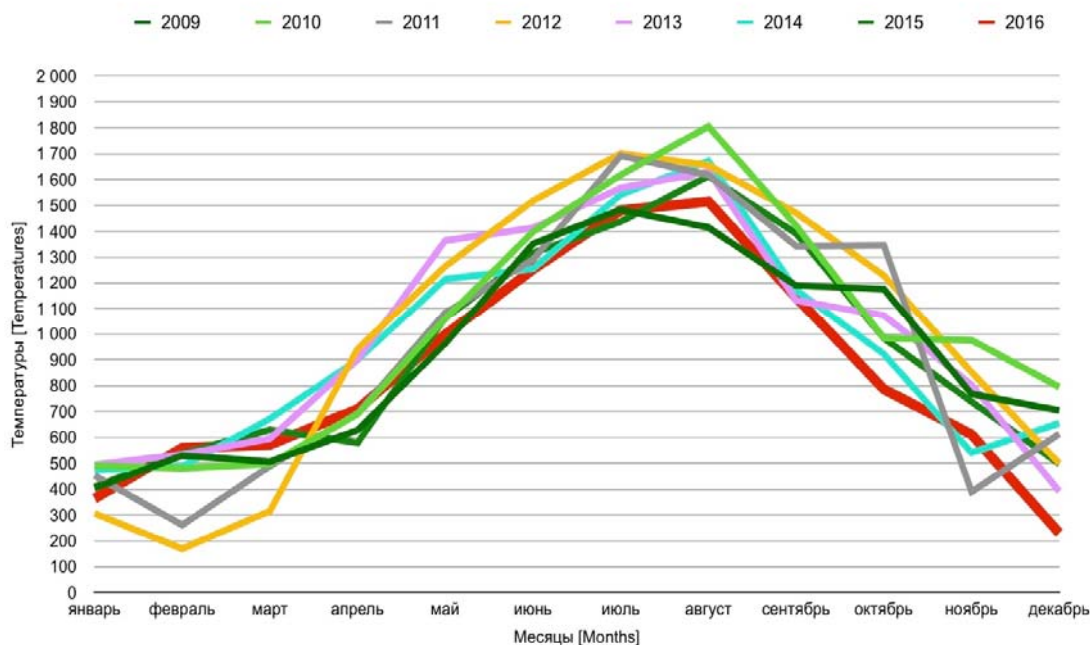


Рисунок 2. Динамика сумм среднемесячных температур по годам. Лазаревское, г. Сочи, 2009–2016

Figure 2. Dynamics of sums of average monthly temperatures by years. Lazarevskoye, Sochi, 2009–2016

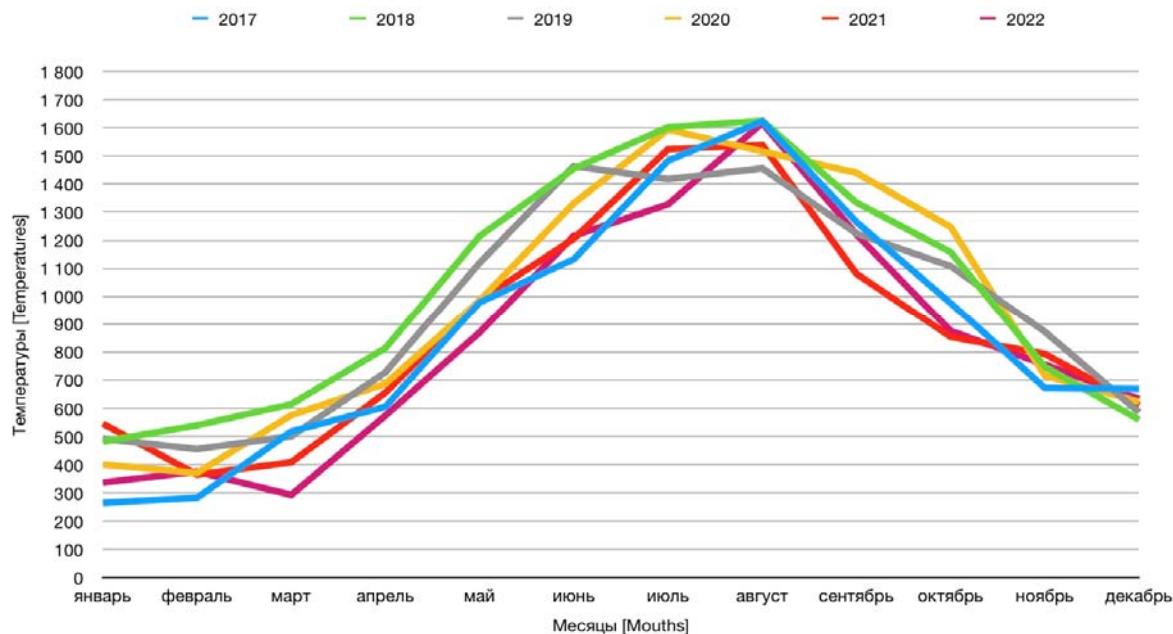


Рисунок 3. Динамика сумм среднемесячных температур по годам. Лазаревское, г. Сочи, 2017–2022

Figure 3. Dynamics of sums of average monthly temperatures by years. Lazarevskoye, Sochi, 2017–2022

Как видно на рисунке 2 в первую популяционную волну 2009–2016 гг. вспышка численности *Corythucha ciliata* (2016 г.) в Лазаревском районе г. Сочи произошла в период с более низкой суммой среднегодовых температур (851, 833), минимальным колебанием температур в течение года и в течение вегетационного периода. Это особенно важно на фоне того факта, что в 2012 году, в период с максимальными колебаниями среднемесячных

температур, нами была зафиксирована гибель 70 % зимующего запаса вредителя.

В свете вышесказанного, наиболее интересная ситуация сложилась во вторую популяционную волну 2017–2022 гг. Как мы видим на рисунке 3, колебания температур с января по август схожи по своей динамике с колебаниями температур в первую популяционную волну. Кривая август–декабрь стала более плавной,

приблизившись в конечных значениях к показателям января. При этом мощная вспышка численности клопа произошла в 2022 году, то есть в период со схожей с 2016 годом суммой среднегодовых температур (841,333), но с максимальными колебаниями температур в течение года и максимальной разницей температур в течение вегетационного периода.

Если в 2016 году оптимальный для откладывания яиц период со среднесуточной температурой выше 15,1°C длился с мая по сентябрь, то в 2022 году этот период сократился на месяц – с июня по сентябрь. При этом суммы эффективных температур для откладки яиц (СЭТ) в указанные периоды были схожими – 896,58 и 863,46 градусо-дней.

Вспышка численности платановой кружевницы в 2022 году произошла на фоне еще одного факта. Как следует из источников [12] и из результатов наших

многолетних наблюдений, питание и развитие клопа начинается при среднесуточной температуре 11,1°C. В 2022 году среднесуточные температуры на территории п. Лазаревское г. Сочи в апреле–мае были на уровне 9,58 и 10,03°C соответственно. В мае 2022 г. среднесуточная температура резко выросла до 20,26°C, сократив таким образом до минимума период между выходом из зимовки и откладкой яиц. Кроме того, в процессе анализа метеоданных за последние 15 лет, нами был отмечен сдвиг начала сезонов на 13–15 дней вперед.

Можно было бы предположить, что столь сложные погодные условия должны негативно сказаться на численности популяции *Corythucha ciliata*. Но в описываемый год нами была зафиксирована максимально высокая за все время наблюдений динамика роста численности клопа (табл. 1).

Таблица 1. Динамика численности *Corythucha ciliata* Say
Table 1. Population dynamics of *Corythucha ciliata* Say

Год / Year	Июнь-личинки / June larvae	Август-личинки / August larvae
2008	129,5±2,1	65,3±3,4
2015	8±0,3	11,2±2,0
2016	22,2±1,4	16,2±1,0
2019	12,7±1,2	28,1±3,1
2022	106,2±2,3	282±4,3
	Июнь-имаго / June imago	Август-имаго / August imago
2008	65,7±0,7	80±0,7
2015	3,5±0,4	22,6±0,0
2016	2,4±0,3	35,9±0,2
2019	1,6±0,1	9,5±0,1
2022	9,2±0,2	124,8±3,1

Как видно из таблицы, количество имаго кружевницы на территории п. Лазаревское к середине августа 2022 г. выросло на 265,53 %, а количество личинок – на 1356,52 %. Не удивительно, что в такой ситуации начало преждевременного опадания листьев платана было нами зафиксировано уже к началу третьей декады августа.

Проследив хронологию вспышек численности платановой кружевницы *Corythucha ciliata* на территории Лазаревского района, мы отметили сокращение длительности популяционной волны. Вредитель был обнаружен на территории Лазаревского района г. Сочи в 2000 году. В 2003 году нами было отмечено значительное распространение и усиление вредоносности клопа. В 2008 году был зафиксирован резкий подъем численности кружевницы, за которым последовал период депрессии. Таким образом, с момента инвазии до вспышки численности платановой кружевнице потребовалось 9 лет адаптации. Следующая популяционная волна длилась 8 лет, с 2009 по 2016 гг. При этом длительность последней на данный момент популяционной волны составила уже 6 лет. Мы наблюдаем сокращение периода депрессии. Это может свидетельствовать о высокой скорости приспособляемости вредителя к новым для него условиям.

Таким образом, мы можем заключить, что:

- развитие платановой кружевницы напрямую связано со стабильно невысокой для данного климатического пояса среднегодовой температурой воздуха и стабильной суммой эффективных температур для откладки яиц;
- за последние 10 лет коритуха адаптировалась к резким колебаниям среднемесячных температур, как в течение года, так и в течение периода развития, которые перестали оказывать влияние на численность популяции;

- платановая кружевница отлично приспособилась к сокращению периода своего развития, продемонстрировав резко возросшую плодовитость самок.

В некоторых источниках [9] утверждается, что большое количество осадков, в особенности в период зимовки, и повышенная влажность негативно сказываются на численности платановой кружевницы. По результатам наших исследований, в условиях Лазаревского района г. Сочи данное утверждение не нашло своего подтверждения. Средняя влажность воздуха в регионе во все исследуемые нами периоды составляла от 71 % в зимний период до 81 % в летний период. В годы вспышки численности кружевницы данные показатели оставались в пределах климатической нормы. Количество дней с осадками в период зимовки (ноябрь–апрель) так же не оказывает влияния на численность вредителя. В 2009–2010 гг. нами не было отмечено резкого снижения численности вредителя, при том, что среднее количество дней с осадками (ноябрь–апрель) составило 117 дней. В период депрессии кружевницы *Corythucha ciliata*, в 2011–2014 гг., когда средняя численность клопа снизилась до 3,5 имаго/кв.дм, среднее количество дней с осадками в период зимовки составило 36 дней. За последующие годы, с 2016 по 2022 гг., среднее количество дней с осадками в период зимовки *Corythucha ciliata* выросло до 99,4. В году, когда произошла самая сильная вспышка численности клопа (2022), количество дней с осадками в период зимовки составило 101 день, что выше среднего показателя за означенный период. В этот же период нами был зафиксирован резкий рост численности вредителя (рис. 4).



Рисунок 4. Зимующая популяция *Corythucha ciliata* Say, ноябрь 2022

Figure 4. Wintering population of *Corythucha ciliate* Say, November 2022

Таким образом, мы можем утверждать, что *Corythucha ciliata* обладает высокой степенью приспособляемости к изменениям влажности воздуха, как среднесуточной и среднегодовой, так и на протяжении длительного периода времени.

О высоких адаптационных свойствах платановой кружевницы *Corythucha ciliata* относительно климатических условий говорят еще два факта. Согласно исследованиям [13], экспрессия гена HSP70, отвечающего за ответную реакцию клопа на высокие температуры, значительно увеличилась, способствуя повышению термостойкости клопов-кружевниц. Исследователи доказали высокую выживаемость кружевницы при воздействии на нее низких температур (до $-23,3^{\circ}\text{C}$) посредством ее постепенного снижения. Наши наблюдения показали, что в периоды подъема температуры воздуха до $+33 - +35^{\circ}\text{C}$ активность *Corythucha ciliata* незначительно уменьшается, быстро восстанавливаясь при снижении температуры воздуха до $+30 - +32^{\circ}\text{C}$. Также нами неоднократно проводилось исследование зимующих особей платановой кружевницы в периоды резкого понижения температуры воздуха до $-5 - 7^{\circ}\text{C}$. Гибель зимующих имаго была нами зафиксирована только в открытых местах зимовки вредителя – в широких расщелинах и на поверхности коры. Особи *Corythucha ciliata*, зимующие в закрытых местах, таких как пространство под корой платана, узкие закрытые расщелины коры, листовая опад, не пострадали от резкого снижения температуры воздуха. Таким образом, клоп демонстрирует высокую приспособляемость как к высоким, так и к низким температурам, что в свою очередь может говорить о возможности распространения вредителя в более холодные и более жаркие районы.

Следующий фактор высокой адаптивности *Corythucha ciliata* – отсутствие необходимости выстраивания защиты от природных врагов. За

прошедшие с момента первой инвазии клопа в Европу 60 лет специалистами всего мира так и не были обнаружены эффективные специфические энтомофаги кружевницы. Так, в местах обитания клопа в Краснодарском крае были обнаружены хищные клопы *Arma custos* F. и *Orius majusculus* Reut., а также личинки златоглазок *Chrysopa* spp. [1]. Зарубежные исследователи отмечают также в качестве естественных врагов платановой кружевницы некоторые виды настоящих клопов, сверчков, саранчи и пауков [3]. В Лазаревском районе нами отмечено питание яйцекладкой кружевницы хищными клопами макролофус и дицифус, а также уничтожение коритухи всех возрастов такими многоядными хищниками как богомолы и жужелицы [14]. Однако, все известные в настоящее время хищники являются полифагами и показывают высокую регуляторную активность в отношении *Corythucha ciliata* только в лабораторных условиях и не способны значительно влиять на численность клопа в естественной среде.

Еще одним фактором хорошей приспособляемости вредителя к новым условиям является отмеченная нами на территории Лазаревского района г. Сочи растущая сопротивляемость энтомопатогенным грибам, в частности, *Beauveria bassiana* Vuil. Наши многолетние исследования [15] показывают, что *Beauveria bassiana* является наиболее распространенным и эффективным энтомопатогеном в зоне Черноморских субтропиков. Согласно нашим исследованиям, в 2009 году процент заражения платановой кружевницы этим дейтеромикетом составлял 50 % [18–19], в 2014 году процент заражения снизился до 42,6 %. Наши исследования 2022 года показали рекордно низкий уровень заражения платановой кружевницы *Beauveria bassiana* – 16,66 %. Таким образом, количество особей клопа, поражаемых этим дейтеромикетом, на территории Лазаревского района г. Сочи снизилось на 33,4 % за 14 лет.

Как известно, широкая специализация анаморфных энтомопатогенных грибов связана с тем, что они поражают особей, ослабленных абиотическими и биотическими факторами. Воздействие *Beauveria bassiana* направлено на подавление защитных реакций насекомого, связанных с устойчивостью к грибным патогенам. Отмеченное нами значительное снижение процента особей платановой кружевницы, поражаемых этим энтомопатогеном говорит о развитии устойчивости *Corythucha ciliata* к заражению и развитию у него защитных реакций к влиянию патогена.

Не менее важный фактор высокой приспособляемости *Corythucha ciliata* к новым условиям –

устойчивость к высоким антропогенным нагрузкам и умение использовать их для размножения вида. В большинстве регионов своей инвазии вредитель обитает в местах произрастания платанов. Как известно, платан – одно из наиболее популярных растений, используемых для озеленения городов. Огромный массив платанов произрастает в районах с высокой антропогенной нагрузкой. В Лазаревском районе г. Сочи основная часть этих деревьев высажена вдоль федеральной трассы А-147 Джубга-Сочи (рис. 5).



Рисунок 5. Платановая аллея вдоль трассы Джубга-Сочи, п. Лазаревское
Figure 5. Plane alley along the Dzhubga-Sochi highway, Lazarevskoe

На территории поселка Лазаревское г. Сочи платановые аллеи преимущественно высажены непосредственно между федеральной трассой и участком Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги, а также вдоль одной из центральных улиц поселка – ул. Победы. За многолетние наблюдения нами было установлено, что численность популяции платановой кружевницы в районах с разной антропогенной нагрузкой имеет существенную разницу только в отдельные сезоны, и уже к началу периода развития второй генерации сходит на нет. Существенной разницы между развитием всех генераций платановой кружевницы в районах с высокой и низкой антропогенной нагрузкой нами отмечено не было. Из вышесказанного можно сделать вывод о высоких адаптивных способностях *Corythucha ciliata* к загрязнению окружающей среды.

Результаты наших наблюдений за способностью к самостоятельному перемещению платановой кружевницы показали, что *Corythucha ciliata* в состоянии перелетать на расстояния не больше 30 м. При этом наличие дорог с интенсивным движением в качестве значительного сдерживающего фактора мы рассматривать не можем. Нами было отмечено успешное перемещение значительного количества взрослых особей клопа через федеральную автотрассу. Однако кружевница успешно использует высокую транспортную активность и пассажи-

ропоток для перемещения на большие расстояния. Так, за 5 лет с момента первого обнаружения платановой кружевницы в г. Краснодар в 1996 году до момента ее обнаружения в п. Лазаревское в 2000 году клоп преодолел расстояние в 223 км. То есть, приблизительное среднее расстояние, которое преодолело это насекомое размером 3,7х2 мм, составляет 44,6 км в год. Это связано с быстро растущими автомобильным трафиком и пассажиропотоком на территории Краснодарского края в целом и города Сочи в частности. В летний сезон транспортный поток, пересекающий границу г. Сочи, с 2016 по 2022 годы вырос с 20 до 70 тысяч автомобилей в сутки, а туристический поток за этот же период времени вырос с 5,2 млн до 7,2 млн человек. Высокая скорость распространения *Corythucha ciliata* обусловлена приспособленностью клопа к эффективному использованию антропогенных факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали наши исследования, платановая кружевница *Corythucha ciliata* Say эффективно выстраивает новые трофические связи, без ущерба для своей популяции адаптируется не только к новым климатическим условиям, но и к их изменениям. На развитие популяции платановой кружевницы не оказывают значительного влияния природные энтомофаги и энтомопатогены. Вредитель

приспособился к выживанию в условиях высокой антропогенной нагрузки и успешно использует ее для инвазии в новые регионы.

Объективная оценка совокупности факторов высокой приспособляемости *Corythucha ciliata* Say к новым условиям обитания вкупе со знаниями биологии вредителя дает наиболее полную картину жизнедеятельности платановой кружевницы. Данная информация позволяет исключить неэффективные методы регулирования численности *Corythucha ciliata* и сосредоточиться в исследованиях на способах устранения факторов адаптивности. Это позволит ускорить процесс поиска биологических методов борьбы с вредителем.

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 in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No. FGRN-2022-0003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stryukova N.M., Stryukov A.A. New data on invasive insects in the republic of Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2020. N 4(157). С. 56–66.
2. Голуб В.Б., Калинин В.М., Котенев Е.С. Динамика популяционно-фенетической структуры на Северном Кавказе американского интродуцента - клопа платановой коритуха // Материалы конференции к 100-летию Государственного Дарвиновского музея «Современные проблемы биологической эволюции». Москва, 17-20 сентября 2007 г. Москва, 2007. С. 105–107.
3. Drake, Carl J. and Ruhoff, Florence A. "Lacebugs of the World: A Catalog (Hemiptera: Tingidae)." Bulletin of the United States National Museum. 1965. 1–634, 57 plates, 6 figures. <https://doi.org/10.5479/si.03629236.243.1>
4. Tatu A., Tausan I. [Corythucha ciliata (Say, 1832) (Hemiptera:Tingidae) – second record for the lace bug fauna of Romania]. URL: <https://www.researchgate.net/journal/Brukenenthal-Acta-Musei-1842-2691> (дата обращения: 22.01.2023)
5. PASCARU Alexandru. Corythucha ciliata (Say, 1832) – insectă invazivă din 161 spațiile verzi ale municipiului Chișinău. Conferința Națională cu Participare Internațională „Științele vieții în dialogul generațiilor: conexiuni dintre mediul academic, universitar și de afaceri”. Culegere de teze, Chișinău. 2019. P. 161–163.
6. Maceelski M. Current status of Corythucha [sic] ciliata in Europe // Bulletin OEPP/EPPO. 1986. N 16. P. 621–624.
7. Голуб В.Б., Калинин В.М., Котенев Е.С. Американский интродуцент – клоп-платановая коритуха // Защита и карантин растений. 2008. N 3. С. 54–55.
8. Беседина Е.Н., Киль В.И., Исмаилов В.Я., Карпунина М. Молекулярно-генетический анализ и фенология плоской кружевницы *Corythucha ciliata* Say (Hemiptera: Tingidae) в разных районах Краснодарского края // XI Международная научно-практическая конференция «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 2020. Т. 21. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202100011>
9. Feng-Qi L., Ning-Ning F., Cheng Q., Ran W., Ti-Hua X., Chen L. Understanding the mechanisms of dormancy in an invasive alien Sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* through transcript and metabolite profiling // Scientific Reports. 2017. N 7. Article number: 2631. DOI:10.1038/s41598-017-02876-w
10. Dutto M., Bertero M. Dermatitis caused by *Corythucha ciliata* (Say, 1932) (Hemiptera, Tingidae). Diagnostic and clinical aspects of an unrecognized pseudoparasitosis // Journal of Preventive Medicine and Hygiene. 2013. N 54(1). P. 57–59.
11. Собина А.Ю. Вредоносность платановой кружевницы *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) в Краснодаре // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Дендробионты беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах» (XI чтения памяти О.А. Катаева). Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 г., 2020. С. 308. DOI: 10.21266/SPBFTU.2020.KATAEV
12. Блюммер А.Г. Инвазивные виды неарктических клопов-кружевниц рода *Corythucha* (Hemiptera, Tingidae) в Евразии: особенности распространения и вредоносность // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Экологические и экономические последствия инвазий дендрофильных насекомых». 2012. С. 139–143.
13. Malumphy C. P., Reid S., Eyre D. The plat anus lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera:tingidae), a nearctic pest of plane trees, new to Britain // The British Journal of Entomology and Natural History. 2007. N 20. P. 233.
14. Гниенко Ю.И. Клопы-кружевницы рода *Corythucha* - опасность для древесно-кустарниковых растений старого света // Лесной вестник. 2008. N 1. С. 60–64.
15. Балахнина И.В., Голуб В.Б. Трофические связи вредных видов клопов-кружевниц (Hemiptera: Tingidae), установленные в Краснодарском крае в 2019 г. // Дендробионты беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI чтения памяти О.А. Катаева). Материалы Всероссийской конференции с международным участием, г. Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 г., 2020. С. 68–69. DOI: 10.21266/SPBFTU.2020.KATAEV
16. Калинин В.М., Голуб В.Б., Мазеева Р.Н. Распространение и особенности биологии неарктического вида *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera, Tingidae) на юге России // Евразийский энтомологический журнал. 2002. N 1(1). С. 25–29.
17. Беседина Е.Н., Исмаилов В.Я. Мониторинг развития клопа дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say) на основе использования теплосодержания атмосферы // Вестник Томского государственного университета. 2021. N 54. С. 138–157. DOI: 10.17223/19988591/54/7
18. Бугаева Л.Н., Игнатъева Т.Н., Кашутина Е.В., Хейшхо И.В. Динамика численности *Corythucha ciliata* Say (Лазаревский район г. Сочи) // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. 2018. N 10. С. 30–33.
19. Слободянюк Г.А., Кашутина Е.В., Ясюк Л.В. Энтомопатогены вредителей субтропических и декоративных культур // 9-я Международная научно-практическая конференция «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 2016. С. 300–304.

REFERENCES

1. Stryukova N.M., Stryukov A.A. New data on invasive insects in the republic of Crimea. Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2020, no. 4(157), pp. 56–66.
2. Golub V.B., Kalinkin V.M., Kotenev E.S. Dinamika populyatsionno-feneticheskoi struktury na Severnom Kavkaze amerikanskogo introdutsenta - klopa platanovaya koritukha [Dynamics of the population-phenetic structure of the American introduced bug in the North Caucasus - the sycamore bug]. Materialy konferentsii k 100-letiyu Gosudarstvennogo Darvinovskogo muzeya «Sovremennye problemy biologicheskoi evolyutsii». Moskva, 17-20 sentyabrya 2007 g. [Proceedings of the conference "Modern problems of biological evolution", Moscow, 17-20 September 2007]. Moscow, 2007, pp. 105–107. (In Russian)
3. Drake, Carl J. and Ruhoff, Florence A. "Lacebugs of the World: A Catalog (Hemiptera: Tingidae)." Bulletin of the United States National Museum. 1965. 1–634, 57 plates, 6 figures. <https://doi.org/10.5479/si.03629236.243.1>
4. Tatu A., Tausan I. [Corythucha ciliata (Say, 1832) (Hemiptera:Tingidae) – second record for the lace bug fauna of Romania]. Available at: <https://www.researchgate.net/journal/Brukenenthal-Acta-Musei-1842-2691> (accessed 22.01.2023)
5. PASCARU Alexandru. Corythucha ciliata (say, 1832) – insectă invazivă din 161 spațiile verzi ale municipiului Chișinău. Conferința Națională cu Participare Internațională „Științele vieții în dialogul generațiilor: conexiuni dintre mediul academic, universitar și de afaceri”. Culegere de teze, Chișinău. 2019, pp. 161–163.

6. Maceelski M. Current status of *Corythucha* [sic] ciliata in Europe. Bulletin OEPP/EPPO. 1986, no. 16, pp. 621–624.
7. Golub V.B., Kalinkin V.M., Kotenev E.S. American introduced plant – sycamore sycamore bug. *Zashhita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants]. 2008, no. 3, pp. 54–55. (In Russian)
8. Besedina E.N., Kil V., Ismailov V.Ya., Karpunina M. Molekulyarno-geneticheskii analiz i fenologiya ploskoi kruzhevnitsy *Corythucha ciliata* Say (Hemiptera: Tingidae) v raznykh raionakh Krasnodarskogo kraia [Molecular genetic analysis and phenology of the flat laceweed *Corythucha ciliata* Say (Hemiptera: Tingidae) in different regions of the Krasnodar Territory]. XI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Biologicheskaya zaschita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem» [XI International Scientific and Practical Conference "Biological Plant Protection" – the basis for the stabilization of agroecosystems]. 2020, vol. 21. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202100011>
9. Feng-Qi L., Ning-ning F., Cheng Q., Ran W., Ti-Hua X., Chen L. Understanding the mechanisms of dormancy in an invasive alien Sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* through transcript and metabolite profiling. *Scientific Reports*, 2017, no. 7, article number: 2631. DOI:10.1038/s41598-017-02876-w
10. Dutto M., Bertero M. Dermatitis caused by *Corythucha ciliata* (Say, 1932) (Hemiptera, Tingidae). Diagnostic and clinical aspects of an unrecognized pseudoparasitosis. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2013, no. 54(1), pp. 57–59.
11. Sobina A.Yu. Vredonosnost' platanovoi kruzhevnitsy *Sorythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) v Krasnodare [Harmfulness of the sycamore laceweed *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Krasnodar]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ikh rol' v lesnykh ekosistemakh (XI chteniya pamyati O.A. Kataeva)"*, Sankt-Peterburg, 24–27 noyabrya 2020 [Materials of the All-Russian Conference with international participation, Dendrobiont invertebrates and fungi and their role in forest ecosystems (XI readings in memory of O.A. Kataev) St. Petersburg, 24–27 November 2020]. 2020, pp. 308. (In Russian) DOI: 10.21266/SPBFTU.2020.KATAEV
12. Blummer A.G. Invaziynye vidy nearkticheskikh klopov-kruzhevnits roda *Corythucha* (Hemiptera, Tingidae) v Evrazii: osobennosti rasprostraneniya i vredonosnost' [Invasive species of Nearctic lace bugs of the genus *Corythucha* (Hemiptera, Tingidae) in Eurasia: features of distribution and harmfulness]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Ekologicheskie i ekonomicheskie posledstviya invazii dendrofil'nykh nasekomykh"*, 2012 [Materials of the All-Russian conference with international participation "Ecological and economic consequences of invasions of dendrophilic insects", 2012]. 2012, pp. 139–143. (In Russian)
13. Malumphy C.P., Reid S., Eyre D. The plat anus lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae), a nearctic pest of plane trees, new to Britain. *The British Journal of Entomology and Natural History*. 2007, no. 20, p. 233.
14. Gnienko Yu.I. Lace bugs of the genus *Corythucha* – a danger to trees and shrubs of the Old World. *Lesnoi vestnik* [Forest Bulletin]. 2008, no. 1, pp. 60–64. (In Russian)
15. Balakhnina I.V., Golub V.B. Troficheskie svyazi vrednykh vidov klopov-kruzhevnits (Hemiptera: Tingidae), ustanovlenne v Krasnodarskom krae v 2019 g. [Trophic relationships of harmful species of lace bugs (Hemiptera: Tingidae), established in the Krasnodar Territory in 2019]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ikh rol' v lesnykh ekosistemakh (XI chteniya pamyati O.A. Kataeva)"*, Sankt-Peterburg, 24–27 noyabrya 2020 [Materials of the All-Russian Conference with international participation "Dendrobiont invertebrates and fungi and their role in forest ecosystems (XI readings in memory of O.A. Kataev)", St. Petersburg, 24–27 November 2020]. 2020, pp. 68–69. (In Russian) DOI: 10.21266/SPBFTU.2020.KATAEV
16. Kalinkin V.M., Golub V.B., Mazeeva R.N. Distribution and features of biology of the Nearctic species *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera, Tingidae) in the south of Russia. *Evraziiskii entomologicheskii zhurnal* [Eurasian Entomol. Magazine]. 2002, no. 1(1), pp. 25–29. (In Russian)
17. Besedina E.N., Ismailov V.Ya. Monitoring the development of the oak lace bug (*Corythucha arcuata* Say) based on the use of atmospheric heat content. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 2021, no. 54, pp. 138–157. (In Russian) DOI:10.17223/19988591/54/7
18. Bugaeva L.N., Ignatieva T.N., Kashutina E.V., Heishkho I.V. Population dynamics of *Corythucha ciliata* Say (Lazarevsky district of Sochi). *Biologicheskaya zaschita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem* [Biological protection of plants – the basis for stabilizing agroecosystems]. 2018, no. 10, pp. 30–33. (In Russian)
19. Slobodyanyuk G.A., Kashutina E.V., Yasyuk L.V. Entomopatogeny vrediteli subtropicheskikh i dekorativnykh kul'tur [Entomopathogens of pests of subtropical and ornamental crops]. *9-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Biologicheskaya zaschita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem"*, 2016 [9th International scientific and practical conference "Biological protection of plants - the basis for stabilizing agroecosystems", 2016]. 2016, pp. 300–304. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Евгения В. Кашутина, Людмила Н. Бугаева, Татьяна Н. Игнатиева, Екатерина В. Хетагурова собрали материал в ходе фитосанитарных обследований, провели исследования. Евгения В. Кашутина, Людмила Н. Бугаева, Татьяна Н. Игнатиева обработали и проанализировали экспериментальные данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Evgeniya V. Kashutina, Ludmila N. Bugaeva, Tatyana N. Ignatieva and Ekaterina V. Khetagurova collected material during phytosanitary examinations and conducted the studies. Evgeniya V. Kashutina, Ludmila N. Bugaeva and Tatyana N. Ignatieva processed and analysed experimental data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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>

Екатерина В. Хетагурова / Ekaterina V. Khetagurova <http://orcid.org/0000-0002-4623-9282>

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

Оригинальная статья / Original article
УДК 591.592
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-42-50

Фауна некоторых групп беспозвоночных Государственного заповедника «Эребуни» (Армения)

Людмила С. Мирумьян¹, Рузанна Г. Арутюнян¹, **Маргарит А. Марджанян¹**, **Варужан С. Оганесян¹**,
Аида А. Аветисян¹, Нора Х. Акопян¹, Мадина З. Магомедова², Патимат Д. Магомедова²,
Мамикон Г. Касабян¹, Лаура Д. Арутюнова¹

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

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Людмила С. Мирумьян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА; 0014 Республика Армения, г.Ереван, ул. П.Севака, 7. Тел. +374091666679
Email lmirumyan@mail.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2821-9795>

Формат цитирования

Мирумьян Л.С., Арутюнян Р.Г., **Марджанян М.А.**, **Оганесян В.С.**, Аветисян А.А., Акопян Н.Х., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Касабян М.Г., Арутюнова Л.Д. Фауна некоторых групп беспозвоночных Государственного заповедника «Эребуни» (Армения) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 42-50. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-42-50

Получена 6 августа 2023 г.
Прошла рецензирование 17 сентября 2023 г.
Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Целью работы является изучение фауны беспозвоночных на территории Государственного заповедника «Эребуни».

Материал и методы. Материалом послужили беспозвоночные, собранные на территории Государственного заповедника «Эребуни». Работа выполнена в Научном Центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения в период 2019–2023 гг. Материалом послужили собственные сборы, а также коллекции по насекомым и моллюскам Института зоологии. Использовались общепринятые методы по сбору и определению насекомых и моллюсков.

Результаты. Впервые предлагается обзор некоторых групп беспозвоночных территории Государственного заповедника «Эребуни». В результате исследований выявлено 35 видов двукрылых, 15 видов жесткокрылых, 44 вида чешуекрылых, 10 видов тлей, 12 видов моллюсков. Отмечены виды, занесенные в «Красную книгу» Армении и находящиеся под охраной государства, а также редко встречаемые виды и виды, встречающиеся в РА только на территории заповедника. 15 видов выявленных нами насекомых развиваются на 4 видах растений, включенных в «Красную книгу» Армении.

Заключение. Государственный заповедник «Эребуни» представлен довольно разнообразной и ценной фауной исследованных нами беспозвоночных животных, которая включает ряд редких и охраняемых видов. На территории заповедника выявлены виды беспозвоночных, связанные в своем развитии с ценными дикорастущими, хозяйственно важными и охраняемыми растениями. Выявление видовой разнообразия и трофических связей некоторых групп насекомых, развивающихся на редких и охраняемых растениях заповедника, актуально для природных территорий, находящихся под охраной государства, каковым является Государственный заповедник «Эребуни».

Ключевые слова

Двукрылые, полужесткокрылые (тли), жесткокрылые, чешуекрылые, моллюски, Государственный заповедник «Эребуни».

Fauna of some groups of invertebrates of Erebuni State Reserve (Armenia)

Lyudmila S. Mirumyan¹, Ruzanna G. Harutyunyan¹, Margarit A. Marjanyan¹, Varuzhan S. Hovhannisyan¹, Aida A. Avetisyan¹, Nora Ch. Akopyan, Madina Z. Magomedova², Patimat D. Magomedova², Mamikon G. Ghasabyan¹ and Laura D. Harutyunova¹

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

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Lyudmila S. Mirumyan, Doctor of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Entomology and Soil Zoology, Institute of Zoology, Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia; 7 P. Sevak St, Yerevan, Republic of Armenia 0014.

Tel. +374091666679

Email lmirumyan@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2821-9795>

How to cite this article

Mirumyan L.S., Harutyunyan R.G., Marjanyan M.A., Hovhannisyan V.S., Avetisyan A.A., Akopyan N.Ch., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Ghasabyan M.G., Harutyunova L.D. Fauna of some groups of invertebrates of Erebuni State Reserve (Armenia). *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 42–50. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-42-50

Received 6 August 2023

Revised 17 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. The aim of the work is to research the fauna of invertebrates in the Erebuni State Reserve.

Material and Methods. As research material served invertebrates gathered in the Erebuni State Reserve. The work was carried out at the Scientific Centre for Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia in the period 2019–2023. The material was from our own collections, as well as from collections of insects and mollusks of the Institute of Zoology. The identification and collection of insects and mollusks were done using standard methods.

Results. An overview of some groups of invertebrates in the Erebuni State Reserve is here provided for the first time. As a result of the research, 35 species of Diptera, 15 species of Coleoptera, 44 species of Lepidoptera, 10 species of aphids and 12 species of mollusks were identified. Some species are listed in the “Red Book” of Armenia and are under the protection of the state, and there are rare species and species found in the Republic of Armenia only in the reserve. 15 species of insects identified by us develop on 4 plant species included in the “Red Book” of Armenia.

Conclusion. The Erebuni State Reserve is represented by a rather diverse and valuable fauna of invertebrates studied by us, including a number of rare and protected species. Species of invertebrates associated in their development with valuable wild, economically important and protected plants have been identified in the reserve. Identification of species diversity and trophic relationships of some groups of insects that develop on rare and protected plants of the reserve is relevant for natural areas under state protection, of which the Erebuni State Reserve is one.

Key Words

Diptera, Hemiptera (Aphididae), Coleoptera, Lepidoptera, Mollusca, Erebuni State Reserve.

ВВЕДЕНИЕ

Государственный заповедник «Эребуни» или Эребунийский заповедник расположен в Араратской области Республики Армения, недалеко от города Еревана (рис. 1), на границе Котайкской и Араратской областей, между селами Мушаван и Гехади́р. Это самый маленький заповедник в Армении. Он был основан в 1981 году на площади 89 га (в настоящее время занимает площадь 120 га). Заповедник находится на высоте 1300–1400 м н. у. м. (табл. 1), расположен на третичных красных глинах, возраст которых более десятка миллиона лет. Здесь горная степь и полупустыня представлены в виде перемежающихся участков, с

соответствующей ксерофитной растительностью [1] (рис. 2). По своему значению этот заповедник единственный не только в Армении, но и во всем мире, так как призван охранять предков культурной пшеницы и других зерновых в условиях их естественного местообитания (рис. 3). Эребунийский заповедник можно считать детищем Н.И. Вавилова, живым памятником ему. Еще в 30-е годы, побывав здесь, он выразил мысль о том, что эта территория является одним из интереснейших уголков земного шара, предложив превратить эту местность в заповедник. Однако этот завет осуществился лишь спустя полвека [2; 3].



Рисунок 1. Карта Государственного заповедника «Эребуни»

Figure 1. Map of Erebuni State Reserve

Таблица 1. Координаты Государственного заповедника «Эребуни»

Table 1. Coordinates of the Erebuni State Reserve

Место сбора Collection area	Широта Latitude	Долгота Longitude	Высота н.у.м. Height a.s.l.
Эребуни, Ереван	40° 7'40.87"С	44°32'28.96"В	1300–1400 m

Флора заповедника для столь небольшой территории довольно богата и разнообразна. Здесь встречается 293 вида сосудистых растений, относящихся к 197 родам и 46 семействам. Самыми крупными семействами по числу видов являются Asteraceae (57 видов), Fabaceae (33 вида), Poaceae (30 видов), Brassicaceae (26 видов) и др. [4].

Фауна беспозвоночных животных заповедника специально не изучалась. Имеются некоторые исследования по фауне жесткокрылых (Coleoptera): на территории заповедника выявлено 37 видов жуков жужелиц (Carabidae), 29 видов пластинчатоусых (Carabidae) и 23 вида златок (Buprestidae) [5], 5 видов жесткокрылых: *Poecilus festinus* Chaudoir, 1868 (Carabidae), *Glaphyrus caucasicus* Kraatz, 1887, *Anisoplia reitteriana* Semenov, 1903 (Carabidae), *Ectromopsis bogatschevi* Khnzorian, 1957, *Laena ferruginea* Küster,

1846 (вид занесен в Красную книгу как *Laena constricta* Khnzorian, 1957) (Tenebrionidae) включены в Красную книгу Армении [6–8] и охраняются на территории заповедника.

В связи со слабой изученностью фауны беспозвоночных заповедника «Эребуни» и их трофических связей с растениями или растительными комплексами, произрастающими на территории заповедника, возникла необходимость в продолжении фаунистических исследований указанной местности.

Целью работы является изучение фауны беспозвоночных на территории Государственного заповедника «Эребуни».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом послужили беспозвоночные, собранные на территории Государственного заповедника «Эребуни» в

период 2019–2023 гг. Работа выполнена в Научном Центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения. Сбор и определение насекомых и моллюсков проводились по общепринятым методикам: жесткокры-

лые [9], двукрылые [10–12], чешуекрылые [13–16], тли [17], моллюски [18–20].

Научный материал хранится в коллекционном фонде Института зоологии НЦЗГЭ НАН РА.



Рисунок 2. Ландшафт заповедника «Эребуни»
Figure 2. Landscape of the Erebuni State Reserve



Рисунок 3. Заросли дикой пшеницы *Triticum araraticum* на территории заповедника «Эребуни»
Figure 3. Thickets of *Triticum araraticum* in the Erebuni State Reserve

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С территории заповедника нами были собраны следующие группы беспозвоночных:

Жесткокрылые (Coleoptera: Helophoridae, Hydrophilidae, Elateridae)

В результате проведенных исследований выявлено 15 видов жесткокрылых из 3 семейств Helophoridae (1), Hydrophilidae (8), Elateridae (6).

3 вида (*Helophorus micans*, *Agriotes sputator* и *Selatosomus latus*) отмечены на зерновых культурах. Представители подсемейства Sphaeridiinae (*Sphaeridium lunatum*, *S. scarabaeoides*, *Cercyon quisquilius*) – копрофаги, потребители экскрементов животных. Виды рода *Berosus* – обитатели солоноватых водоемов. *Berosus asiaticus*, *Cardiophorus nigratissimus*, *Melanotus atricapillus* в РА обнаружены только на территории заповедника.

Семейство Helophoridae – морщинники

1. *Helophorus micans* Faldermann, 1835 – на *Triticum boeoticum* Boiss. (Poaceae)

Семейство Hydrophilidae – водолюбы

2. *Sphaeridium lunatum* Fabricius, 1792 – почва-навоз
3. *Sphaeridium scarabaeoides* Linnaeus, 1758 – почва-навоз
4. *Cercyon quisquilius* Linnaeus, 1761 – почва-навоз
5. *Berosus asiaticus* Kuwert, 1888 – солоноватые водоемы
6. *Berosus bispina* Reiche et Saulcy, 1856 – солоноватые водоемы
7. *Berosus frontifoveatus* Kuwert, 1888 – солоноватые водоемы
8. *Berosus spinosus* Steven, 1808 – солоноватые водоемы
9. *Enochrus quadripunctatus* Herbst, 1797 – водоемы

Семейство Elateridae – щелкуны

10. *Agriotes brevis* Candèze, 1863 – на *Triticum boeoticum* Boiss., *Hordeum bulbosum* L. (Poaceae)

11. *Agriotes sputator* Linnaeus, 1758 – на *Triticum boeoticum* Boiss., *Hordeum bulbosum* L. (Poaceae)

12. *Melanotus atricapillus* Reitter, 1891 – полупустыня

13. *Selatosomus latus* Fabricius, 1801 – на *Aegilops cylindrica* Host., *Hordeum bulbosum* L. (Poaceae)

14. *Cardiophorus megathorax* Faldermann, 1835 – полупустыня

15. *Cardiophorus nigratissimus* Buysson, 1891 – полупустыня

Двукрылые (Diptera: Chloropidae, Anthomyiidae, Cecidomyiidae)

В результате исследований с территории заповедника «Эребуни» выявлено 35 видов двукрылых: 13 видов мух и 22 вида галлиц-фитофагов. Среди них имеются редко встречаемые виды и виды, встречающиеся только на территории заповедника. Все представители мух (злаковые мухи, цветочные мухи) были зарегистрированы на злаковых (Poaceae): пшенице, ржи, ячмене и др., а также, на бобовых (Fabaceae) и осоковых (Cyperaceae), характерных для данной местности.

Семейство Chloropidae – злаковые мухи

1. *Meromyza saltatrix* Linnaeus, 1761 – на *Hordeum mirinum* L., *H. bulbosum* L., *Triticum araraticum* Jakubz., *Avena fatua* L., *Festuca pratensis* Huds (Poaceae)
2. *Meromyza nigriventris* Macquart, 1835 – на *Hordeum bulbosum* L., *Secale vavilovii* Grossh., *Triticum urartu* Thun. ex Gandil., *Poa bulbosa* L (Poaceae)
3. *Chlorops pumilionis* Bjerkander, 1778 – на *Triticum urartu* Thun. ex Gandil., *Secale vavilovii* Grossh., *Aegilops colimnaris* Zhuk. (Poaceae)
4. *Chlorops serenus* Loew, 1866 – на *Avena fatua* L., *Festuca pratensis* Huds. (Poaceae)
5. *Chlorops troglodytes* Zetterstedt, 1848 – на *Triticum araraticum* Jakubz. (Poaceae)
6. *Chlorops varsoviensis* Becer, 1910 – на *Carex pachystylis* J. Gay (Cyperaceae)
7. *Lasiosina herpini* Guérin-Ménéville, 1843 – на *Hordeum mirinum* L., *H. bulbosum* L., *Triticum araraticum* Jakubz., *Avena fatua* L., *Festuca pratensis* Huds. (Poaceae)

8. *Elachiptera cornuta* Fallen, 1820 – на *Hordeum mirinum* L., *Triticum araraticum* Jakubz.
9. *Oscinella frit* Linnaeus, 1758 – на *Triticum urartu* Thun. ex Gandil., *Hordeum mirinum* L., *Avena fatua* L., *Festuca prateensis* Huds. (Poaceae)
10. *Oscinella pusilla* Meigen, 1830 – на *Hordeum mirinum* L. (Poaceae)

Семейство Anthomyiidae – цветочные мухи

11. *Delia coarctata* Fallén, 1825 – на *Triticum urartu* Thun. ex Gandil., *Secale vavilovii* Grossh. (Poaceae)
12. *Delia platyura* Meigen, 1826 – на *Triticum urartu* Thun. ex Gandil. (Poaceae), *Medicago sativa* L., *Vicia cracca* L. (Fabaceae)
13. *Phorbia genitalis* Schnabl, 1911 – на *Triticum boeoticum* Boiss., *Secale vavilovii* Grossh. (Poaceae)

Семейство Cecidomyiidae – галлицы-фитофаги

На территории Государственного заповедника «Эребуни» было выявлено 22 вида галлиц-фитофагов. В основном, здесь встречаются виды галлиц, предпочитающие комплексы растений пустынно-полупустынного пояса, а также сухих степей с ксерофильной (полупустынной) растительностью. Почти все виды зарегистрированы на травянистой растительности, кроме двух видов, связанных в своем развитии с кустарниками (шиповник и крушина), два вида галлиц (*Contarinia tritici* и *Mayetiola destructor*) развиваются на пшенице, виды *Dasineura loewi*, *Rhopalomyia hispanica*, *Rhopalomyia navasi*, *Rhopalomyia tubifex* встречаются лишь на территории заповедника [21], имеются и редко встречаемые виды (*Promofavilla initialis*, *Stefaniella hilversidae*). Кормовыми растениями галлиц Эребуниского заповедника являются 20 видов растений из 10 семейств. Большая часть видов развивается на растениях из семейств Asteraceae и Chenopodiaceae.

Видовой состав галлиц-фитофагов и их кормовые растения:

1. *Careopalpis harenosa* Möhn, 1971 – на поташнике каспийском *Calidium capsicum* L. (Chenopodiaceae)
2. *Contarinia desertorum* Marikovskij, 1961 – на верблюжьей колючке *Alhagips eudalghi* (Bieb.) Desv. (Fabaceae)
3. *Contarinia rhamni* Rübsaamen, 1892 – на крушине *Rhamnus pallasii* Fisch. et May (Rhamnaceae)
4. *Contarinia tritici* Kirby, 1798 – на пшенице *Triticum araraticum* Jakubz. (Poaceae)
5. *Contarinia zygophylliflorae* Fedotova, 1990 – на парнолистнике *Zygophyllum fabago* L. (Zygophyllaceae)
6. *Dasineura asperulae* Löw, 1875 – на ясеннике *Asperula glomerata* (Bieb.) Griseb. (Rubiaceae)
7. *Dasineura bayeri* Rübsaamen, 1914 – на гулявнике *Sisymbrium loeseli* L. (Brassicaceae)
8. *Dasineura loewi* Milk, 1882 – на молочае *Euphorbia seguierana* Neck. (Euphorbiaceae)
9. *Dasineura rosae* Bremi, 1847 – на шиповнике *Rosa obtusifolia* Desv. (Rosaceae)
10. *Dasineura* sp. – на кипрее *Epilobium hirsutum* L. (Onagraceae)
11. *Halodiplosis araratica* Mirumian, 1991 – на солянке *Salsola ericoides* Bieb. (Chenopodiaceae)
12. *Jaapiella* sp. – на бурачке *Alyssum desertorum* L. (Brassicaceae)
13. *Mayetiola destructor* Say, 1817 – на пшенице *Triticum araraticum* Jakubz. (Poaceae)

14. *Promofavilla initialis* Mamaev, 1972 – на лебеде *Atriplex turcomanica* (Mog.) Boiss (Chenopodiaceae)
15. *Rhopalomyia artemisia* Bouché, 1834 – на полыни *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)
16. *Rhopalomyia campestris* Rübsaamen, 1915 – на полыни *Artemisia campestris* L. (Asteraceae)
17. *Rhopalomyia heteropapis* Marikovskij, 1964 – на полыни *Artemisia campestris* L. (Asteraceae)
18. *Rhopalomyia hispanica* Tavares, 1904 – на полыни *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)
19. *Rhopalomyia navasi* Tavares, 1904 – на полыни *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)
20. *Rhopalomyia tubifex* Bouché, 1847 – на полыни *Artemisia scoparia* Waldst. (Asteraceae)
21. *Sophoromyia armenica* Mamaev et Mirumian – на солодке *Glycyrrhiza glabra* L. (Fabaceae)
22. *Stefaniella hilversidae* Mamaev, 1972 – на мари *Chenopodium album* L. (Chenopodiaceae)

Чешуекрылые (Lepidoptera: Gelechiidae, Tortricidae, Pyralidae, Crambidae и Erebiidae)

В результате проведенных исследований выявлено 44 вида чешуекрылых из 5 семейств Gelechiidae (8), Tortricidae (6), Pyralidae (4), Crambidae (12) и Erebiidae (14).

Они отмечены на 37 видах цветковых растений (Magnoliophyta), принадлежащих к 15 семействам. Наибольшее количество обнаруженных видов (29) – гербифаги, живут на дикорастущих травянистых растениях, 13 видов – дендрофаги, питаются тканями и органами древесных растений и 2 вида лишенофаги – потребители лишайников. Вид *Axiopoena karelini*, занесенный в Красную книгу Армении, впервые найден на территории заповедника.

Семейство Gelechiidae – выемчатокрылые моли

Подсемейство Gelechiinae

1. *Chionodes distinctella* Zeller, 1839 – на *Thymus kotschyanus* Boiss. et Hohen. (Lamiaceae) и *Artemisia vulgaris* L. (Asteraceae)
2. *Ephysteris promptella* Staudinger, 1859 – на *Triticum boeoticum* Boiss., *Stipa hohenackerana* Trin. et Rupr. (Poaceae)
3. *Ochrodia subdiminutella* Stainton, 1867 – на *Zygophyllum fabago* L. (Zygophyllaceae)
4. *Ornativalva basistriga* Sattler, 1976 – на *Tamarix smyrensis* Bunge (Tamaricaceae)
5. *Teleiodes excentricella* Turati, 1934 – на *Tamarix smyrensis* Bunge (Tamaricaceae)
6. *Recurvaria nanella* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Amygdalus fenzliana* (Fritsch) Lipsky (Rosaceae)
7. *Anarsia eleagnella* Kuznetsov, 1957 – на *Eleagnus angustifolia* L. (Eleagnaceae)

Подсемейство Dichomeridinae

8. *Helcystogramma lutatella* Herrich-Schaffer, 1854 – на *Dactylis glomerata* L., *Poa bulbosa* L. (Poaceae)

Семейство Tortricidae – листовертки

Подсемейство Olethreutinae

9. *Ancylis apicella* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Rhamnus pallasii* Fischer et C.A. Mey. (Rhamnaceae)
10. *Ancylis unculana* Haworth, 1811 – на *Rhamnus pallasii* Fischer et C.A. Mey. (Rhamnaceae)
11. *Notocelia roborana* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae)

12. *Notocelia rosaecolana* Doubleday, 1850 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae)
 13. *Notocelia suffusana* Duponchel, 1843 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae)

Подсемейство Tortricinae

14. *Archips rosana* Linnaeus, 1758 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae)

Семейство Pyralidae – настоящие огневки

Подсемейство Phycitinae

15. *Oncocera semirubella* Scopoli, 1763 – на *Medicago sativa* L., *Trifolium arvense* L. (Fabaceae)
 16. *Asalebria venustella* Ragonot, 1887 – на *Atraphaxis spinosa* L. (Polygonaceae)
 17. *Rhodophaea legatella* Hübner, 1796 – на *Rhamnus pallasii* Fischer et C.A. Mey. (Rhamnaceae)
 18. *Cryptoblabes bistriga* Haworth, 1811 – на *Rhamnus pallasii* Fischer et C.A. Mey. (Rhamnaceae)

Семейство Crambidae – травяные огневки

Подсемейство Crambinae

19. *Agriphila inquinatella* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Hordeum bulbosum* L., *Avena sativa* L., *Festuca pratensis* Huds. (Poaceae)
 20. *Agriphila straminella* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Triticum boeoticum* Boiss., *Poa bulbosa* L. (Poaceae)

Подсемейство Evergestinae

21. *Evergestis forficalis* Linnaeus, 1758 – на *Camelina rumelica* Velen., *Sisymbrium loeselii* L. (Brassicaceae)

Подсемейство Spilomerlinae

22. *Nomophila noctuella* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Trifolium arvense* L., *Medicago sativa* L., *Onobrychis bobrovii* Grossh. (Fabaceae)

Подсемейство Glaphyriinae

23. *Hellula undalis* Fabricius, 1781 – на *Camelina rumelica* Velen., *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae), *Capparis herbacea* Willd. (Capparaceae)

Подсемейство Pyraustinae

24. *Loxostege sticticalis* Linnaeus, 1761 – на *Trifolium arvense* L., *Medicago sativa* L., *Vicia cracca* L. (Fabaceae)
 25. *Pyrausta aurata* Scopoli, 1763 – на *Thymus kotschyanus* Boiss. et Hohen. (Lamiaceae)
 26. *Pyrausta despicata* Scopoli, 1763 – на *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae)
 27. *Ostrinia nubilalis* Hübner, 1796 – на *Amberboa moshata* (L.), *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)
 28. *Anania verbascalis* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Teucrium polium* L. (Lamiaceae).
 29. *Mecyna flavalis* Denis et Schiffermüller, 1775 – на *Cichorium glandulosum* Boiss. et Huet, *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)
 30. *Ecpyrrhorhoe rubiginalis* Hübner, 1796 – на *Lamium amplexicaule* L., *Stachys inflata* Benth. (Lamiaceae)

Семейство Erebidae – эребиды

Подсемейство Arctiinae – медведицы

31. *Spilosoma lubricipeda* Linnaeus, 1758 – на *Mentha piperita* L. (Lamiaceae), *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. (Asteraceae)
 32. *Spilosoma urticae* Esper, 1789 – на *Mentha piperita* L. (Lamiaceae), *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. (Asteraceae)
 33. *Phragmatobia fuliginosa* Linnaeus, 1758 – на *Hordeum bulbosum* L., *Poa bulbosa* L. (Poaceae), *Myosotis micrantha* Pall ex Lehm. (Boraginaceae)
 34. *Artia caja* Linnaeus, 1758 – на *Artemisia fragrans* Willd., *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. (Asteraceae), *Myosotis*

micrantha Pall ex Lehm. (Boraginaceae), *Euphorbia orientalis* L. (Euphorbiaceae)

35. *Epicallia villica* Linnaeus, 1758 – на *Plantago arenaria* Waldst. et Kit. (Plantaginaceae), *Achillea biebersteini* L. (Asteraceae)

36. *Callimorpha dominula* Linnaeus, 1758 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae), *Salix alba* L. (Salicaceae)

37. *Axiopoea karelini* Menetries, 1863 – на *Artemisia fragrans* Willd. (Asteraceae)

38. *Euplagia quadripunctaria* Poda, 1761 – на *Plantago arenaria* Waldst. et Kit. (Plantaginaceae), *Vicia cracca* L. (Fabaceae)

39. *Eucharia festiva* Hufnagel, 1766 – на *Euphorbia orientalis* L. (Euphorbiaceae)

40. *Chelis maculosa* Gerning, 1780 – на *Epilobium hirsutum* L. (Onagraceae)

41. *Rhyparia purpurata* Linnaeus, 1758 – на *Salix alba* L. (Salicaceae), *Achillea biebersteini* L. (Asteraceae), *Plantago arenaria* Waldst. et Kit. (Plantaginaceae)

42. *Ocnogyna loewii armena* Staudinger, 1871 – на разных видах Poaceae, *Thymus kotschyanus* Boiss et Hohen. (Lamiaceae)

43. *Lithosia quadra* Linnaeus, 1758 – на разных видах древесных и каменистых лишайников Lichenes

44. *Eilema lurideola* Zincken, 1817 – на разных видах древесных лишайников Lichenes

Тли (Hemiptera: Aphididae)

В результате исследований выявлено 10 видов тлей [22; 23]. Эти насекомые отмечены на 13 видах растений из 7 семейств.

Семейство Aphididae

1. *Macrosiphum rosae* Linnaeus, 1758 – на *Rosa canina* L. (Rosaceae)
 2. *Brachycaudus helichrysi* Kaltenbach, 1843 – на *Amygdalus fenzliana* (Fritsch) Lipsky (Rosaceae)
 3. *Aphis craccivora* Koch, 1854 – на *Medicago sativa* L., *Onobrychis bobrovii* Grossh. (Fabaceae)
 4. *Aphis euphorbiae* Kaltenbach, 1843 – на *Euphorbia orientalis* L. (Euphorbiaceae)
 5. *Aphis farinosa* Gmelin, 1790 – на *Salix wilhemsiana* M. Bieb. (Salicaceae)
 6. *Capitophorus elaeagni* Del Guercio, 1894 – на *Elaeagnus angustifolia* L. (Elaeagnaceae)
 7. *Sitobion avenae* Fabricius, 1775 – на *Triticum araraticum* Jakubz. (Poaceae)
 8. *Schizaphis graminum* Rondani, 1852 – на *Triticum araraticum* Jakubz., *Avena fatua* L., *Festuca pratensis* Huds (Poaceae)
 9. *Rectinasus buxtoni* Theobald, 1914 – на *Artemisia vulgaris* L. (Asteraceae)
 10. *Uroleucon cichorii* Koch, 1855 – на *Cichorium glandulosum* Boiss et Huet, *Crepis alpine* L. (Asteraceae)

Моллюски (Mollusca) (Cionellidae, Vertiginidae, Pupillidae, Enidae, Vitrinidae, Helicidae)

В результате исследований на территории Государственного заповедника «Эребун» зарегистрировано 12 видов моллюсков:

Семейство Cionellidae

1. *Cionella lubricella* Porro, 1838 – горная степь, сады, скалы, реке луга

Семейство Vertiginidae

2. *Truncatellina calligratis* Scacchi, 1833 – повсеместно

Семейство Pupillidae

3. *Pupilla muscorum* Linnaeus, 1758 – заболоченные луга, сырые осыпи и скалы
4. *Pupilla signata* Mousson, 1873 – полупустыня, степь, фригана
5. *Pupilla bipapulata* Akramowski, 1947 – горная степь, фригана (эндемик Араратской котловины)

Семейство Enidae

6. *Imparietula sieversi* Mousson, 1873 – полупустынные склоны, фригана
7. *Imparietula pupoides* Krynicki, 1833 – горная степь, склоны, фригана
8. *Imparietula tetrodon* Mertillet, 1854 – горная степь, склоны
9. *Georginapaeus* (*Napaeopsis*) *hohenackeri* L. Pfeiffer, 1848 – сухие склоны

Семейство Vitrinidae

10. *Phenacolimax annularis* Studer, 1820 – горная степь, сухие склоны

Семейство Helicidae

11. *Helicella crenimarego* L. Pfeiffer, 1848 – полупустыня, фригана, сухие склоны
12. *Xeropicta derbentina* Krynicki, 1836 – сухие склоны, сухие луга

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые изучена фауна некоторых групп беспозвоночных (Insecta, Mollusca) Государственного заповедника «Эребуни». На территории заповедника найдены: 35 видов двукрылых (Diptera) из 3 семейств: Chloropidae (10), Anthomyiidae (3), Cecidomyiidae (22); 15 видов жесткокрылых (Coleoptera) из 3 семейств: Helophoridae (1), Hydrophilidae (8), Elateridae (6); 44 вида чешуекрылых (Lepidoptera) из 5 семейств: Gelechiidae (8), Tortricidae (6), Pyralidae (4), Crambidae (12), Erebididae (14); 10 видов тлей (Aphididae), 12 видов моллюсков (Mollusca) из 6 семейств: Cionellidae (1), Vertiginidae (1), Pupillidae (3), Enidae (4), Vitrinidae (1), Helicidae (2). На территории заповедника выявлены виды беспозвоночных, занесенные в Красную книгу Армении: медведица – карелина мрачная *Axiopoena karelini*. Встречаются эндемики: *Pupilla bipapulata* – эндемик Араратской котловины. Территория заповедника является типовым местообитанием для некоторых видов беспозвоночных: *Berosus asiaticus* и *Cardiophorus nigratissimus*, *Melanotus atricapillus*, *Dasineura loewi*, *Rhopalomyia hispanica*, *Rhopalomyia navasi*, *Rhopalomyia tubifex* в РА обнаружены лишь на территории этого заповедника, нами зарегистрированы и редко встречаемые виды: *Promofavilla initialis*, *Stefaniella hilversidae*. 15 видов выявленных нами насекомых развиваются на 4 видах растений (*Triticum araraticum*, *T. urartu*, *Cichorium glandulosum*, *Amberboa moshata*), включенных в Красную книгу Армении. Среди фитофагов многие приурочены к определенному виду растения или растительному комплексу и связаны в своем развитии с ценными дикорастущими, хозяйственно важными и охраняемыми растениями. Выявление видового разнообразия и трофических связей некоторых групп насекомых, развивающихся на редких и охраняемых растениях заповедника, актуально для природных территорий, находящихся под охраной государства.

Наши данные еще раз подчеркивают важную роль Государственного заповедника «Эребуни» в сохранении биологического разнообразия, который представлен довольно ценной фауной беспозвоночных животных, включающая ряд редких и охраняемых видов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколова В.Е., Сыроечковский Е.Е. (ред.). Заповедники СССР: Заповедники Кавказа. Москва: Мысль, 1990. 365 с.
2. Гандилян П.А., Авакян В.А. Эребунийский заповедник. Ереван: Мин. с/х Армении, 2001. 47 с.
3. Авакян В.А. Эребунийский заповедник диких видов зерновых // Аграрная наука. 2006. N 5. С. 19–22.
4. Восканян В.Е., Арутюнян А.С. Флористический состав Эребунийского заповедника Армянской ССР // Биологический журнал Армении. 1988. Т. 41. N 6. С. 466–473.
5. Саргсян Г.П., Калашян М.Ю., Бадалян Б.Л., Саргсян В.Г. О фауне некоторых семейств жуков Государственного заповедника «Эребуни» // Биологический журнал Армении. 2011. Т. 63. N 1. С. 91–92.
6. Aghasyan A.L., Kalashyan M.Yu. (ed.). The Red Book of Animals of the Republic of Armenia: Invertebrates and Vertebrates. Yerevan: Zangak-97, 2010. 155 p. (In Armenian and English)
7. Nabozhenko M.V., Kalashian M.Yu., Mazmanyan M.A. A faunistic review of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae; excluding Alleculinae) of Armenia and partly the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan with new records and taxonomic notes // Кавказский энтомологический бюллетень. 2021. Т. 17. N 2. С. 425–450. DOI:10.23885/181433262021172-425450
8. Хнзорян С.М. Новые виды жесткокрылых из Армянской ССР и Нах. АССР // Зоологический сборник. Материалы по изучению фауны Армянской ССР. Ереван: изд-во АН Арм. ССР, 1957. Вып. 3. С. 153–183.
9. Марджанян М.А. Фауна Армянской ССР. Щелкуны (Elateridae). Ереван: изд-во АН Арм. ССР, 1987. 204 с.
10. Нарчук Э. П. Определитель семейств двукрылых насекомых фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой фауны). Санкт-Петербург: изд-во Зоологического института РАН, 2003. 253 с.
11. Мамаев Б.М. Эволюция галлообразующих насекомых-галлиц. Ленинград: Наука, 1968. 236 с.
12. Коломоец Т.П., Мамаев Б.М., Зерова М.Д., Нарчук Э.П., Ермоленко В.М., Дьякончук Л.А. Насекомые галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Киев: Наукова думка, 1989. 166 с.
13. Палий В.Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1970, 191 с.
14. Синев С.Ю. (ред.) Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Санкт-Петербург: изд-во Зоологического института РАН, 2019. Издание 2-е. 448 с.
15. Hannemann H.J. Kleinschmetterlinge oder Microlepidoptera II. Die Wickler (s.l.) (Cochylidae und Carposinidae). Die Zünslerartigen (Pyraloidea). Jena: Gustav Fischer, 1964. 401 p.
16. Bleszyński S. Crambinae. Microlepidoptera Palaearctica, Wien: Georg Fromme & Co., 1965. V. 1. 553 p.
17. Шапошников Г.Х. Подотряд Aphidinea - Тли. Определитель насекомых европейской части СССР. Москва: Наука, 1964. С. 489–616.
18. Акрамовский Н.Н. Моллюски. Фауна Армянской ССР. Ереван: изд-во АН Арм. ССР, 1976. 267 с.
19. Sysoev A., Scnileyko A. Land snails and slugs of Russia and adjacent countries. Sofia–Moscow. 2009. P. 1–312.

20. Лихарев И.М., Раммельмейер Е.С. Наземные моллюски фауны СССР. Москва–Ленинград: изд.АН СССР, 1952. 511 с.
21. Mirumian L., Skuhřavá M. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia. New records of occurrence // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2022. V. 85. P. 23–34.
22. Ավետյան Հ.Ս., Մարջանյան Գ.Մ. (խմբ.) Հայաստանի գյուղատնտեսական կուլտուրաների, անտառների և պահեստների վնասատուները. Երևան, ՀՍՍՀ ԳԱ հրատարակչություն, 1976. 831 էջ
23. Հարությունյան Գ.Ա., Հերթևցյան Ե.Կ., Հարությունյան Ռ.Գ. Նոր տվյալներ Հայաստանի լիճների մակաբույծ աֆիդիդների (Hymenoptera, Aphidiidae) վերաբերյալ // Հայաստանի կենսաբանական հանդես, 2013, 3.65, N1. էջ 120–122.

REFERENCES

1. Sokolova V.E., Syroechkovskiy E.E. (ed.). *Zapovedniki SSSR: Zapovedniki Kavkaza* [Reserves of the USSR: Reserves of the Caucasus]. Moscow, Mysl Publ., 1990, 365 p. (In Russian)
2. Gandilyan P.A., Avagyan V.A. *Erebuniiskii zapovednik* [Erebuni Reserve]. Yerevan, Ministry of Agriculture of Armenia Publ., 2001, 47 p. (In Russian)
3. Avakyan V.A. Erebuni Reserve of Wild Grain Species. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science]. 2006, no. 5, pp. 19–22. (In Russian)
4. Voskanyan V.E., Arutyunyan A.S. Floristic composition of the Erebuni Reserve of the Armenian SSR. *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 1988, vol. 41, no. 6, pp. 466–473. (In Russian)
5. Sargsyan G.P., Kalashyan M.Yu., Badalyan B.L., Sargsyan V.G. On the fauna of some families of beetles of the State Reserve «Erebuni». *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 2011, vol. 63, no. 1, pp. 91–92. (In Russian)
6. Aghasyan A.L., Kalashyan M.Yu. (ed.). *The Red Book of Animals of the Republic of Armenia: Invertebrates and Vertebrates*. Yerevan, Zangak-97 Publ., 2010, 155 p. (In Armenian and English)
7. Nabozhenko M.V., Kalashian M.Yu., Mazmanyany M.A. A faunistic review of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae; excluding Alleculinae) of Armenia and partly the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan with new records and taxonomic notes. *Kavkazskiy Entomologicheskii Bulletin*, 2021, vol. 17, no. 2, pp. 425–450. DOI: 10.23885/181433262021172-425450
8. Khnzorian S.M. New species of beetles from the Armenian SSR and Nakh. *ASSR. In: Zoologicheskii sbornik. Materialy po izucheniyu fauny Armyanskoi SSR* [Zoological collection. Materials on the study of the fauna of the Armenian SSR]. Yerevan, AS Arm. SSR Publ., 1957, iss. 3, pp. 153–183. (In Russian)
9. Marjanyan M.A. *Fauna Armyanskoi SSR. Shchelkuni. (Elateridae)* [Fauna of the Armenian SSR. Click beetles (Elateridae)]. Yerevan, AS ArmSSR Publ., 1987, 204 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Мargarit A. Marjanyan проводила определение видового состава собранного материала по жесткокрылым (Coleoptera: Helophoridae, Hydrophilidae, Elateridae). Varuzhan S. Hovhannisyanyan проводил определение собранного материала и анализ полученных данных по двукрылым (Diptera, Chloropidae, Anthomiidae). Людмила С. Мирумян проводила определение видового состава собранного материала по галлицам (Diptera, Cecidomyiidae). Рузанна Г. Арутюнян проводила определение видового состава собранного материала

10. Narchuk E. P. *Opredelitel' semeistv dvukrylykh nasekomykh fauny Rossii i sopredel'nykh stran (s kratkim obzorem semeistv mirovoi fauny)* [Key to the Diptera Families of the Fauna of Russia and Neighboring Countries (with a Brief Review of World Fauna Families)]. St. Petersburg, Zoological Institute RAS Publ., 2003, 253 p. (In Russian)
11. Mamaev B.M. *Evolutsiya galloobrazuyuschikh nasekomykh-gallits* [Evolution of gall-forming gall midges]. Leningrad, Nauka Publ., 1968, 236 p. (In Russian)
12. Kolomoets T.P., Mamaev B.M., Zerova M.D., Narchuk E.P., Yermolenko V.M., Dyakonchuk L.A. *Nasekomiye galloobrazovately kulturnikh i dikorastushchikh rasteniy evropeiskoi chasti SSSR* [Gall forming insects of cultivated and wild growing plants of the European part of the USSR]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989, 166 p. (In Russian)
13. Paliy V.F. *Metodika izucheniya fauny i fenologii nasekomykh* [Methods for studying the fauna and phenology of insects]. Voronezh, Central-Chernozem. book Publ., 1970, 191 p. (In Russian)
14. Sinev S.Yu. (ed.) *Katalog cheshuekrilykh (Lepidoptera) Rossii* [Catalogue of the Lepidoptera of Russia]. St. Petersburg, Zoological Institute RAS Publ., 2019, 2nd ed., 448 p. (In Russian)
15. Hannemann H.J. Kleinschmetterlinge oder Microlepidoptera II. Die Wickler (s.l.) (Cochylidae und Carposinidae). Die Zünslerartigen (Pyraloidea). Jena, Gustav Fischer Publ., 1964, 401 p.
16. Bleszyński S. Crambinae. Microlepidoptera Palaearctica. Wien, Georg Fromme & Co Publ., 1965, vol. 1, 553 p.
17. Shaposhnikov G.Kh. *Podotriad Aphidinea - Tli. Opredelitel' nasekomykh evropeiskoi chasti SSSR* [Aphids. Identifiers of insects of the European part of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 489–616.
18. Akramovskii N.N. *Molluski. Fauna Armianskoi SSR* [Mollusks. Fauna of the Armenian SSR]. Yerevan, AS Arm. SSR Publ., 1976, 267 p. (In Russian)
19. Sysoev A., Scnileyko A. Land snails and slugs of Russia and adjacent countries. Sofia–Moscow. 2009, vol. 87, pp. 1–312.
20. Likharev I.M., Rammelmeyer E.S. *Nazemnyye molluski fauny SSSR* [Terrestrial mollusks of the fauna of the USSR]. Moscow–Leningrad, AS USSR Publ., 1952, 511 p. (In Russian)
21. Mirumian L., Skuhřavá M. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia. New records of occurrence. Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2021, vol. 85, pp. 23–34.
22. Avetyan H.S., Marjanyan G.M. (ed.) *Hayastani gyughatntesakan kulturanneri, antanneri ev pahestneri vnasatunery* [Pests of agricultural crops, forests and warehouses of Armenia]. Yerevan, AS Arm. SSR Publ., 1976, 831 p. (In Armenian)
23. Harutyunyan G.A., Hertevtsyan E.K., Harutyunyan R.G. New data about aphidiid-parasites of aphids (Hymenoptera, Aphidiidae) of Armenia. *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 2013, vol. 65, no.1, pp. 120–122. (In Armenian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Margarit A. Marjanyan carried out the determination of the collected beetles (Coleoptera: Helophoridae, Hydrophilidae, Elateridae). Varuzhan S. Hovhannisyanyan carried out the determination of the collected muscoidae (Diptera, Chloropidae, Anthomiidae). Lyudmila S. Mirumyan carried out the determination of the collected gall-midges (Diptera, Cecidomyiidae). Ruzanna G. Harutyunyan carried out the determination of the collected pyralid moths (Lepidoptera, Gelechiidae, Tortricidae, Pyralidae, Crambidae). Aida A. Avetisyan carried out the determination of the collected

по чешуекрылым (Lepidoptera, Gelechiidae, Tortricidae, Pyralidae, Crambidae). Аида А. Аветисян проводила определение собранного материала по тлям (Hemiptera, Aphididae). Нора Х. Акопян проводила определение собранного материала по медведицам (Lepidoptera, Arctinae). Мамикон Г. Касабян проводил сбор полевого материала на территории заповедника. Лаура Д. Арутюнова, Мадина З. Магомедова, Патимат Д. Магомедова проводили определение видового состава собранного малакофаунистического материала. 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.

aphids (Hemiptera, Aphididae). Nora Ch. Akopyan carried out the determination of the collected arctids (Lepidoptera, Arctinae). Mamikon G. Ghasabyan collected field material in the Erebuni State Reserve Laura D. Harutyunova, Madina Z. Magomedova, Patimat D. Magomedova carried out the determination of the collected malacofaunistic material. 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

Людмила С. Мирумьян / Lyudmila S. Mirumyan <http://orcid.org/0000-0003-2821-9795>
Рузанна Г. Арутюнян / Ruzanna G. Harutyunyan <http://orcid.org/0000-0002-9992-7142>
Маргарит А. Марджанян / Margarit A. Marjanyan <https://orcid.org/0000-0002-5539-2684>
Варужан С. Оганесян / Varuzhan S. Hovhannisyan <http://orcid.org/0000-0002-1029-8379>
Аида А. Аветисян / Aida A. Avetisyan <http://orcid.org/0000-0002-9749-4208>
Нора Х. Акопян / Nora Ch. Akopyan <http://orcid.org/0009-0005-9818-7014>
Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-8425-166>
Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-6072-1094>
Мамикон Г. Касабян / Mamikon G. Ghasabyan <https://orcid.org/0009-0005-7353-1296>
Лаура Дж. Арутюнова / Laura D. Harutyunova <http://orcid.org/0000-0001-7814-657>

Original article / Оригинальная статья
УДК 582.284 (470.67) + 582.29
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-51-63

Alpha diversity of lichenized and aphylloroid fungi in two 1ha forest plots in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia)

Aziz B. Ismailov¹, Sergey V. Volobuev² and Yuliya Yu. Ivanushenko³

¹Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of RAS, Makhachkala, Russia

²Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Aziz B. Ismailov, Candidate of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Introduction and Genetic Resources of Woody plants, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Scientific Centre, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadzhieva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79285664236

Email i.aziz@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0563-0004>

How to cite this article

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

Received 3 October 2023

Revised 23 October 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. The results of the inventory of species composition of epiphytic lichens and aphylloroid fungi on two 1 ha sample plots in lowland floodplain forests are presented. Such integrated studies of these groups of organisms are poorly known. Fungi, including lichenized fungi, are essential components of forest ecosystems. Data on their diversity and substrate distribution can provide important information on the condition and biological value of the forests studied.

Material and Methods. The main method of the fieldwork was the "1-ha method". For the alpha-diversity study, two 1-ha sample plots were established in well-preserved forest areas: the first one in a site of mixed broad-leaved forest with lianas, and the second one in communities dominated by *Carpinus betulus* and *Quercus robur*. The specimens were collected from all variety of woody substrate within plots in spring and autumn 2023.

Results. We have revealed 89 species of lichens and 60 species of aphylloroid fungi. The lichen families *Arthoniaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae*, *Ramalinaceae* and *Roccellaceae* contain 47.2 % of all species. High proportion of lichens with *Trentepohlia* photobiont (29.2 %), significant number of Arthoniomycetes (*Arthoniaceae*, *Lecanographaceae*, *Roccellaceae*) and crustose lichens (75.3 %) have been noted. Among the aphylloroid fungi identified in the sample plots, 11 species are new to Dagestan, including three species (*Antrodia leucaena*, *Coronicium gemmiferum*, *Steccherinum litschaueri*) recorded for the Caucasus for the first time. Fourteen species are new to the Samursky National Park.

Conclusion. The study of alpha diversity and substrate preferences of xylobionts revealed the richest and most specific phorophytes, as well as some ecological features of the surveyed plots. Most of the species were found on the bark and wood of *Carpinus betulus*, *Populus alba* and *Quercus robur*. The majority of species reported for the first time for the region have been recorded on these tree species. We expand the number of known species on *Populus alba*, on which only few species were previously known. High proportion of lichens with the *Trentepohlia* photobiont and the predominance of crustose species were revealed. In terms of basidiomata morphology, corticioid fungi dominated over polypores and clavarioids in general. The leading ecological and trophic group of aphylloroid fungi are saprotrophs. Revealed features indicate a significant contribution of the wood of the main forest-forming tree species to the preservation of the species richness of myco- and lichen biota.

Key Words

Ascomycota, Basidiomycota, biodiversity, broad-leaved forest, Eastern Caucasus, epiphytic lichens, inventory, protected area, wood-inhabiting fungi.

Альфа-разнообразие лихенизированных и афиллофороидных грибов на двух лесных участках площадью 1 га в Самурском национальном парке (Республика Дагестан, Россия)

Азиз Б. Исмаилов¹, Сергей В. Волобуев², Юлия Ю. Иванушенко³

¹Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Азиз Б. Исмаилов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45.

Тел. +79285664236

Email i.aziz@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0563-0004>

Формат цитирования

Ismailov A.B., Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Alpha diversity of lichenized and aphylophoroid fungi in two 1ha forest plots in the Samursky National Park (Republic of Dagestan, Russia) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 51-63. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-51-63

Получена 3 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 23 октября 2023 г.

Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Представлены результаты инвентаризации видового состава эпифитных лишайников и афиллофороидных грибов на двух 1 га пробных площадях в низменных пойменных лесах. Информация об их разнообразии и особенностях субстратной приуроченности может дать важные сведения о состоянии и биологической ценности изучаемых лесов.

Материал и методы. Основным методом полевых работ являлся «метод 1 га». Для исследования альфа-разнообразия были заложены две гектарные пробные площади: первая – на участке смешанного широколиственного леса с лианами, вторая – в сообществах с преобладанием *Carpinus betulus* и *Quercus robur*. Образцы были собраны со всего разнообразия древесного субстрата весной и осенью 2023 года.

Результаты. Выявлено 89 видов лишайников и 60 видов афиллофороидных грибов. Семейства *Arthoniaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae*, *Ramalinaceae* и *Roccellaceae* содержат 47,2 % всех видов лишайников. Отмечена высокая доля лишайников с фотобионтом *Trentepohlia* (29,2 %), значительное количество видов из класса *Arthoniomycetes* (*Arthoniaceae*, *Lecanographaceae*, *Roccellaceae*) и накипных лишайников (75,3 %). Среди афиллофороидных грибов 11 видов являются новыми для Дагестана, в том числе три вида (*Antrodia leucaena*, *Coronicium gemmiferum*, *Steccherinum litschaueri*) приводятся для Кавказа впервые. Четырнадцать видов грибов оказались новыми для Самурского национального парка.

Заключение. Изучение альфа-разнообразия и субстратной приуроченности ксилобионтов выявило наиболее богатые и специфичные флориты, а также некоторые экологические особенности обследованных участков. Большинство видов было обнаружено на *Carpinus betulus*, *Populus alba* и *Quercus robur*. Виды, впервые найденные в регионе, были зарегистрированы также на этих породах деревьев. Увеличилось число известных видов на *Populus alba*, на котором ранее было известно лишь несколько видов. Выявлена высокая доля лишайников с фотобионтом *Trentepohlia* и преобладание накипных лишайников. Преобладающей морфологической группой базидиомицетов являются кортициоидные грибы. Ведущей эколого-трофической группой афиллофороидных грибов являются сапротрофы. Выявленные особенности указывают на значительный вклад древесины основных лесобразующих пород в сохранение видового богатства мико- и лишайниковой биоты.

Ключевые слова

Аскомицеты, базидиомицеты, широколиственные леса, Восточный Кавказ, эпифитные лишайники, инвентаризация, охраняемая территория, деревообитающие грибы.

INTRODUCTION

The forests concentrate a high diversity of organisms. At the same time, forests are mainly subject to anthropogenic degradation. Epiphytic lichens are considered the most reliable indicators of quality and continuous forest development [1–4]. In turn, aphyllorhizoid fungi play a major role in wood decomposition and organic elements cycle in forests. Diversity data of these organisms can provide valuable insights of ecosystem health.

The important component of biodiversity is an alpha diversity which especially informative to identify areas with high ecological interest. The assessment of alpha diversity is required to achieve the most complete view of biodiversity [5]. It is refers to the diversity or species richness within a particular stand, community, habitat, or ecosystem [6]. In our case, alpha diversity refers to the number of different epiphytic lichens and aphyllorhizoid fungi in the Samur forest. This is a unique habitat for many groups of organisms in the Eastern Caucasus among anthropogenically degraded and arid landscapes. There are many Hyrcanian elements, Tertiary relicts and rare species of vascular plants [7].

Comprehensive data on the biodiversity of aphyllorhizoid and lichenized fungi for this unique habitat is absent. Our research expands the knowledge of these important organisms.

In this study, we explore the alpha diversity of epiphytic lichens and aphyllorhizoid fungi in two 1-ha plots in lowland floodplain forests to understand the biodiversity patterns of each group and their ecological preferences.

Study area

The territory of Dagestan has fewer forests than any other region of the Northern Caucasus. Forests cover about 7 % of the republic's territory. Despite this there are various types of forests typical for the Caucasus [8].

In the lowlands, a few forests are concentrated along the coastal strip of rivers and in their deltas. The largest area of the floodplain forests is preserved in the delta of the Samur River on the border with Azerbaijan and on the Caspian Sea coast. Probably, these are the remnants of Hyrcanian forests preserved in a depleted form. This is a unique liana-tugai lowland forest in Russia with a significant number of Hyrcanian elements and a considerable number of rare species. To protect rare and endangered plants and animals, the "Delta Samura" protected area (10133 ha), which is a lowland part of the Samursky National Park, was established.

This area is transitional from temperate to subtropical climate with annual temperature of 12.6°C and the hottest months of July and August (average temperature is 24.5°C). Winter is warm and mild without snow with average temperature of January 1.4°C. Despite the low annual rainfall (400 mm), the high humidity (the relative air humidity is 78 %) is due to a high level of underground springs. In addition, the seaside location, many small rivers in the forest, and the high density of crowns form the conditions of the "greenhouse" effect [9].

The vegetative cover consists of 70 species trees and shrubs and more than 300 species of herbaceous plants, including 14 Tertiary relict species (*Acer laetum* C. A. Mey., *Alnus barbata* C. A. Mey., *Hedera pastuchowii* Woronow, *Prunus caspica* Kovalev et Ekimov, *Pyracantha coccinea* M. Roem., *Pyrus caucasica* Fed., *Vitis sylvestris* C. C. Gmel., etc.) [7; 10].

Open areas along the sea shore and along large delta channels are dominated by *Artemisia*-grasses semi-desert

complexes and psammophilous/halophilous vegetation with the shrubs *Elaeagnus angustifolia* and *Tamarix ramosissima*. The large area of woodlands are formed by hornbeam (*Carpinus betulus* L.) forests without any herbal undergrowth and hornbeam-oak (*Quercus robur* L.) forests with participate of *Acer campestre* L., *Alnus barbata*, *A. incana* (L.) Moench, *Ulmus campestris* L. and various shrubs in the undergrowth (e.g. *Crataegus pentagyna* Walds. et Kit., *C. rhipidophylla* Grand., *Cydonia oblonga* Mill., *Euonymus* spp., *Prunus spinosa* L., *Rosa* spp., *Swida australis* (C. A. Mey.) Pojark. ex Grossh. Some areas are represented by groups of old poplar trees (*Populus alba* L., *P. nigra* L.) up to 30 m at a height and more than 1.5 m in diam.

Distinctive feature of the Samur forest is lianas, which are most developed in open areas (*Humulus lupulus* L., *Clematis orientalis* L., *Lonicera caprifolium* L., *Smilax excelsa* L.) or under forest canopy (*Clematis vitalba* L., *Hedera pastuchowii*, *Periploca graeca* L., *Vitis sylvestris*).

MATERIALS AND METHODS

The specimens of epiphytic lichens (include lichenicolous and non-lichenized saprophytic fungi) and aphyllorhizoid fungi were collected from two 1-ha plots in the Samursky National Park (Fig. 1) in May and October 2023. The 1-ha method has been described in detail in previous works [11; 12]. For a survey of alpha diversity, two plots were selected in well-preserved old-growth forests: 1 – in mixed broad-leaved forest area with *Acer campestre*, *Alnus incana*, *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Corylus avellana*, *Crataegus pentagyna*, *Mespilus germanica*, *Populus alba*, *Quercus robur*, which trunks are strongly shaded by lianas *Clematis vitalba*, *Hedera pastuchowii*, *Vitis sylvestris*; 2 – in forest area dominated by *Carpinus betulus* and *Quercus robur*. Detailed characterization of investigated plots is described below.

The specimens were collected during two days per plot. All variety of woody substrates was studied – dry and fallen branches, deadwood, logs, snags, stumps, fallen and standing trunks, etc. Morphological and microscopic investigations of specimens were done 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 aphyllorhizoid 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 plots

1. Russia, Eastern Caucasus, Republic of Dagestan, Magaramkentsky district, Samursky National Park ("Delta Samura" area), 41.879067° N, 48.519098° E, alt. –20 m above the sea level, 06.05.2023–09.05.2023. 1-ha plot in the mixed broad-leaved forest (Fig. 2). Dominated tree species: *Carpinus betulus*, *Populus alba*, *Quercus robur* (sporadically). The second tree layer: *Acer campestre*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*. Undergrowth: *Cornus mas*, *Corylus avellana*, *Crataegus pentagyna*, *Mespilus germanica* and lianas *Clematis vitalba*, *Hedera pastuchowii*, *Periploca graeca*, *Smilax excelsa*, *Vitis sylvestris*. Herbal layer: *Euphorbia amygdaloides*, *Lonicera caprifolium*. Average height and diameter of dominated trees: *Carpinus betulus* – 14 m, 25 cm, *Populus alba* – 16 m, 45 cm. The relief of the plot is with deep ravines.

2. Russia, Eastern Caucasus, Republic of Dagestan, Magaramkentsky district, Samursky National Park ("Delta Samura" area), 41.82141° N, 48.527147° E, alt. 10 m above

the sea level, 26.10.2023–29.10.2023. 1-ha plot in hornbeam-oak forest (Fig. 3). Dominated tree species: *Carpinus betulus*, *Quercus robur*. The second tree layer: *Acer campestre*, *Crataegus pentagyna*, *Pyrus caucasica* (sporadically). Undergrowth: *Crataegus pentagyna*,

Cydonia oblonga, *Mespilus germanica*, *Prunus divaricata*. Herbal layer: *Euphorbia amygdaloides* with participate of gramineae. Average height and diameter of dominated trees: *Carpinus betulus* – 14–16 m, 30 cm, *Quercus robur* – 14–16 m, 40–60 cm. The relief of the plot is flat.



Figure 1. Location of the studied sample plots within Dagestan

Рисунок 1. Местоположение изученных пробных площадок на карте Дагестана



Figure 2. Forest area of the first 1ha plot

Рисунок 2. Участок леса на первой 1га пробной площади



Figure 3. Forest area of the second 1ha plot

Рисунок 3. Участок леса на второй 1га пробной площади

RESULTS AND DISCUSSION

In total, 89 species from 58 genera of lichens (Ascomycota) and 60 species from 50 genera of aphylloporoid fungi (Basidiomycota) have been revealed in two surveyed plots (Table). Among the total list of lichens 20 species were not recorded within the first plot and 28 species were not observed at the second site. For both plots, 41 lichen species are common (the Sørensen similarity index is 0.63). For aphylloporoid fungi, more significant differences

between species composition in two plots have been identified (the Sørensen similarity index is 0.38). Only 14 aphylloporoid fungi species are common to both sites. At the same time, 32 of 46 fungal species are unique for the first plot, and a half of species (14 of 28 species) registered within the second plot were found only there. Our species list includes species and genera new to the Republic of Dagestan and to the Caucasus. Detailed information on new records is presented below.

Table. List of revealed species of epiphytic lichens and aphylloporoid fungi

Таблица. Список выявленных эпифитных лишайников и афиллофороидных грибов

Species Виды	Plot 1 / Площадка 1	Plot 2 / Площадка 2
	Substrate (Herb. No.) Субстрат (гербарный номер)	Substrate (Herb. No.) Субстрат (гербарный номер)
Lichens (incl. lichenicolous and non-lichenized fungi) Лишайники (включая лишенофильные и нелихенизированные грибы)		
<i>Acrocordia cavata</i> (Ach.) R.C. Harris	Pop (DAG 1506)	Que, Car.
<i>Acrocordia gemmata</i> (Ach.) A. Massal.	Ace, Aln, Car, Pop	Car, Mes, Que
<i>Alyxoria varia</i> (Pers.) Ertz & Tehler	Ace, Aln, Car, Cor, Pop, Que	Car, Pop, Que (DAG 1476)
<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins & Scheid.		Que
<i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Körb.		Car, Que
<i>Anaptychia setifera</i> (Mereschk.) Räsänen		Car
<i>Anisomeridium polypori</i> (Ellis & Everh.) M.E. Barr	Car (DAG 1494)	Pop, Que
<i>Arthonia atra</i> (Pers.) A. Schneid.	Ace, Aln, Cor, Pop, Que (DAG 1483)	Car, Corn, Mes, Pop, Que
<i>Arthonia radiata</i> (Pers.) Ach.		Que
<i>Arthothelium spectabile</i> A. Massal.	Ace (DAG 1475), Car	Car (DAG 1493), Que
<i>Athallia pyracea</i> (Ach.) Arup, Frödén & Sjøchting		Que
<i>Bacidia fraxinea</i> Lönnr.		Pop
<i>Bacidia polychroa</i> (Th. Fr.) Körb.	Ace (DAG 1479), Aln, Car, Pop (DAG 1503)	Car (DAG 1495)
<i>Bacidia rubella</i> (Hoffm.) A. Massal.	Ace, Pop (DAG 1500)	Car, Que
<i>Bacidina delicata</i> (Larbal. ex Leight.) V. Wirth & Vězda	Car	
<i>Bacidina phacodes</i> (Körb.) Vězda	Ace (DAG 1482), Car, Pop (DAG 1499), Que	Car
<i>Bactrospora dryina</i> (Ach.) A. Massal.	Aln, Que	Que (DAG 1488)
<i>Calicium glaucellum</i> Ach.		Que log
<i>Calicium salicinum</i> Pers.	Que stump	Que log
<i>Caloplaca cerina</i> (Hedw.) Th. Fr.	Ace, Cor	Car, Mes, Que

<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	Car	
<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	Pop	
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau		Que
<i>Catillaria nigroclavata</i> (Nyl.) Schuler	Que	
<i>Chaenotheca brunneola</i> (Ach.) Müll. Arg.	Que stump (DAG 1473)	Que log (DAG 1492)
<i>Chaenotheca furfuracea</i> (L.) Tibell	Que	
<i>Chaenotheca trichialis</i> (Ach.) Hellb.	Que stump	
<i>Chaenothecopsis pusilla</i> (Ach.) Alb. Schmidt		Que log
<i>Cladonia chlorophaea</i> (Flörke ex Sommerf.) Spreng.		Que log
<i>Cladonia coniocraea</i> (Flörke) Spreng.	Que stump (DAG 1472)	Que, Que log
<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.	Que stump	
<i>Cladonia pyxidata</i> (L.) Hoffm.	Que stump	
<i>Cladonia ramulosa</i> (With.) J.R. Laundon	Que stump (DAG 1491)	
<i>Dendrographa decolorans</i> (Turner & Borrer) Ertz & Tehler	Pop (DAG 1504)	Pop (DAG 1511)
<i>Diarrhizonis spadicea</i> (Leight.) Frisch, Ertz, Coppins & P.F. Cannon	Aln (DAG 1485), Car (DAG 1496)	Que
<i>Diploicia canescens</i> (Dicks.) A. Massal.	Que (DAG 1505)	
<i>Dirina ceratoniae</i> (Ach.) Fr.	Pop (DAG 1512)	
<i>Enterographa crassa</i> (DC.) Fée	Car, Que	Que
<i>Enterographa hutchinsiae</i> (Leight.) A. Massal.	Aln (DAG 1486), Car, Pop (DAG 1501), Que (DAG 1490)	
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale		Car, Que
<i>Glaucumaria carpinea</i> (L.) S.Y. Kondr., Lőkös & Farkas	Car, Que	
<i>Glaucumaria leptyroides</i> (G.B.F. Nilsson) S.Y. Kondr., Lőkös & Farkas	Ace (DAG 1497), Car, Que	Mes
<i>Graphis betulina</i> (Pers.) Gray	Car	
<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach. s. lat.	Ace, Aln, Car	Car, Mes, Que
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	Car	Car, Que
<i>Inoderma byssaceum</i> (Weigel) Gray	Que	
<i>Lecania fuscella</i> (Schaer.) A. Massal.	Pop (DAG 1507)	
<i>Lecania naegellii</i> (Hepp) Diederich & Van den Boom		Car, Que
<i>Lecanographa lyncea</i> (Sm.) Egea & Torrente	Que (DAG 1502)	
<i>Lecanora argentata</i> (Ach.) Malme	Car	
<i>Lecanora glabrata</i> (Ach.) Malme	Car	
<i>Lecanora saligna</i> (Schrader.) Zahlbr.		Que log
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	Ace, Aln, Car	Car
<i>Lecidella euphorea</i> (Flörke) Hertel		Car
<i>Lecidella laureri</i> (Hepp) Körb.	Ace	
<i>Lepraria finkii</i> (Hue) R.C. Harris	Car, Que	Que, Que log
<i>Leptosillia wienkampii</i> (J. Lahm ex Hatzl.) Voglmayr & Jaklitsch	Pop, Que	Que
<i>Melanelixia subaurifera</i> (Nyl.) O. Blanco & al.		Car, Que log
<i>Micarea prasina</i> Fr.	Que stump (DAG 1489)	Que log
<i>Milospium graphideorum</i> (Nyl.) D. Hawksw.	On <i>Graphis scripta</i> growing on Ace, Aln, Car	On <i>Graphis scripta</i> growing on Car, Pop
<i>Mycocalicium subtile</i> (Pers.) Szatala	Que stump	Que log
<i>Opegrapha vermicellifera</i> (J. Kunze) J.R. Laundon	Ace (DAG 1480), Car, Pop	Car, Pop, Que
<i>Opegrapha vulgata</i> (Ach.) Ach.	Que	
<i>Pachnolepia pruinata</i> (Pers.) Frisch & G.Thor	Car	
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	Car	Car, Que log
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale		Car, Que log
<i>Peridiothelia fuliguneta</i> (Norman) D. Hawksw.	Aln (DAG 1487), Pop	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg	Que	Car, Corn, Mes, Que
<i>Phlyctis agelaea</i> (Ach.) Flot.	Ace, Car	Car, Mes
<i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot.	Car	Car
<i>Physcia adscendens</i> H. Olivier	Ace, Aln, Cor	Car, Mes
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Füllr.	Que	Car
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC.		Car
<i>Physconia distorta</i> (With.) J. R. Laundon	Car	Que
<i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	Que	Que
<i>Placynthiella dasaea</i> (Stirt.) Tønnsberg		Que log
<i>Placynthiella icmalea</i> (Ach.) Coppins & P. James	Que stump	
<i>Porina aenea</i> (Wallr.) Zahlbr.	Ace (DAG 1474), Aln, Car, Cor, Pop	Car, Mes, Que
<i>Pyrenula chlorospila</i> Arnold	Ace (DAG 1477), Aln, Car, Cor, Que	Car, Mes
<i>Pyrenula nitida</i> (Weigel) Ach.		Car, Que
<i>Pyrenula nitidella</i> (Schaer.) Müll. Arg.	Aln	Car
<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	Car	Car, Que, Que log
<i>Ramalina pollinaria</i> (Westr.) Ach.	Car, Que	Car
<i>Scutula effusa</i> (Auersw. ex Rabenh.) Kistenich, Timdal, Bendiksby & S. Ekman	Pop (DAG 1498)	
<i>Strigula glabra</i> (A. Massal.) V. Wirth	Car	

<i>Toniniopsis subincompta</i> (Nyl.) Kistenich, Timdal, Bendiksby & S. Ekman s. lat.	Pop (DAG 1508)	
<i>Tornabea scutellifera</i> (With.) J.R. Laundon		Car
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	Ace, Car, Cor, Pop	Car, Corn, Mes, Pop, Que
<i>Zwackhia viridis</i> (Ach.) Poetsch & Schied.	Car	
Total: 89 species Итого: 89 видов	Total: 69 species Всего: 69 видов Ace – 19, Aln – 15, Car – 34, Cor – 7, Pop – 19, Que – 21, Que stump – 10	Total: 61 species Всего: 61 вид Car – 36, Corn – 3, Mes – 11, Pop – 8, Que – 31, Que log – 15
Aphylophoroid fungi / Афиллофороидные грибы		
<i>Amaurodon viridis</i> (Alb. et Schwein.) J. Schröt.		Que
<i>Antrodia hyalina</i> Spirin, Miettinen et Kotir.	Pop (LE F-348117)	
<i>Antrodia leucaena</i> Y.C. Dai et Niemelä	Pop (LE F-348102)	
<i>Artomyces pyxidatus</i> (Pers.) Jülich	Pop	
<i>Athelia bombacina</i> (Link) Pers.	Pop (LE F-348108)	
<i>Athelia decipiens</i> (Höhn. et Litsch.) J. Erikss.	Pop (LE F-348134)	Car (LE F-348145)
<i>Auricularia mesenterica</i> (Dicks.) Pers.	Car	
<i>Bjerkandera fumosa</i> (Pers.) P. Karst.	Car	Que (LE F-348111)
<i>Botryobasidium isabellinum</i> (Fr.) D.P. Rogers	Pop (LE F-348116, LE F-348141)	Car (LE F-348146, LE F-348151)
<i>Botryobasidium subcoronatum</i> (Höhn. et Litsch.) Donk	Que (LE F-348124), Pop (LE F-348130)	
<i>Byssomerulius corium</i> (Pers.) Parmasto	Car	Car
<i>Coronicium gemmiferum</i> (Bourdote et Galzin) J. Erikss. et Ryvarden		Que (LE F-348103)
<i>Daedalea quercina</i> (L.) Pers.		Que
<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt.	Aln	
<i>Efibula tuberculata</i> (P. Karst.) Zmitr. et Spirin	Pop (LE F-348125)	Car
<i>Etheiroidon fimbriatum</i> (Pers.) Banker		Que
<i>Fibradontia gossypina</i> Parmasto	Pop (LE F-348101, LE F-348121)	
<i>Fistulina hepatica</i> (Schaeff.) With.		Que
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.	Car	Car
<i>Funalia trogii</i> (Berk.) Bondartsev et Singer	Pop	
<i>Fuscoporia ferruginosa</i> (Schröd.) Murrill	Pop (LE F-348136)	
<i>Fuscoporia torulosa</i> (Pers.) T. Wagner et M. Fisch.	Car, Que (LE F-348143)	Que
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	Car	
<i>Gloeoporus pannocinctus</i> (Romell) J. Erikss.	Car	Car
<i>Gloiothle lactescens</i> (Berk.) Hjortstam	Pop (LE F-348112)	
<i>Heteroradulum deglubens</i> (Berk. et Broome) Spirin et Malysheva	Pop (LE F-348104)	
<i>Hymenochaete rubiginosa</i> (Dicks.) Lév.	Que	Que
<i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr.	Que (LE F-348144)	
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill		Que
<i>Lyomyces crustosus</i> (Pers.) P. Karst.	Cor (LE F-348128)	
<i>Lyomyces sambuci</i> (Pers.) P. Karst.	Cle (LE F-348110, LE F-348115)	
<i>Neofavolus alveolaris</i> (DC.) Sotome et T. Hatt.	Car	
<i>Oxyporus corticola</i> (Fr.) Ryvarden	Pop (LE F-348133)	
<i>Peniophora cinerea</i> (Pers.) Cooke		Car
<i>Peniophora laeta</i> (Fr.) Donk		Car
<i>Peniophorella praetermissa</i> (P. Karst.) K.H. Larss.	Cor (LE F-348129)	
<i>Peniophorella pubera</i> (Fr.) P. Karst.	Pop (LE F-348119, LE F-348131)	Car
<i>Phaeophlebiopsis ravenelii</i> (Cooke) Zmitr.		Que
<i>Phanerochaete livescens</i> (P. Karst.) Volobuev et Spirin	Cor (LE F-348139)	Que (LE F-348150), Car
<i>Phellinus tremulae</i> (Bondartsev) Bondartsev et P.N. Borisov	Pop	
<i>Picipes badius</i> (Pers.) Zmitr. et Kovalenko	Car	
<i>Plicaturopsis crispa</i> (Pers.) D.A. Reid	Cor (LE F-348142)	
<i>Porostereum spadiceum</i> (Pers.) Hjortstam et Ryvarden		Que (LE F-348113)
<i>Postia lactea</i> (Fr.) P. Karst.	Pop (LE F-348135)	
<i>Rigidoporus ulmarius</i> (Sowerby) Imazeki	Pop	
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	Car	Car
<i>Sistotrema oblongisporum</i> M.P. Christ. et Hauerslev	Car (LE F-348105)	
<i>Sistotrema resinicystidium</i> Hallenb.	Pop (LE F-348140)	
<i>Steccherinum litschaueri</i> (Bourdote et Galzin) J. Erikss.	Cor (LE F-348107), Cle (LE F-348114)	
<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	Car (LE F-348122), Cor (LE F-348137)	Que
<i>Subulicystidium longisporum</i> (Pat.) Parmasto	Pop (LE F-348118, LE F-348120, LE F-348132)	
<i>Thanatephorus ochraceus</i> (Masse) P. Roberts	Pop (LE F-348109)	
<i>Tomentella subliacina</i> (Ellis et Holw.) Wakef.		Car (LE F-348147)
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd		Que
<i>Trechispora farinacea</i> (Pers.) Liberta	Que (LE F-348127)	
<i>Trechispora microspora</i> (P. Karst.) Liberta	Que (LE F-348126)	
<i>Trichaptum biforme</i> (Fr.) Ryvarden		Car

Vuilleminia coryli Boidin, Lanq. et Gilles	Cor (LE F-348106)	Que (LE F-348149)
<i>Xylodon quercinus</i> (Pers.) Gray		Que (LE F-348148), Car
<i>Xylodon raduloides</i> Riebesehl et Langer	Car (LE F-348123), Cor (LE F-348138)	
Total: 60 species Итого: 60 видов	Total: 46 species Всего: 46 видов Aln – 1, Car – 13, Cle – 2, Cor – 8, Pop – 21, Que – 2, Que stump – 4	Total: 28 species Всего: 28 видов Car – 14, Que – 16

Note / Примечание: Ace – *Acer campestre*, Aln – *Alnus incana*, Car – *Carpinus betulus*, Cle – *Clematis vitalba*, Corn – *Cornus mas*, Cor – *Corylus avellana*, Mes – *Mespilus germanica*, Pop – *Populus alba*, Que – *Quercus robur*

New records of lichens

Cladonia ramulosa (With.) J.R. Laundon (Fig. 4A) – new species to the Eastern Caucasus. This is a lichen of predominantly temperate and southern boreal zones. Most common in areas with humid-warm climate. In Russia, the species is known from the European Arctic to the south of Far East [13]. The specimen was found on the first 1-ha plot in mixed broad-leaved part of the forest on *Quercus* stump among bryophytes.

Diploicia canescens (Dicks.) A. Massal. (Fig. 4B) – new species and genus to the Republic of Dagestan. A mainly Mediterranean-Atlantic species known within Russia from southern regions – Southern Siberia and the Caucasus [13]. The specimen was found on the first 1-ha plot in mixed broad-leaved part of the forest where grows as epiphyte on *Quercus robur*.

New records of aphyllophoroid fungi

Antrodia leucaena Y.C. Dai et Niemelä – new species to the Caucasus. This polypore fungus was initially described from northern China, but later the species was found in Finland and in several regions of the European part of Russia [14]. European collections from *Populus tremula* wood agree with our specimen collected from fallen branches of *Populus alba* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Athelia bombacina (Link) Pers. – new species to the Republic of Dagestan. One of widespread species of corticioid fungi. The fungus grows on both deciduous and coniferous woody debris as well as on dead ferns [15]. The specimen was collected from the fallen trunk of *Populus alba* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Bjerkandera fumosa (Pers.) P. Karst. – new species to the Republic of Dagestan. The species is widely distributed within the Northern Hemisphere but is uncommon. It develops basidiomata on a wide range of deciduous tree species. In the Northern Caucasus, the species was registered for Krasnodar Krai [16] and the Kabardino-Balkarian Republic [17]. The specimens from the Samursky National Park were collected from the fallen trunk of *Carpinus betulus* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest and from the dry standing tree of *Quercus robur* in the second 1-ha plot in hornbeam-oak forest.

Coronicium gemmiferum (Bourdot et Galzin) J. Erikss. et Ryvarden – new species and new genus to the Caucasus. This rare and little-collected species was previously known in Russia only from the Republic of Karelia [18] and Nizhny Novgorod Oblast [19]. According to J. Eriksson and L. Ryvarden [20], the species has mainly southern distribution and can be considered as thermophilic. Our specimen (Fig. 5) was collected from fallen branches of *Quercus robur* in the second 1-ha plot in hornbeam-oak forest.

Gloiothele lactescens (Berk.) Hjortstam – new species to the Republic of Dagestan. The fungus mostly grows on decorticated trunks and stumps of deciduous wood, and it is quite common in Europe. K.H. Larsson and L. Ryvarden [21] suppose that this species seems to prefer moist forest conditions. In the Caucasus, *G. lactescens* is listed for Krasnodar Krai as well as for Armenia, Azerbaijan, and Iran

[22]. The specimen was collected from the fallen trunk of *Populus alba* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Heteroradulum deglubens (Berk. et Broome) Spirin et Malysheva – new species to the Republic of Dagestan. The species has a wide distribution stretching from the Mediterranean to the subarctic zone in Europe. In the Northern Caucasus, *H. deglubens* was recorded from the Kabardino-Balkarian Republic [23], the Karachay-Cherkess Republic, and Krasnodar Krai [24]. The favorable substrata are thin, dry, still attached branches of deciduous trees although some records are known from still standing or recently fallen logs [24]. Our specimen was collected from fallen branches of *Populus alba* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Lyomyces sambuci (Pers.) P. Karst. – new species to the Republic of Dagestan. This corticioid fungus is known for mycologists as a broad cosmopolitan morphospecies presented by a species group or species complex [25]. The species occurs on many different substrata, mostly on deciduous wood more rarely on conifers [26]. The closest to the Republic of Dagestan localities of *L. sambuci* are known in the Chechen Republic [27] and in Azerbaijan [22]. The specimens from the Samursky National Park were collected from dry hanging and fallen shoots of *Clematis vitalba* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Porostereum spadiceum (Pers.) Hjortstam et Ryvarden – new species to the Republic of Dagestan. This wood-inhabiting fungus is quite common species in Europe, in particular, widely distributed in Central and Southern Europe, and it is known in the Caucasus [22]. Among adjacent to the Republic of Dagestan regions, this species was revealed in the Chechen Republic [27]. The species prefers to grow on dead wood of deciduous trees, especially on broadleaves (*Acer*, *Fagus*, *Quercus*, *Ulmus*) [26]. Our specimen was collected from fallen branches of *Quercus robur* (Fig. 6, A) in the second 1-ha plot in hornbeam-oak forest.

Sistotrema oblongisporum M.P. Christ. et Hauerslev – new species to the Republic of Dagestan. The species is a widespread and frequent, which usually grows on smooth bark of only slightly decayed, fallen or hanging branches of deciduous trees [28]. Such plant genera, as *Acer*, *Alnus*, *Betula*, *Populus*, *Prunus*, *Quercus*, *Sorbus*, *Pinus*, and some others, have been registered as substrata for the species in Russia [29]. In the Caucasus, this species was previously found in Krasnodar Krai [30]. The specimen was collected from the fallen trunk of *Carpinus betulus* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Steccherinum litschaueri (Bourdot et Galzin) J. Erikss. – new species to the Caucasus. A. Bernicchia and S.P. Gorjón [26] note that the species is uncommon in Europe. In Russia, *S. litschaueri* is known based on sporadic findings from the European part, the Urals, and Siberia. This hydroid fungus develops basidiomata on both coniferous and deciduous wood. Our specimens were collected from fallen shoots of *Clematis vitalba* and dry standing stems of *Corylus avellana* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

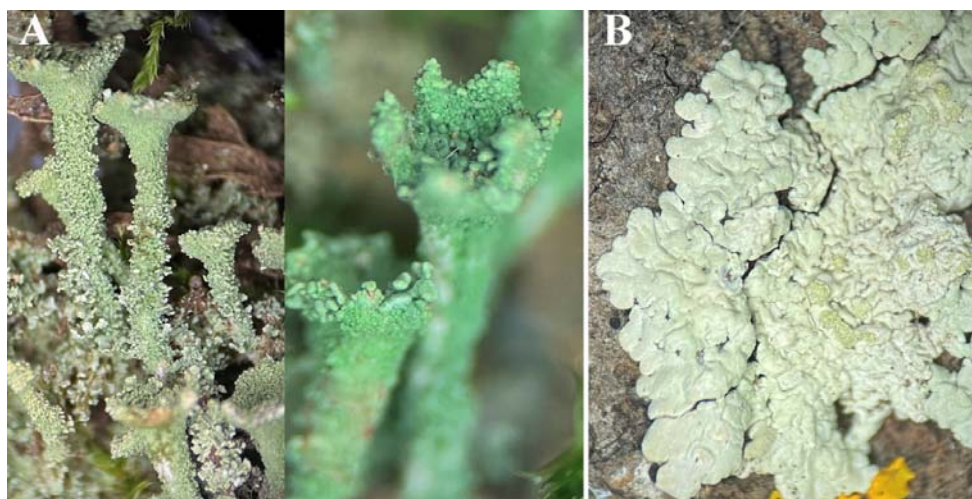


Figure 4. *Cladonia ramulosa* (A) and *Diploicia canescens* (B)
Рисунок 4. *Cladonia ramulosa* (A) и *Diploicia canescens* (B)

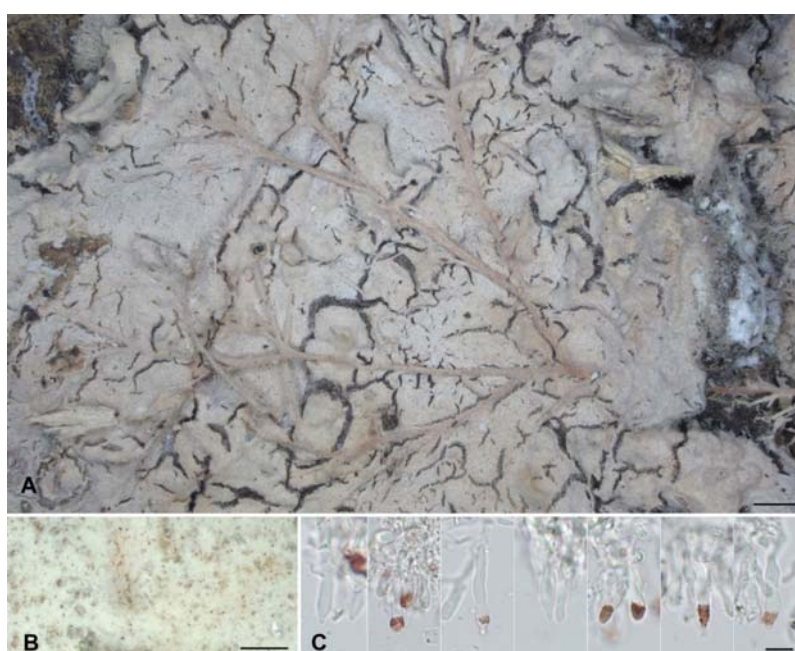


Figure 5. *Coronicium gemmiferum* (LE F-348103): basidioma with rhizomorphs (A), hymenophore part dotted by encrusted cystidia (B), and fusiform cystidia naked and with cap-like brown encrustation (C).
 Scale bars: 1 mm (A), 100 μ m (B), 10 μ m (C)

Рисунок 5. *Coronicium gemmiferum* (LE F-348103): базидиома с ризоморфами (A), фрагмент гименофора с точечными вкраплениями от инкрустированных цистид (B), и веретеновидные цистиды, гладкие и с колпачковидной коричневой инкрустацией (C). Масштабные линейки: 1 мм (A), 100 мкм (B), 10 мкм (C)



Figure 6. Basidiomata of *Porostereum spadiceum* (LE F-348113) (A) and *Rigidoporus ulmarius* (B). Scale bars: 1 cm (A), 10 cm (B)
Рисунок 6. Базидиомы *Porostereum spadiceum* (LE F-348113) (A) and *Rigidoporus ulmarius* (B).
 Масштабные линейки: 1 см (A), 10 см (B)

Vuilleminia coryli Boidin, Lanq. et Gilles – new species to the Republic of Dagestan. The species is infrequent in some localities, but not rare, and despite its species epithet, it is able to grow on dead but still attached branches of *Corylus avellana*, as well as *Fraxinus*, *Ostrya*, *Quercus*, *Ulmus* [22; 26]. In the Caucasus, this corticioid fungus is registered for the Karachay-Cherkess Republic [22], Krasnodar Krai [30], and outside Russia in Armenia, Iran, and Turkey [22]. The specimen was collected from fallen branches of *Corylus avellana* in the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest.

Almost all of species new to the Republic of Dagestan were collected within the first 1-ha plot in mixed broad-leaved forest, with an exception for *Porostereum spadiceum* found on *Quercus robur* in the second 1-ha plot in hornbeam-oak forest.

Lichens

Most of epiphytic lichens were found within two plots on bark of *Carpinus betulus* (34 and 36 species) and *Quercus robur* (21 and 31 species). Moreover, these phorophytes are substrata for “specific” lichens, not observed on other trees and shrubs on the plots. There are 13 such species (e.g. *Anaptychia setifera*, *Bacidina delicata*, *Graphis betulina*, *Pachnolepia pruinata*, *Tornabea scutellifera*) on *Carpinus betulus*, and 11 species (e.g. *Chaenotheca furfuracea*, *Diploicia canescens*, *Inoderma byssaceum*, *Lecanographa lyncea*, *Opegrapha vulgata*) on *Quercus robur*. In the first plot, 19 species each were recorded on *Acer campestre* and *Populus alba*. A total of 10 epixylic species (*Calicium salicinum*, *Chaenotheca brunneola*, *C. trichialis*, *Cladonia coniocraea*, *C. fimbriata*, *C. pyxidata*, *C. ramulosa*, *Micarea prasina*, *Mycocalicium subtile*, *Placynthiella icmalea*) were identified here on the dead wood of rotten *Quercus robur* stumps. *Alnus incana* and *Corylus avellana* are less diverse in lichens (15 and 7 species, respectively). In the second plot, low lichen diversity was also noted for single trees of *Cornus mas* (3 species), *Mespilus germanica* (11 species), *Populus alba* (8 species). Epixylic lichens here are more diverse. A total of 15 species were found on the dead wood of *Quercus robur* logs (e.g. *Calicium glaucellum*, *C. salicinum*, *Chaenotheca brunneola*, *Chaenothecopsis pusilla*, *Lecanora saligna*, *Micarea prasina*, *Mycocalicium subtile*, *Placynthiella dasaea*).

High diversity of lichens was revealed in the families of *Ramalinaceae* (11 species in total: 9 species in the first plot, 7 in the second plot), *Physciaceae* (10: 10, 6), *Lecanoraceae* (8: 6, 4), *Roccellaceae* (7: 7, 4), *Arthoniaceae* (6: 5, 4), which contain 47.2 % (42 species) of all species. Genera with three or more species include *Cladonia* (5), *Lecanora* (4) and *Bacidia*, *Chaenotheca*, *Lecidella*, *Physcia*, *Pyrenula*, which comprise three species each.

The most common species of lichens in studied plots are *Acrocordia gemmata*, *Alyxoria varia*, *Arthonia atra*, *Arthothelium spectabile*, *Bacidina phacodes*, *Graphis scripta*, *Lecidella elaeochroma*, *Milospium graphideorum*, *Opegrapha vermicellifera*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Phlyctis agelaea*, *Physcia adscendens*, *Porina aenea*, *Pyrenula chlorospila*, *Xanthoria parietina*. However, there are more valuable and rare species, e.g., *Bactrospora dryina*, *Dendrographa decolorans*, *Diarthronis spadicea*, *Inoderma byssaceum*, *Lecanographa lyncea*, *Pachnolepia pruinata*.

The ecological features of surveyed plots are reflected in the ratio of the number of lichen species with different growth forms and photobiont type. In general, we notice a low proportion of foliose and fruticose lichens within two plots (24.7 %). Lichen crusts are predominant, with 75.3 % of species. The total ratio of crustose species to foliose and fruticose is 3:1 (4.75:1 in the first plot, 2.6:1 in the second

plot). Fruticose and foliose lichens in the studied plots are presented by representatives of genera *Anaptychia*, *Cladonia*, *Flavoparmelia*, *Hyperphyscia*, *Melanelixia*, *Parmelia*, *Parmelina*, *Phaeophyscia*, *Physcia*, *Physconia*, *Ramalina*, *Tornabea*, and *Xanthoria*. These species occur locally in open habitats or mainly on tree tops. The dense crown and low light exposure under the forest canopy is probably a factor responsible for the low proportion of foliose and fruticose lichens in the plots. Species with photobiont of green globose cells are prevail. Species with a green globular cell photobiont are predominant. Lichens with *Trentepohlia* are 29.2 %.

The high proportion of lichens with *Trentepohlia* photobiont, as well as the significant number of Arthoniomycetes (*Arthoniaceae*, *Lecanographaceae* and *Roccellaceae*) and crustose lichens are character features for warm lowland floodplain broad-leaved forests.

Aphylloroid fungi

Altogether 60 aphylloroid fungi species belonging to 50 genera, 26 families and 11 orders of Agaricomycetes (Basidiomycota) have been identified within two studied plots. Most fungal species are related to the orders *Polyporales* (23 species) and *Hymenochaetales* (12 species), followed by the orders *Cantharellales* and *Russulales* with five species each. The predominance of these orders in the taxonomic structure is a typical pattern for forest ecosystems. Among aphylloroid fungi species registered during this research, 11 species are new to the Republic of Dagestan, including three species (*Anrodia leucaena*, *Coronicium gemmiferum*, *Steccherinum litschaueri*) recorded for the Caucasus for the first time. Moreover, 14 species (*Artomyces pyxidatus*, *Athelia decipiens*, *Funalia trogii*, *Irpex lacteus*, *Peniophora cinerea*, *Phellinus tremulae*, *Picipes badius*, *Plicaturopsis crispa*, *Schizophyllum commune*, *Thanatephorus ochraceus*, *Tomentella sublilacina*, *Trechispora farinacea*, *T. microspora*, *Xylodon quercinus*) are new to the Samursky National Park. Previously, these species were found for the Republic of Dagestan as a result of mycological investigations carried out on protected forest areas of the Tlyaratinsky Zakaznik (Tlyaratinsky District) and the Verkhniy Gunib Nature Park (Gunibsky District) [31–35]. In addition, the finding of *Rigidoporus ulmarius* (Fig. 6, B) on drying broad-trunked tree of *Populus alba* at the first plot is noteworthy. This species has a central and southern distribution in Europe, preferring mild winter temperature, and grows on deciduous trees, preferably on *Ulmus* and *Populus*, causing a white heart rot resulting at large cavities inside the trunk [36]. Earlier, *R. ulmarius* was collected on poplar in the forest on bank of the Samur River in 1979, and it was introduced in pure culture. Currently, the strain LE-BIN 0652 *R. ulmarius* is maintained in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection (St. Petersburg). The nearest to the Republic of Dagestan findings of this species are known from Krasnodar Region [37] and the Republic of Crimea [38], and from Transcaucasia (Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran) [22].

The most common species of aphylloroid fungi within studied plots are *Botryobasidium isabellinum*, *Fuscoporia torulosa*, *Hymenochaete rubiginosa*, *Stereum hirsutum*, *Subulicystidium longisporum*, *Xylodon raduloides*, noted based on the maximum of observations and collected specimens. All of these species, except for *Subulicystidium longisporum*, were revealed at both plots.

In terms of basidiomata morphology, corticioid fungi, represented by 36 species, dominated over polypores (23 species) and clavarioids (one species, *Artomyces pyxidatus*) in general. The ratio of the number of poroid and corticioid

fungi species did not differ significantly for both 1-ha plots (0.56–0.67), but more species with poroid hymenophore were recorded at the first plot dominated by *Populus alba* and *Carpinus betulus* (18 polypore species vs. 10 polypore species at the second plot). It seems to be explained in part by the conditions of higher stable moisture content in the first forest plot. On the other hand, the second plot dominated by *Carpinus betulus* and *Quercus robur* was characterized by low diversity and small volume of dead wood (Fig. 3), which could be an expected substrate for the development of xylotrophic fungi.

The leading ecological and trophic group of aphylloroid fungi revealed are saprotrophs developing on dead wood of the main forest-forming tree species. The highest number of xylotrophic fungi species was recorded on *Populus alba* (21 species) and *Carpinus betulus* (13 species) wood in the first plot, and on *Quercus robur* (16 species) and *Carpinus betulus* (14 species) wood in the second plot. The majority of species reported for the first time for the region have been recorded on these tree species. Of them, four fungal species (*Antrodia leucaena*, *Athelia bombacina*, *Gloiothle lactescens*, and *Heteroradulum deglubens*) were found on fallen trunks and branches of *Populus alba*. Three new to the Republic of Dagestan species (*Bjerkandera fumosa*, *Coronicium gemmiferum*, and *Porostereum spadiceum*) were registered on dead wood of *Quercus robur*. Two fungal species each were found on wood of *Carpinus betulus* (*Bjerkandera fumosa*, *Sistotrema oblongisporum*), *Clematis vitalba* (*Lyomyces sambuci*, *Steccherinum litschaueri*), and *Corylus avellana* (*Steccherinum litschaueri*, *Vuilleminia coryli*). The identified distribution of fungal species, including rare and new to the region, by inhabited tree species indicates the critical need to conserve wood of the main forest-forming species.

Among xylotrophic species, white rot fungi predominate, accounting for more than 78% of the identified species diversity of aphylloroid basidiomycetes, or 47 species. Brown rot fungi, which are incapable of decomposing lignin in wood, comprise about 17% of the fungal list, or 10 species. The latter ones are polypores from the genera *Antrodia*, *Daedalea*, *Fistulina*, *Laetiporus*, *Postia*, and corticioid members of the genera *Botryobasidium* and *Sistotrema*.

Mycorrhizae-forming fungi are presented by *Amaurodon viridis*, *Thanatephorus ochraceus*, and *Tomentella subulilacina* developing their basidiomata on dead wood of fallen trunks and branches. They were collected from both studied plots. Notably, a single species from the order *Cantharellales* (*Thanatephorus ochraceus*) was found within the first plot, while representatives of the order *Thelephorales* (*Amaurodon viridis* and *Tomentella subulilacina*) were recorded only within the second plot.

During the fieldwork new localities of rare and protected at the federal level species *Ganoderma lucidum*, as well as regionally protected species *Fistulina hepatica*, were registered, that is accompanied the previously obtained monitoring data on their populations in the Samursky National Park [39].

CONCLUSION

The study of alpha diversity and substrate preferences of xylobionts with the substrate revealed the richest and most specific phorophytes, as well as some ecological features of the surveyed plots. Most of the species were found on the bark of *Carpinus betulus*, *Populus alba* and *Quercus robur*. The majority of species reported for the first time for the region have been recorded on these tree species. We

expand the number of known lichens on *Populus alba* to 22 species, on which only few species were previously known. High proportion of lichens with the *Trentepohlia* photobiont and the predominance of crustose species were revealed. The largest number of species of xylotrophic fungi was observed on the wood of *Populus alba* (21 species) in the first plot and on the wood of *Quercus robur* (16 species) and *Carpinus betulus* (14 species) in the second plot. In terms of basidiomata morphology, corticioid fungi, dominated over polypores and clavarioids in general. The leading ecological and trophic group of aphylloroid fungi are saprotrophs.

The revealed distribution of species, including rare and new to the region, by inhabited tree species indicates a significant contribution of the wood of the main forest-forming species to the preservation of the species richness of myco- and lichen biota.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Russian Science Foundation (RSF project N 23-24-00335).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ №23-24-00335.

REFERENCES

1. Paillet Y., Bergès L., Hjältén J., Odor P., Avon C., Bernhardt-Römermann M., Bijlsma R.J., de Bruyn L., Fuhr M., Grandin U., Kanka R., Lundin L., Luque S., Magura T., Matesanz S., Mészáros I., Sebastià M.T., Schmidt W., Standovář T., Tóthmérész B., Uotila A., Valladares F., Vellak K., Virtanen R. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*, 2010, vol. 24(1), pp. 101–112. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x
2. Mandl N., Lehnert M., Kessler M., Gradstein R.S. A comparison of alpha and beta diversity patterns of ferns, bryophytes and macrolichens in tropical montane forests of southern Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, 2010, vol. 19(8), pp. 2359–2369. DOI: 10.1007/s10531-010-9839-4
3. Dymytrova L., Brändli U.B., Ginzler C., Scheidegger C. Forest history and epiphytic lichens: Testing indicators for assessing forest autochthony in Switzerland. *Ecological Indicators*, 2018, vol. 84, pp. 847–857. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.08.009
4. Maliček J., Palice Z., Vondrák J., Kostovčík M., Lenzová V., Hofmeister J. Lichens in old-growth and managed mountain spruce forests in the Czech Republic: assessment of biodiversity, functional traits and bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 2019, vol. 28(13), pp. 3497–3528. DOI: 10.1007/s10531-019-01834-4
5. Socolar J.B., Gilroy J.J., Kunin W.E., Edwards D.P. How should beta-diversity inform biodiversity conservation? *Trends ecol. Evol.*, 2016, iss. 31 (1), pp. 67–80. DOI: 10.1016/j.tree.2015.11.005
6. Cerrejón C., Osvaldo Valeria O., Fenton N.J. Estimating lichen α - and β -diversity using satellite data at different spatial resolutions. *Ecological Indicators*, 2023, iss. 149, article id: 110173. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110173>
7. Novikova N., Polyanskaya A. *Samurskie lianovy lesa: problema sohraneniya bioraznobraziya v usloviyakh razvivayushhegosya vodnogo hozyaystva* [Samur liana forest: the problem of biological variety conservation under the condition of developing water industry]. Moscow, 1994, 150 p. (In Russian)
8. Asadulaev Z., Murtazaliev R., Aliev Kh. Types of Dagestan forests and peculiarities of their distribution. International Caucasian forestry symposium proceeding. Artvin. 2013, pp. 662–668.
9. Gadzhieva Z., Solov'yov D. *Klimat* [Climate]. In: Physical geography of Dagestan. Makhachkala, Shkola Publ., 1996, pp. 150–184. (In Russian)
10. Yarovenko Y., Murtazaliev R., Il'yina E. *Zapovednye mesta Dagestana* [Reserved places of Dagestan]. Makhachkala, Raduga-1 Publ., 2004, 96 p. (In Russian)
11. Vondrák J., Maliček J., Palice Z., Coppins B.J., 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(5), pp. 619–626. DOI: 10.1111/njb.01053
12. Vondrák J., Malíček J., Palice Z., Bouda F., Berger F., Sanderson N., Acton A., Pouska V., Kish R. Exploiting hotspots; effective determination of lichen diversity in a carpathian virgin forest. *Plos One*, 2018, vol. 13(9), article ID: e0203540. DOI: 10.1371/journal.pone.0203540
 13. Urbanavichus G. P. *Spisok likhenoflory Rossii* [A checklist of the lichen flora of Russia]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2010, 194 p. (In Russian)
 14. Spirin V., Miettinen O., Pennanen J., Kotiranta H., Niemelä T. *Antrodia hyalina*, a new polypore from Russia, and *A. leucaena*, new to Europe. *Mycological Progress*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 53–61.
 15. Zmitrovich I.V. *Opredelitel' gribov Rossii. Poryadok afilloforovye. Semeystva ateliyevye i amilokorticiyevye* [Key to mushrooms of Russia. Order Aphyllophoraceae. Vol. 3. Families Ateliaceae and Amylocorticaceae]. Moscow–SPb., KMK Publ., 2008, vol. 3, 278 p. (In Russian)
 16. Isikov V.P. An annotated list of fungi on trees and shrubs of the Black Sea coast of the Caucasus. In: *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]. 2014, vol. 139, pp. 158–169. (In Russian)
 17. Krapivina E.A. Order Poriales in the mycobiota of the western part of the Central Caucasus. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Kabardino-Balkarian State University]. 2011, vol. 1, no. 1, pp. 40–46.
 18. Ruokolainen A.V., Kotkova V.M. New data on aphyllophoroid fungi (Basidiomycota) of the Vodlozersky National Park. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2018, vol. 8, pp. 126–131. <https://doi.org/10.17076/bg745>
 19. *Coronidium gemmiferum* (Bourdot & Galzin) J.Erikss. & Ryvarden in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2023-10-01.
 20. Eriksson J., Ryvarden L. The Corticiaceae of North Europe. Vol. 3: *Coronidium* – *Hyphoderma*. Oslo: Fungiflora, 1975, pp. 288–548.
 21. Larsson K.H., Ryvarden L. Corticioid fungi of Europe. Vol. 1. *Acanthobasidium* – *Gyrodontium*. Synopsis Fungorum. 2021. Vol. 43. P. 1–256.
 22. 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
 23. Krapivina E.A., Koz'minov S.G., Kushaliev Zh.A., Taisumov M.A., Gadaborasheva M.A., Bersanova A.N., Dakieva M.K. Inventarizatsiya i monitoring mikobioty osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii rossiiskoi chasti Tsentral'nogo Kavkaza [Inventory and monitoring of mycobiota in specially protected natural areas of the Russian part of the Central Caucasus]. *Materialy 4-go Mezhdunarodnogo mikologicheskogo foruma «Sovremennaya mikologiya v Rossii»*, Moskva, 2020 [Materials of the 4th International Mycological Forum “Modern Mycology in Russia”, Moscow, 2020]. Moscow, 2020, vol. 8, pp. 80–81.
 24. Malysheva V., Spirin V. Taxonomy and phylogeny of the Auriculariales (Agaricomycetes, Basidiomycota) with stereoid basidiocarps. *Fungal Biology*, 2017, vol. 121, pp. 689–715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2017.05.001>
 25. Yurchenko E., Riebesell J., Langer E. Clarification of *Lyomyces sambuci* complex with the descriptions of four new species. *Mycol Progress*, 2017, vol. 16, pp. 865–876. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1321-1>
 26. Bernicchia A., Gorjón S.P. Corticiaceae s.l. Fungi Europaei no. 12: *Allassio*: Candusso Publ., 2010. 1008 p.
 27. Parmasto E., Parmasto I. To the flora of aphyllophoroid fungi of the Chechen-Ingush ASSR. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*. 1989, vol. 26, pp. 72–74. (In Russian)
 28. Eriksson J., Hjorstam K., Ryvarden L. The Corticiaceae of North Europe. Vol. 7: *Schizopora* – *Suillosporium*. Oslo, Fungiflora, 1984, pp. 1281–1449.
 29. Bondartseva M.A., Zmitrovich I.V. The genus *Sistotrema* (Cantharellales, Hydnaceae) in Russia. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2020, vol. 54 (1), pp. 3–15. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0026364820010043>
 30. Mukhamedshin R.K. Corticioid fungi (Corticaceae s. lato) of the Northwest Caucasus. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1992, vol. 26 (2), pp. 104–109. (In Russian)
 31. Viner I.A. New records of polypores and corticioid fungi in Dagestan. In: *Trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Dagestanskii”* [Proceedings of “Dagestanskii” State Nature Reserve]. Makhachkala, 2017, vol. 13, pp. 13–19. (In Russian)
 32. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Aphyllophoroid fungi (Basidiomycota) on juniper on the Gunib Plateau, innermountain Dagestan. *Czech Mycology*, 2020, vol. 72 (1), pp. 83–93. <https://doi.org/10.33585/cmy.72106>
 33. Volobuev S.V. A contribution to the aphyllophoroid funga (Basidiomycota) of the Tlyaratinsky protected area (Dagestan, Russia). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2021, vol. 55 (5), pp. 311–317. DOI: 10.31857/S0026364821050111
 34. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Ismailov A.B. Diversity and ecology of poroid fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) of the Gunib Plateau, Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16 (3), pp. 68–80. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-68-80>
 35. Ivanushenko Yu.Yu., Volobuev S.V. New and noteworthy records of aphyllophoroid fungi from the Gunib Plateau (Dagestan, Russia). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56 (6), pp. 411–418. DOI: 10.31857/S0026364822060058
 36. Bernicchia A., Gorjón S.P. Polypores of the Mediterranean Region. *Romar, Segrate*, 2020, 904 p.
 37. Bondartseva M.A. *Opredelitel' gribov Rossii. Poryadok afilloforovye; Vyp. 2. Semeystva al'batrellovye, aporpievye, boletopsievye, bondartseviyevye, ganodermovye, kortitsievye (vidy s poroobraznym gimenoforom), lakhnokladiyevye (vidy s trubchatym gimenoforom), poliporovye (rody s trubchatym gimenoforom), porievy, rigidoporovye, feolovye, fistulinovye* [Keys to fungi of Russia. Order Aphyllophorales; V. 2. Families Albatrellaceae, Aporpiaceae, Boletopsidaceae, Bondartseviaceae, Corticiaceae (species with poroid hymenophore), Fistulinaceae, Ganodermataceae, Lachnocladiaceae (species with tubular hymenophore), Phaeolaceae, Polyporaceae (genera with tubular hymenophore), Poriaceae, Rigidoporaceae]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998, 391 p. (In Russian)
 38. Isikov V.P. Tree-inhabiting basidiomycetes causing butt and root rots of trees and shrubs in Crimea. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2020, vol. 54 (2), pp. 86–97. (In Russian) DOI: 10.31857/S0026364820020051
 39. Volobuev S.V., Shakhova N.V. Monitoring of protected fungal species in Samursky national park. *Botanical Journal of the North Caucasus*, 2022, no. 2, pp. 7–13. DOI: 10.33580/24092444_2022_2_7

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Paillet Y., Bergès L., Hjältén J., Odor P., Avon C., Bernhardt-Römermann M., Bijlsma R.J., de Bruyn L., Fuhr M., Grandin U., Kanka R., Lundin L., Luque S., Magura T., Matesanz S., Mészáros I., Sebastià M.T., Schmidt W., Standovář T., Tóthmérész B., Uotila A., Valladares F., Vellak K., Virtanen R. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe // *Conservation Biology*. 2010. V. 24(1). P. 101–112. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x
2. Mandl N., Lehnert M., Kessler M., Gradstein R.S. A comparison of alpha and beta diversity patterns of ferns, bryophytes and macrolichens in tropical montane forests of southern Ecuador // *Biodiversity and Conservation*. 2010. V. 19(8). P. 2359–2369. DOI: 10.1007/s10531-010-9839-4
3. Dymytrova L., Brändli U.B., Ginzler C., Scheidegger C. Forest history and epiphytic lichens: Testing indicators for assessing forest autochthony in Switzerland // *Ecological Indicators*. 2018. V. 84. P. 847–857. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.08.009
4. Malíček J., Palice Z., Vondrák J., Kostovčík M., Lenzová V., Hofmeister J. Lichens in old-growth and managed mountain spruce forests in the Czech Republic: assessment of biodiversity, functional traits and bioindicators // *Biodiversity and Conservation*. 2019. V. 28(13). P. 3497–3528. DOI: 10.1007/s10531-019-01834-4
5. Socolar J.B., Gilroy J.J., Kunin W.E., Edwards D.P. How should beta-diversity inform biodiversity conservation? // *Trends ecol. Evol.* 2016. Iss. 31 (1). P. 67–80. DOI: 10.1016/j.tree.2015.11.005
6. Cerrejón C., Osvaldo Valeria O., Fenton N.J. Estimating lichen α - and β -diversity using satellite data at different spatial resolutions // *Ecological Indicators*. 2023. Iss. 149. Article ID: 110173. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110173>

7. Новикова Н., Полянская А.В. Самурские лиановые леса: проблема сохранения биоразнообразия в условиях развивающегося водного хозяйства. Москва, 1994. 150 с.
8. Asadulaev Z., Murtazaliev R., Aliev Kh. Types of Dagestan forests and peculiarities of their distribution // International Caucasian forestry symposium proceeding. Artvin. 2013. P. 662–668.
9. Гаджиева З., Соловьев Д. Климат // Физическая география Дагестана. Махачкала, 1996. С. 150–184.
10. Яровенко Ю.А., Муртазалиев Р.А., Ильина Е.В. Заповедные места Дагестана. Махачкала, 2004. 96 с.
11. Vondrák J., Malíček J., Palice Z., Coppins B.J., 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(5). P. 619–626. DOI: 10.1111/njb.01053
12. Vondrák J., Malíček J., Palice Z., Bouda F., Berger F., Sanderson N., Acton A., Pouska V., Kish R. Exploiting hotspots; effective determination of lichen diversity in a carpathian virgin forest // PLOS One. 2018. V. 13(9). Article ID: e0203540. DOI: 10.1371/journal.pone.0203540
13. Урбанавичюс Г.П. Список лишенофлоры России. СПб.: Наука, 2010. 194 с.
14. Spirin V., Miettinen O., Pennanen J., Kotiranta H., Niemelä T. *Antrodia hyalina*, a new polypore from Russia, and *A. leucaena*, new to Europe // Mycological Progress. 2013. V. 12. N 1. P. 53–61.
15. Змитрович И.В. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. Вып. 3. Семейства ателиевые и амиллокортициевые. М.—СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 278 с.
16. Исков В.П. Аннотированный список грибов на деревьях и кустарниках черноморского побережья Кавказа // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2014. Т. 139. С. 158–169.
17. Крапивина Е.А. Порядок *Poriales* в микобиоте западной части Центрального Кавказа // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2011. Т. 1. N 1. С. 40–46.
18. Руоколайнен А.В., Коткова В.М. Новые сведения об афиллофоровых грибах (*Basidiomycota*) национального парка «Водлозерский» // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 8. С. 126–131. <https://doi.org/10.17076/bg745>
19. *Coronicium gemmiferum* (Bourdot & Galzin) J.Erikss. & Ryvarden in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2023-10-01.
20. Eriksson J., Ryvarden L. The Corticiaceae of North Europe. Vol. 3: *Coronicium* – *Hyphoderma*. Oslo: Fungiflora, 1975. P. 288–548.
21. Larsson K.H., Ryvarden L. Corticioid fungi of Europe. Vol. 1. *Acanthobasidium* – *Gyrodontium* // Synopsis Fungorum. 2021. Vol. 43. P. 1–256.
22. 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
23. Крапивина Е.А., Козьминов С.Г., Кушалиева Ж.А., Тайсумов М.А., Гадаборашева М.А., Берсанова А.Н., Дакиева М.К. Инвентаризация и мониторинг микобиоты особо охраняемых природных территорий российской части Центрального Кавказа // Материалы 4-го Международного микологического форума «Современная микология в России». М.: Национальная академия микологии. 2020. Т. 8. С. 80–81.
24. Malysheva V., Spirin V. Taxonomy and phylogeny of the Auriculariales (Agaricomycetes, Basidiomycota) with stereoid basidiocarps // Fungal Biology. 2017. V. 121. P. 689–715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2017.05.001>
25. Yurchenko E., Riebesehl J., Langer E. Clarification of *Lyomyces sambuci* complex with the descriptions of four new species // Mycol Progress. 2017. V. 16. P. 865–876. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1321-1>
26. Bernicchia A., Gorjón S.P. Corticiaceae s.l. Fungi Europaei no. 12: Alassio: Candusso Publ.; 2010. 1008 p.
27. Пармасто Э., Пармасто И. К флоре афиллофоровых грибов Чечено-Ингушской АССР // Новости систематики низших растений. 1989. Т. 26. С. 72–74.
28. Eriksson J., Hjorstrom K., Ryvarden L. The Corticiaceae of North Europe. Vol. 7: *Schizopora* – *Suillosporium*. Oslo: Fungiflora, 1984. pp. 1281–1449.
29. Бондарцева М.А., Змитрович И.В. Род *Sistotrema* (*Cantharellales*, *Hydnaceae*) в России // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 1. С. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0026364820010043>
30. Мухамедшин Р.К. Кортициоидные грибы (*Corticiaceae* s. lato) Северо-Западного Кавказа // Микология и фитопатология. 1992. Т. 26. N 2. С. 104–109.
31. Винер И.А. Новые находки трутовых и кортициоидных грибов в Дагестане // Труды государственного природного заповедника «Дагестанский». Вып. 13. Махачкала: Алеф, 2017. С. 13–19.
32. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu. Aphylloroid fungi (*Basidiomycota*) on juniper on the Gunib Plateau, innermountain Dagestan. Czech Mycology. 2020. V. 72 (1). P. 83–93. <https://doi.org/10.33585/cmy.72106>
33. Volobuev S.V. A contribution to the aphylloroid funga (*Basidiomycota*) of the Tlyaratinsky protected area (Dagestan, Russia) // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. N 5. С. 311–317. DOI: 10.31857/S0026364821050111
34. Volobuev S.V., Ivanushenko Yu.Yu., Ismailov A.B. Diversity and ecology of poroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) of the Gunib Plateau, Dagestan // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 3. С. 68–80. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-68-80>
35. 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. N 6. С. 411–418. DOI: 10.31857/S0026364822060058
36. Bernicchia A., Gorjón S.P. Polypores of the Mediterranean Region. Romar, Segrate, 2020. 904 p.
37. Бондарцева М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые; Вып. 2. Семейства альбатрелловые, апорпиевые, болетопсиевые, бондарцевиевые, ганодермовые, кортициевые (виды с порообразным гименофором), лахнокладиевые (виды с трубчатым гименофором), полипоровые (роды с трубчатым гименофором), пориевые, ригидопоровые, феоловые. СПб.: Наука, 1998. 391 с.
38. Исков В.П. Ксилотрофные базидиомицеты, вызывающие комлевые и корневые гнили деревьев и кустарников Крыма // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 2. С. 86–97. <https://doi.org/10.31857/S0026364820020051>
39. Volobuev S.V., Shakhova N.V. Monitoring of protected fungal species in Samursky national park // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2022. N 2. P. 7–13. DOI: 10.33580/24092444_2022_2_7

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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>

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.4

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-64-73

Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион)

Эльвира З. Баишева^{1,2}, Николай И. Федоров^{1,2}, Светлана Н. Жигунова^{1,2}, Павел С. Широких^{1,2}, Михаил А. Комиссаров^{1,2}, Илюся М. Габбасова^{1,2}, Альберт А. Мулдашев^{1,2}, Ильнур Г. Бикбаев^{1,2}, Ильшат Р. Туктамышев^{1,2}, Галина В. Шендель^{1,2}, Руслан Р. Сулейманов^{1,2}, Тимур Т. Гарипов^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

²Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

Контактное лицо

Эльвира З. Баишева, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН; 450054 Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69.
Тел. +79871070537

Email elvbai@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0002-012X>

Формат цитирования

Баишева Э.З., Федоров Н.И., Жигунова С.Н., Широких П.С., Комиссаров М.А., Габбасова И.М., Мулдашев А.А., Бикбаев И. Г., Туктамышев И.Р., Шендель Г.В., Сулейманов Р.Р., Гарипов Т.Т. Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 64-73. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-64-73

Получена 28 июня 2023 г.

Прошла рецензирование 14 августа 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Сбор и анализ сведений о составе и продуктивности растительности, оценка депонирования углерода растительностью и почвой на залежном участке луговой степи в Башкирском Предуралье.

Материал и методы. Работа основана на материалах обследования растительности и почв залежного участка луговой степи, на котором более 20 лет проходит постагрогенная восстановительная сукцессия.

Результаты. Растительный покров участка близок к естественным богато-разнотравным луговым степям, но отличается более низкими показателями видового богатства и насыщенности, а также присутствием сорных сеgetальных видов. Общая биомасса растений оценена в 11,35 т/га (в том числе надземная живая биомасса 2,98 т/га, мортмасса 3,11 т/га, масса корней 5,25 т/га). Средние величины запасов углерода в биомассе растений составляют 427,6 г/м², а общий запас углерода в растительном веществе на всем участке – 36,88 тонн. Почвы представлены черноземом типичным карбонатным. Запасы углерода в маломощной почве в слое 0–90 см составляет 308 т/га, в среднемощной – 378 т/га.

Заключение. Особенностью обследованных сообществ является обедненный флористический состав, низкая продуктивность и невысокая доля корней (47 % от общей фитомассы), что связано с неполным восстановлением степной растительности и малой мощностью гумусового горизонта. Почвы участка по содержанию и запасам углерода приближаются к целинным аналогам.

Ключевые слова

Луговая степь, карбоновый полигон, секвестрация углерода, залежь, Южно-Уральский регион.

Productivity of vegetation and carbon stock in meadow steppe on fallow areas in the Bashkir Cis-Urals (Southern Urals region), Russia

Elvira Z. Baisheva^{1,2}, Nikolai I. Fedorov^{1,2}, Svetlana N. Zhigunova^{1,2}, Pavel S. Shirokikh^{1,2}, Mikhail A. Komissarov^{1,2}, Ilusya M. Gabbasova^{1,2}, Albert A. Muldashev^{1,2}, Ilnur G. Bikbaev^{1,2}, Ilshat R. Tukhtamyshev^{1,2}, Galina V. Shendel², Ruslan R. Suleymanov^{1,2} and Timur T. Garipov²

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

²Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Principal contact

Elvira Z. Baisheva, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, 69 Oktyabrya Prospekt, Ufa, Russia 450054.

Tel. +79871070537

Email elvbai@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0002-012X>

How to cite this article

Baisheva E.Z., Fedorov N.I., Zhigunova S.N., Shirokikh P.S., Komissarov M.A., Gabbasova I.M., Muldashev A.A., Bikbaev I.G., Tukhtamyshev I.R., Shendel G.V., Suleymanov R.R., Garipov T.T. Productivity of vegetation and carbon stock in meadow steppe on fallow areas in the Bashkir Cis-Urals (Southern Urals region), Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 64-73. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-64-73

Received 28 June 2023

Revised 14 August 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. Data collection and analysis of the composition and productivity of vegetation and assessment of carbon sequestration by vegetation and soil in meadow steppe at a fallow site in the Bashkir Cis-Urals, Russia.

Material and Methods. The work is based on a survey of vegetation and soils of meadow steppe located in fallow areas, where post-agrogenic restoration succession has been going on for more than 20 years.

Results. The plant cover of the area studied is close to natural rich-forb meadow steppes but differs in lower indicators of species richness and saturation, as well as the presence of weedy segetal species. The total plant biomass on the plot studied was estimated at 11.35 t/ha (including live aboveground biomass 2.98 t/ha, mortmass 3.11 t/ha, root weight 5.25 t/ha). The average stock of carbon in the plant biomass is 427.6 g/m², and the total carbon stock in plant matter within the site is 36.88 tons. The soil cover of the area studied is Chernozem Calcic. The average levels of carbon stocks in short-thickness soil at the 0–90 cm layer is 308 t/ha, while in medium-thick soil it is 378 t/ha.

Conclusions. A feature of the communities surveyed is a poor floristic composition, low productivity and low proportion of roots (47 % of the total plant biomass), which is caused by incomplete recovering of steppe vegetation and low thickness of the humus horizon. The soils of the site are close to virgin steppe lands in terms of carbon content and reserves.

Key Words

Meadow steppe, carbon polygon, carbon sequestration, fallow land, Southern Urals region.

ВВЕДЕНИЕ

Степи являются зональным типом растительности Евразии, встречаются в Центральной и Восточной Европе, на юге Западной Сибири, в Центральной Азии и горных районах, характеризуются высокой хозяйственной ценностью и антропогенной освоенностью [1]. Многочисленные работы последних десятилетий показывают, что под влиянием антропогенного воздействия и изменения климата происходят деградация и аридизация растительного покрова и почв степей, изменения в фенологии и ареалах видов, снижаются чистая первичная продукция, количество доступной почвенной влаги, показатели NDVI и др. [2; 3].

В зоне умеренного климата степи относятся к высокопродуктивным биомам и играют важную роль в глобальном цикле углерода. Основные запасы углерода находятся в почве степей, на наземную биомассу растений приходится небольшое количество углерода, которое часто выносятся за пределы степных экосистем в результате выпаса, сенокошения и пожаров. На долю степей приходится 10–20 % суммарного стока диоксида углерода в наземные экосистемы РФ, а запасы углерода в почвах равнинных степных ландшафтов составляют примерно четвертую часть от общего количества углерода, депонированного в почвах на территории страны [4; 5].

Органический углерод целинных степных почв чувствителен к изменениям окружающей среды. Умеренный выпас способствует накоплению углерода в почвах в результате компенсационного роста растений и усиленного корнеобразования. Чрезмерный выпас, наоборот, приводит к потере почвенного углерода из-за снижения продуктивности растений, уменьшения отложений подстилки и эрозии почв. Потеря углерода влияет на снижение водоудерживающей способности, интенсификацию ветровой и водной эрозии и снижение плодородия степных почв [6; 7]. Для увеличения секвестрации углерода степными экосистемами и снижения его эмиссии из почвы необходимо регулировать выпас и восстанавливать растительность на деградированных и залежных участках [4; 6].

До начала интенсивного хозяйственного освоения степи занимали не менее трети равнинной части Республики Башкортостан (РБ), соответствующей области распространения черноземов. Ко второй половине XX века, после освоения практически всех пахотнопригодных земель, площади степей резко сократились и остались преимущественно на непригодных для распахивания участках и на особо охраняемых природных территориях. Участки степной растительности встречаются в степной и лесостепной зонах РБ, а также в предгорных и горных районах, где небольшие фрагменты степных сообществ сохранились на инсолированных крутых склонах южной и юго-восточной экспозиций, а также выше границы леса вблизи вершин гор и хребтов. Во многих местах растительность степных участков трансформирована в результате бессистемного выпаса и сложена флористически обедненными вариантами сообществ с доминированием типчака и полыней [8].

После распада СССР в результате экономического кризиса 1990-х гг. произошло резкое сокращение пахотных земель, а РБ вошла в число регионов с высокой долей неиспользуемых сельскохо-

зяйственных угодий. В лесостепной зоне Башкирского Предуралья за 1997–2017 гг. доля пашни уменьшилась на более 490 тыс. га [9]. Залежи являются основным резервом для восстановления степного биомассы России, их зарастание и формирование на них вторичных восстановленных степей может внести значительные изменения в углеродный баланс, водный и тепловой режим степных и лесостепных ландшафтов [4; 5]. На настоящий момент сведения о составе и продуктивности растительности, а также углеродном балансе восстанавливающихся на залежах степей Башкирского Предуралья в научной литературе практически отсутствуют, что подчеркивает актуальность и новизну данного исследования.

В связи с высоким потенциалом накопления углерода в степных экосистемах, в РБ начаты исследования эмиссии парниковых газов и депонирования углерода в степях в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Программа создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон» на 2022–2023 гг.».

Целью данной работы является сбор и анализ сведений о составе и продуктивности растительности, а также оценка депонирования углерода растительностью и почвой на участке луговой степи, восстанавливающейся на залежи в Башкирском Предуралье.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на участке карбонового полигона «Ковыльная степь», расположенного в луговой степи в 3,5 км на юг от д. Курятмасово в Давлекановском районе РБ. Согласно ботанико-географическому районированию республики, территория относится к степной зоне Предуралья [10]. Участок находится на выровненной вершине увала, характеризуется небольшим уклоном к северо-западу, ранее использовался в качестве пашни (по данным космоснимков – не менее 30 лет), с начала 2000-х гг. по настоящее время восстанавливается. На участке эпизодически происходит сенокошение. Площадь участка – 9 га.

Климат района исследования континентальный, с недостаточным увлажнением. Средняя годовая температура + 3,3°C; средняя температура января – 14,2°C; июля + 20°C; средняя глубина промерзания почвы к концу зимы – до 90–130 см. Среднее годовое количество осадков – 450 мм/год, продолжительность безморозного периода 125 дней, вегетационного периода – 170 дней [11].

Сбор данных по продуктивности надземной и подземной фитомассы проводился 14 и 15 июля 2022 г. на 60 пробных площадках размером 50х50 см в период максимального развития растительности. На площадках отмечались средняя и максимальная высота и общее проективное покрытие травяного яруса, а также обилие отдельных видов в процентах, для видов с малой степенью покрытия (до 1 %) использовалось обозначение «+». В связи с неоднородностью растительного покрова, отдельно собирались данные по микроценозам с доминированием злаков и с доминированием бобовых. Для картирования и вычисления площадей контуров, занятых разными микроценозами, использовались снимки, сделанные с БПЛА, и программа QGIS.

Надземную фитомассу определяли методом укосов, подземную – методом монолитов. Общий запас биомассы включает в себя следующие фракции: надземная зеленая фитомасса, подземная фитомасса, надземная мортмасса – мертвое органическое вещество растений, которое состоит из опада и ветоши. Под опадом подразумеваются отмершие части трав, ветошь – отмершие части растения, еще не потерявшие связи с фотосинтезирующими растениями. Мортмасса собиралась с поверхности площадок 50х50 см, после того как срезали живую надземную часть растений. Для определения подземной фитомассы с помощью почвенного бура, внутренний диаметр которого составлял 5 см, отбирались монолиты в слое 0–30 см, затем корни отмывали.

Образцы надземной живой фитомассы, мортмассы и корней высушивали до воздушно-сухого состояния, взвешивали и измельчали в режущих мельницах Viletek (серия VLM) до размера частиц менее 0,5 мм. Наиболее мелкие образцы корней перетирали до порошкообразного состояния в фарфоровых ступках с жидким азотом. Содержание углерода в образцах было определено на элементном анализаторе CHNS EA-3100 (Eurovector, Италия) в РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.

Проведение почвенно-полевого обследования и отбор образцов почвы проводили в июле 2022 г. согласно ГОСТ Р 58595-2019 [12]. Для определения основных морфологических свойств почв (мощность генетических горизонтов, влажность, структура и текстура, наличие включений, вид перехода горизонта, предварительное название типа почвы) было заложено 2 полнопрофильных базовых разреза, а также дополнительно 60 точек отбора проб. Базовые разрезы закладывали шириной 1 м, длиной 2 м, глубиной 50–90 см, в зависимости от мощности гумусово-аккумулятивного (А+АВ) и иллювиального (В) горизонтов. Точки отбора проб закладывали в местах проведения геоботанического обследования (на пробных площадках, где выполнялись укосы). Отбор почвенных проб осуществляли с помощью бура из слоев 0–30, 30–60, 60–90 см, при этом дополнительно проводили описание морфологических свойств почвы. В базовых разрезах, а также в некоторых местах отбора проб дополнительно отбирали образцы ненарушенной почвы на определение ее объемной массы (плотности). Для этого послойно через каждые 10 см забивали металлические гильзы (высотой 10 см и диаметром 5 и 10 см); анализ проводили согласно методике А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [13]. Данные о плотности почв использовали для последующих расчетов запасов органического вещества ($Z_{орг} = C \times V \times P$, где Z – запас $C_{орг}$, т/га; C – содержание $C_{орг}$, %; V – мощность, см; P – плотность г/см³).

Содержание органического вещества в образцах почвы определяли согласно ГОСТ 26213-91 [14] по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Флористический и ценотический состав сообществ

Основными доминантами на пробных площадках являются дерновинные злаки (ковыль перистый – *Stipa pennata*, ковыль волосатик – *Stipa capillata*, овсяница ложноовечья – *Festuca pseudovina*) и корневищно-рыхлокустовой злак мятлик узколистный (*Poa angustifolia*). Среди разнотравья с относительно

большим обилием отмечаются репешок азиатский (*Agrimonia asiatica*), бедренец камнеломка (*Pimpinella saxifraga*), клевер средний (*Trifolium medium*), чина клубненосная (*Lathyrus tuberosus*), василистник малый (*Thalictrum minus*) и др. Проективное покрытие травостоя высокое (70–85 %), средняя высота растений – 40 см.

В аспекте сообществ прослеживается мозаичность – на фоне злаков выделяются «пятна» микроценозов с доминированием бобовых, главным образом, *Trifolium medium* и *Lathyrus tuberosus* (рис. 1). После картирования контуров растительности было установлено, что средний размер таких пятен – 19,4 м², суммарная площадь 421 м², что составляет 3,8 % от общей площади участка.

В системе эколого-флористической классификации растительности данные сообщества относятся к ассоциации *Poa angustifoliae-Stipetum pennatae* Yamalov et al. 2013 союза *Cirsio-Brachypodium pinnati* Hadač & Klika in Klika & Hadač 1944 порядка *Brachypodietalia pinnati* Korneck 1974 класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947. В Южно-Уральском регионе эта ассоциация объединяет широко распространенные в лесостепной зоне сообщества луговых степей, которые занимают склоны северной экспозиции и выравненные участки на плакорах, в Башкирском Предуралье контактируют с широколиственными и производными от них березовыми лесами, а в Башкирском Зауралье – с сосновыми, сосново-лиственничными лесами и вторичными березняками. Данные сообщества имеют высокую хозяйственную ценность и часто используются в качестве сенокосов и пастбищ [15].

В целом, флористический состав сообществ обследованного участка близок к естественным богато-разнотравным луговым степям региона: во флоре примерно в равных долях доминируют лугово-степные (36,6 % от общей флоры сосудистых растений) и луговые (33,7 %) виды. Степные виды составляют 12,8 % (на повышенных участках также встречаются петрофитно-степные виды полынь Маршалла – *Artemisia marschalliana* и мордовник татарский – *Echinops tataricus*). Выявлено 12 сорных видов (11,9 %), которые преимущественно являются сеgetальными сорняками пропашных культур (молочай лозовый – *Euphorbia virgata*, вьюнок полевой – *Convolvulus arvensis*, полынь горькая – *Artemisia absinthium* и др.) и, видимо, сохранились со времени использования участка в качестве пашни. 5 % флоры приходится на виды, имеющие оптимум в лесных сообществах.

Всего на обследованном участке выявлен 101 вид сосудистых растений. Реликты и эндемики отсутствуют. Число видов на 100 м² варьирует от 31 до 47 (в среднем 39), что меньше, чем в сообществах данной ассоциации, описанных в других районах РБ – 53–95 (в среднем 70) видов [15]. Невысокое флористическое и ценотическое разнообразие также может быть связано с небольшой площадью и экологической однородностью участка.

Низкая фитоценотическая роль сорных видов и длиннокорневищных злаков (пырея ползучего – *Elytrigia repens* и костреца безостого – *Bromopsis inermis*), которые с обилием «+» встречены в небольшом количестве описаний, в сочетании с высоким обилием дерновинных злаков (*Stipa* spp., *Festuca pseudovina*), является показателем того, что

растительность участка прошла начальные демультиционные стадии (сорно-бурьянную и корневищных злаков) и в настоящее время переходит от стадии рыхлокустовых злаков к стадии плотнокустовых дерновинных злаков (вторичной целине). По сравнению с залежными участками степей Ростовской и Воронежской областей, где стадия корневищных злаков длится не менее 25–30 лет, а стадия дерновинных плотнокустовых злаков наступает приблизительно

через 50 лет после распашки [16; 17], восстановление степной растительности на обследованном участке идет быстрее, что может быть связано как с щадящим режимом использования залежи (эпизодическим сенокошением), так и с близко расположенными источниками диаспор степных видов, которые в условиях сложного рельефа сохраняются на нераспаханных крутых склонах в окрестностях участка.

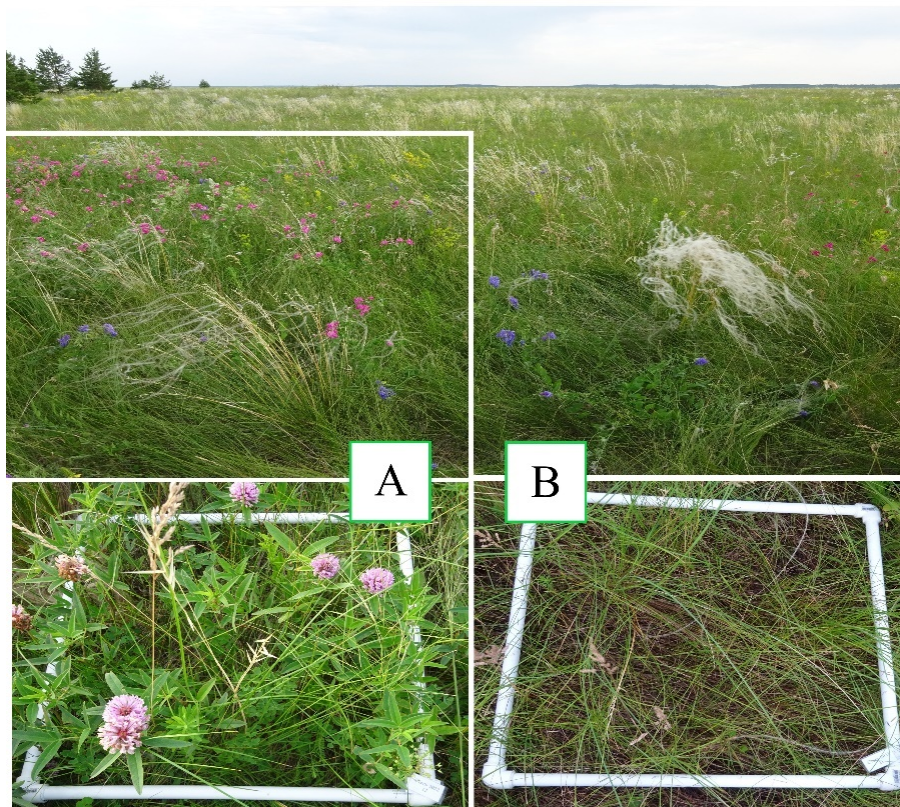


Рисунок 1. Микроценозы с доминированием бобовых (А) и злаков (В) в степных сообществах ассоциации *Poo angustifoliae-Stipetum pennatae* Yamalov et al. 2013
Figure 1. Microcenoses dominated by legumes (A) and grasses (B) in steppe communities of the association *Poo angustifoliae-Stipetum pennatae* Yamalov et al. 2013

Анализ запасов надземной и подземной фитомассы

После обработки укосов суммарная биомасса надземных и подземных органов растений на участке была оценена в 1135,2 г/м² (11,35 т/га) (табл. 1).

В суббореальных степях Европы запасы надземной зеленой фитомассы составляют в сухих степях – 1,9 т/га, в настоящих степях – 2,1 т/га, в луговых степях – 3,7 т/га, а суббореальных степях Азии на эти показатели приходится, соответственно, по 0,9, 1,9 и 3,5 т/га [18]. Данные по запасам надземной зеленой фитомассы обследованного участка (табл. 1) приближаются к показателям низкопродуктивных вариантов луговых степей Евразии. В связи с тем, что в работе была использована оценка по величине запаса надземной зеленой фитомассы в момент ее максимального развития, было проведено сравнение полученных данных с другими работами, в которых этот показатель был рассчитан аналогично. Например, для участков луговых степей в Курской области усредненные данные по максимальной зеленой фитомассе составляют 1,2 т/га – при сильном выпасе, 2,7 т/га – при умеренном выпасе, 3,5 т/га – при слабом выпасе и до

6 т/га – при заповедном режиме [18]. Показатели максимальной живой надземной фитомассы луговой степи на нашем участке (2,98 т/га) соответствуют данным по обедненным луговым степям Русской равнины с умеренным выпасом.

Усредненное значение надземной мортмассы растений на исследованном участке составляет 311,1 г/м², что незначительно (на 4,3 %) превышает средний показатель надземной фитомассы (табл. 1). Близкие значения надземной мортмассы и зеленой фитомассы (по 3,5 т/га) отмечаются для луговых степей Азии, в то время как в разных типах степных экосистем Европы показатели надземной мортмассы существенно выше надземной зеленой фитомассы [18].

Средняя масса корней 525,9 г/м² (46 % от общей фитомассы) на изученных пробных площадях значительно ниже аналогичных показателей в луговых степях Европейской России (65–75 %) и Сибири (70–88 %). В абсолютных числах, наши показатели также существенно ниже, чем, например, в луговой степи Курской области (1755 г/м²) или настоящей степи в Хакасии (2684 г/м²) (для сравнения привлекались

данные по отбору корней на глубине 0–30 см) [19]. На обследованном участке средние показатели подземной фитомассы превышают показатели зеленой надземной фитомассы на 176 % (на 160 % в микроценозах с доминированием злаков и на 180 % в микроценозах с доминированием бобовых). Этот показатель существенно ниже аналогичных данных по лугово-

степным сообществам других регионов, так как по усредненным данным подземная фитомасса превышает надземную в 2–3 раза в луговых и лугово-степных экосистемах, в 4–5 раз – в типичных степях и в 6–10 раз – в сухих степях, при этом, чем выше доля корней в общей фитомассе, тем выше их почвообразующий эффект [19; 20].

Таблица 1. Средние запасы надземной и подземной биомассы в разных микроценозах

Table 1. Average stocks of aboveground and belowground biomass in different microcenoses

Фракции растительного вещества Fractions of plant matter	Микроценозы с доминированием злаков Microcenoses dominated by grasses	Микроценозы с доминированием бобовых Microcenoses dominated by legumes	В среднем по участку Average at the site
Запасы растительного вещества, г/м² / Stocks of plant matter, gm/m²			
Надземная живая биомасса Live aboveground biomass	283,4±17,8	342,7±26,9	298,3±15,3
Мортмасса Mortmass	292,6±19,4	366,5±39,7	311,1±18,1
Подземная биомасса (корни) Belowground biomass (roots)	517,5±28,6	551,2±67,8	525,9±27,4
Совокупность всего растительного вещества Total plant matter	1093,5±40,7	1260,3±84,0	1135,2±38,2

Соотношение биомасс надземных и подземных органов в разных типах травяных сообществ может зависеть от различий в абсолютной продуктивности травостоев, биологических свойств видов, условий произрастания растений, возраста сообществ, стадий сукцессии и др. По имеющимся данным, этот показатель очень вариабелен. Например, для лугов Украины данное соотношение меняется от 1:2,3 до 1:3,5, для окультуренных материковых лугов Московской области – от 1:0,8 до 1:1,6 [21]. Поскольку наш участок представляет собой залежь, то отношение надземной живой части фитомассы к подземной (1:1,8) существенно отличается от данных по целинным степям. Сходные результаты были получены в Тыве, где показатели подземной фитомассы в залежных сообществах терминальных стадий деградации (приблизительно через 30 лет после распашки) были в два раза ниже, чем в целинных степях (при этом показатели надземной фитомассы были близки) [22]. Поскольку в верхнем слое почвы доля корней увеличивается с возрастом залежи, что связано с изменением растительного сообщества и улучшением минерального питания за счет разложения накопи-

вающегося опада [23; 24], можно прогнозировать постепенное увеличение доли подземных органов на исследованном участке в ходе сукцессии.

При анализе микроценозов также было установлено, что участки с доминированием бобовых характеризуются более высокими показателями запасов фитомассы на единицу площади (на 20 % для надземной живой фитомассы, на 25 % – для надземной мортмассы и на 7 % – для подземной фитомассы), по сравнению с участками с доминированием злаков и разнотравья, что можно объяснить положительным влиянием бобовых на микробиологическую активность почвы и продуктивность фитоценозов.

Содержание и запасы углерода в фитомассе. Средние запасы углерода в растительной биомассе на обследованном участке составляют 427,6 г/м² (в том числе 409,4 г/м² для участков с доминированием злаков и разнотравья и 482,1 г/м² для участков с доминированием бобовых). Общий запас углерода в растительном веществе, рассчитанный с учетом площадей, занимаемых микроценозами разных типов, составляет 36,88 тонны (табл. 2).

Таблица 2. Процентное содержание и запасы углерода в надземной и подземной биомассе растений на обследованном участке

Table 2. Carbon content and stocks in aboveground and belowground plant biomass at the site studied

Фракции растительного вещества Fractions of plant matter	Микроценозы с доминированием злаков Microcenoses dominated by grasses	Микроценозы с доминированием бобовых Microcenoses dominated by legumes	В среднем по участку Average at the site
Процентное содержание углерода, % / Carbon content, %			
Надземная живая биомасса Live aboveground biomass	42,5±0,2	42,7±0,2	42,5±0,1
Мортмасса / Mortmass	38,3±0,3	37,6±0,7	38,1±0,3
Подземная биомасса (корни) Belowground biomass (roots)	34,4±0,7	36,2±0,9	34,8±0,6

Запасы углерода, г/м ² / Carbon stocks, gm/m ²			
Надземная живая биомасса Live aboveground biomass	120,3±7,5	146,8±11,9	126,9±6,5
Мортмасса / Mortmass	111,7±7,3	137,5±15,0	118,2±6,8
Подземная биомасса (корни) Belowground biomass (roots)	177,5±10,9	197,7±22,8	182,5±10,1
Совокупность всего растительного вещества Total plant matter	409,4±15,7	482,1±30,9	427,6±14,7

Выявлены небольшие различия в содержании углерода в живой надземной фитомассе разных микроценозов: на участках с доминированием бобовых оно составляет 146,8 г/м², что несколько выше, чем на участках с доминированием злаков (120,3 г/м²). Процентное содержание углерода во всех фракциях биомассы между микроценозами различается незначительно и не превышает 5 % (табл. 2).

Суммарный запас углерода во всех компонентах фитомассы на исследуемом участке (4,3 тС/га), сопоставим с аналогичными данными по 11-летней, находящейся на стадии доминирования корневищных злаков залежной луговой степи на обыкновенном черноземе (4,1 тС/га), но более, чем в три раза ниже, чем в целинных сообществах луговых степей в Тыве (19,4 тС/га) [25]. В Тыве на данной стадии восстановления луговых степей запасы углерода в надземной

живой фитомассе и надземной мортмассе уже близки к показателям целинных сообществ, а основное различие состоит в низких запасах углерода в подземной фитомассе, которая в 12 раз ниже, чем в целинных сообществах [25]. Для оценки скорости восстановления структуры сообществ и запасов углерода на залежах в районе нашего исследования необходимы дополнительные исследования участков целинных степей в данной природной зоне РБ.

Содержание и запасы углерода в почве. Почвенный покров обследованного участка представлен черноземом типичным карбонатным (Chernozem Calcic по международной классификации WRB [26] среднесуглинистым малой (15–39 см) и средней (40–59 см) мощности (табл. 3).

Таблица 3. Содержание и запасы углерода в почвах обследуемого участка

Table 3. The carbon content and stocks in soils of area studied

Слой, см Layer, cm	Маломощный чернозем Short thickness Chernozem		Среднемощный чернозем Medium thickness Chernozem	
	С _{орг} , % C _{org} , %	Запасы С _{орг} , т/га C _{org} stocks, t/ha	С _{орг} , % C _{org} , %	Запасы С _{орг} , т/га C _{org} stocks, t/ha
0–30	6,38±0,24	196,6±8,2	6,88±0,22	206,4±6,6
30–60	2,09±0,17	69,1±5,5	3,50±0,24	117,1±7,9
60–90	1,07±0,29	42,8±11,4	1,41±0,25	55,0±9,9

По содержанию органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте почва изученного участка относится к категории «высокогумусная». В целом для черноземов Предуральской степи РБ характерно высокое содержание гумуса при относительно укороченном почвенном профиле. Поэтому основные различия в депонировании углерода между мало- и среднемощными видами чернозема (на 67–69 %) наблюдались в слое 30–60 см и зависели от мощности гумусово-аккумулятивного и переходного к иллювиальному горизонтов. Плотность в профиле почвы изменялась в диапазоне 1–1,33 г/см³, постепенно возрастая с глубиной. Запасы С_{орг} в 0–90 см слое чернозема типичного карбонатного среднесуглинистого маломощного, составили 308±25 т/га, среднемощного – 378±24 т/га. В пахотных почвах, расположенных рядом с местом отбора образцов, запасы углерода в пахотном 20-см слое оценивались в 104–115 т/га; в метровом слое – 230–270 т/га [27]. По данным ретроспективного мониторинга за 35 лет в пахотных почвах Предуральской степи РБ запасы углерода снизились в незероированных почвах на 3,5 т/га, в слабоэроированных – на 11,6 т/га, в среднеэроированных – на 24,5 т/га [28]. Таким образом, вывод почв из сельскохозяйственного оборота и естественное зарастание залежей способствуют прекращению

процессов эрозии, восстановлению почвенного покрова до целинных аналогов и депонированию органического углерода в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстанавливающиеся на залежи степные сообщества обследованного участка переходят от стадии рыхлокустовых злаков к стадии плотнокустовых дерновинных злаков (вторичной целине) и отличаются от целинных богато-разнотравных луговых степей Южно-Уральского региона пониженным флористическим и ценоотическим разнообразием. Данные по запасам разных фракций фитомассы соответствуют показателям низкопродуктивных вариантов степей России. Особенностью сообществ является невысокая доля корней (47 % от общей фитомассы), что является низким показателем, по сравнению с луговыми степями Европейской России и Сибири, и связано с тем, что за более чем 20-летний период после прекращения распахивания климатическая степная растительность восстанавливалась не полностью, а также, возможно, с малой мощностью гумусового горизонта и щебнистостью почв. Почвы обследованного участка по содержанию и запасам углерода приближаются к целинным аналогам.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Программа создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон» на 2022-2023 гг.» (Номер для публикаций: FEUR-2022-0001).

ACKNOWLEDGMENT

The study was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation "Program for the creation and operation of a carbon polygon in the Republic of Bashkortostan 'Eurasian carbon polygon' for 2022-2023" (Publication number: FEUR-2022-0001).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Hurka H., Friesen N., Bernhardt K.-G., Neuffer B., Smirnov S.V., Shmakov A.I., Blattner F.R. The Eurasian steppe belt: Status quo, origin and evolutionary history // *Turczaninowia*. 2019. V. 22. N 3. P. 5–71. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.22.3.1>
- Wang X., Gao R., Yang X. Responses of soil moisture to climate variability and livestock grazing in a semiarid Eurasian steppe // *Science of The Total Environment*. 2021. V. 781. Article ID: 146705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146705>
- Piao S., Liu Q., Chen A., Janssens I.A., Fu Y., Dai J., Liu L., Lian X., Shen M., Zhu X. Plant phenology and global climate change: current progresses and challenges // *Global change biology*. 2019. V. 25. N 6. P. 1922–1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhiengaliyev A.T., Kudeyarov V.N. Carbon budgets in the steppe ecosystems of Russia // *Doklady Earth Sciences*. 2019. V. 485. P. 450–452. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19040238>
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Титова С.В. Степи и луга в обзоре «Temporale grasslands and shrublands of Russia» (2020) // *Вопросы степеведения*. 2021. N 1. С. 21–47.
- Wang M., Zhang C., Chen S., Zhang Y., Li Y., Xin X., Wang X., Yan R. Effects of grazing intensity on the carbon, nitrogen and phosphorus content, stoichiometry and storage of plant functional groups in a meadow steppe // *Agronomy*. 2022. V. 12. N 12. Article ID: 3057. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123057>
- Bai Y., Cotrufo M.F. Grassland soil carbon sequestration: current understanding, challenges, and solutions // *Science*. 2022. V. 377(6606). P. 603–608. <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>
- Ямалов С.М., Миркин Б.М. Флористическая и географическая дифференциация настоящих и луговых степей Южного Урала // *Растительный мир Азиатской России*. 2010. N 2(6). С. 58–65.
- Япаров И.М., Вильданов И.Р., Сүлейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю. Состояние и особенности динамики заброшенных сельскохозяйственных ландшафтов лесостепей Башкирского Предуралья // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2017. Т. 23. N 11. С. 28–36.
- Горчаковский П.Л. Растительность и ботанико-географическое деление Башкирской АССР. В кн.: *Определитель высших растений Башкирской АССР*. Москва: Наука, 1988. С. 5–13.
- Япаров И.М., ред. Атлас Республики Башкортостан. Уфа: ГУП РБ Башкирское книжное издательство «Китап», 2005. 420 с.
- ГОСТ Р 58595–2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб. Москва: Росстандарт, 2019. 8 с.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 8 с.
- Ямалов С.М., Баянов А.В., Мулдашев А.А., Аверина Е.А. Ассоциации луговых степей Южного Урала // *Растительность России*. 2013. N 22. С. 106–125. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2013.22.106>
- Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // *Почвоведение*. 2020. N 11. С. 1412–1422. <https://doi.org/10.1857/S0032180X20110039>
- Панкратова Л.А. Многолетние наблюдения за процессами восстановления растительного покрова на постагрогенных территориях музея-заповедника «Дивногорье» // *Дивногорский сборник. Труды музея-заповедника «Дивногорье»*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2018. С. 90–95.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. Продуктивность травяных экосистем: справочник. Москва: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.
- Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Шамакова Е.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Магомедова Л.Н., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н.В., Тишков А.А., Ти Тран, Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с. <https://doi.org/10.31251/978-5-600-02350-5>
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Москва: Наука, 1973. Кн. 2. 474 с.
- Работнов Т.А. Луговедение. Москва: Издательство МГУ, 1984. 320 с.
- Makunina N.I., Sambuu A.L. Structure and stock of phytomass as indicators of the stage of demutation of steppe fallow lands in Tyva // *Russian Journal of Ecology*. 2022. V. 53. N 5. P. 357–365. <https://doi.org/10.1134/s106741362205006x>
- Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.A., Ermolaev A.M. Dynamics of soil properties and plant composition during postagrogenic evolution in different bioclimatic zones // *Eurasian Soil Science*. 2017. V. 50. P. 1515–1534. <https://doi.org/10.1134/S1064229317120109>
- Бурдуковский М.Л., Перепелкина П.А. Агроэкологическое состояние почв и восстановление растительности в залежных экосистемах // *Биота и среда природных территорий*. 2022. Т. 10. N 2. С. 28–36. https://doi.org/10.37102/2782-1978_2022_2_3
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей // *Почвоведение*. 2022. N 4. С. 500–510. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2204013X>
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. URL: <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>. Rome: FAO, 2015. N 106. 182 p. (дата обращения: 26.06.2023)
- Хазиев Ф.Х., Мукатанов А.Х., Хабилов И.К., Кольцова Г.А., Габбасова И.М., Рамазанов Р.Я. Почвы Башкортостана. Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика. Уфа: Гилем, 1995. Т. 1. 384 с.

28. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K., Komissarov M.A., Fruehauf M., Liebelt P., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.Kh. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. N 10. P. 1204–1210. <https://doi.org/10.1134/S1064229316100070>

REFERENCES

1. Hurka H., Friesen N., Bernhardt K.-G., Neuffer B., Smirnov S.V., Shmakov A.I., Blattner F.R. The Eurasian steppe belt: Status quo, origin and evolutionary history. *Turczaninowia*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 5–71. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.22.3.1>
2. Wang X., Gao R., Yang X. Responses of soil moisture to climate variability and livestock grazing in a semiarid Eurasian steppe. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 781, article id: 146705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146705>
3. Piao S., Liu Q., Chen A., Janssens I.A., Fu Y., Dai J., Liu L., Lian X., Shen M., Zhu X. Plant phenology and global climate change: current progresses and challenges. *Global change biology*, 2019, vol. 25, no. 6, pp. 1922–1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
4. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhiengaliyev A.T., Kudeyarov V.N. Carbon budgets in the steppe ecosystems of Russia. *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 485, pp. 450–452. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19040238>
5. Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Titova S.V. Steppes and meadows in the review «Temporary grasslands and shrublands of Russia» (2020). *Voprosy steppevedeniya* [Steppe science]. 2021, no. 1, pp. 21–47. (In Russian)
6. Wang M., Zhang C., Chen S., Zhang Y., Li Y., Xin X., Wang X., Yan R. Effects of grazing intensity on the carbon, nitrogen and phosphorus content, stoichiometry and storage of plant functional groups in a meadow steppe. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 12, article id: 3057. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123057>
7. Bai Y., Cotrufo M.F. Grassland soil carbon sequestration: current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 2022, vol. 377(6606), pp. 603–608. <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>
8. Yamalov S.M., Mirkin B.M. The floristic and geographical differentiation of true and meadow steppes of the Southern Urals. *Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii* [Flora and vegetation of Asian Russia]. 2010, no. 2(6), pp. 58–65. (In Russian)
9. Yaparov I.M., Vildanov I.R., Suleimanov R.R., Saifullin I.Yu. Assessment of the status and dynamics of the abandoned agricultural landscapes of forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University]. 2017, vol. 23, no. 11, pp. 28–36. (In Russian)
10. Gorchakovskii P.L. Vegetation and botanical and geographical division of the Bashkir ASSR. In: *Opredelitel' vysshikh rastenii Bashkirskoi ASSR* [Handbook of higher plants of the Bashkir ASSR]. Moscow, Nauka Publ., 1988, pp. 5–13. (In Russian)
11. Yaparov I.M., ed. *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Kitap Publ., 2005, 420 p. (In Russian)
12. GOST R 58595–2019. National standard of the Russian Federation. Soils. Sample selection. Moscow, Rosstandart Publ., 2019, 8 p. (In Russian)
13. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 416 p. (In Russian)
14. GOST 26213–91. Soils. Methods for determining organic matter. Moscow, Committee for Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1992, 8 p. (In Russian)
15. Yamalov S.M., Bayanov A.V., Muldashev A.A., Averinova E.A. Meadow steppe associations of the South Urals. *Vegetation of Russia*, 2013, no. 22, pp. 106–125. (In Russian) <https://doi.org/10.31111/vegus/2013.22.106>
16. Azarenko (Myasnikova) M.A., Kazeev K.Sh., Yermolayeva O.Yu., Kolesnikov S.I. Change of vegetation cover and biological properties of chernozems in the postagrogenic period. *Soil science*, 2020, no. 11, pp. 1412–1422. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0032180X20110039>
17. Pankratova L.A. Mnogoletniye nablyudeniya za protsessami vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na postagrogennykh territoriyakh muzeya-zapovednika «Divnogor'ye» [Long-term observations of the processes of restoration of vegetation cover in the post-agrogenic territories of the museum-reserve «Divnogorye»]. In: *Divnogorskii sbornik. Trudy muzeya-zapovednika «Divnogor'ye»* [Divnogorsky collection. Proceedings of the museum-reserve «Divnogorie»]. Voronezh, Scientific book Publ., 2018, pp. 90–95. (In Russian)
18. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. *Produktivnost' travnyanykh ekosistem: spravochnik* [Productivity of grass ecosystems: a handbook]. Moscow, MBA Publ., 2020, 100 p. (In Russian)
19. Titlyanova A.A., Basilevich N.I., Shmakova E.I., Snytko V.A., Dubynina S.S., Magomedova L.N., Nefedyeva L.G., Semenyuk N.V., Tishkov A.A., Ti Tran, Khakimzyanova F.I., Shatokhina N.G., Kyrgys C.O., Sambuu A.D. *Biologicheskaya produktivnost' travnyanykh ekosistem. Geograficheskiye zakonomernosti i ekologicheskiye osobennosti* [Biological productivity of grass ecosystems. Geographic patterns and ecological features]. Novosibirsk, IPA SB RAS Publ., 2018, 110 p. (In Russian) <https://doi.org/10.31251/978-5-600-02350-5>
20. Kovda V.A. *Osnovy ucheniya o pochvakh. Obshchaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsessa*. [Fundamentals of the study of soils. General theory of the soil-forming process]. Moscow, Nauka Publ., 1973, book 2, 474 p. (In Russian)
21. Rabotnov T.A. *Lugovedeniye* [Meadow science]. Moscow, MSU Publ., 1984, 320 p. (In Russian)
22. Makunina N.I., Sambuu A.L. Structure and stock of phytomass as indicators of the stage of demutation of steppe fallow lands in Tyva. *Russian Journal of Ecology*, 2022, vol. 53, no. 5, pp. 357–365. <https://doi.org/10.1134/s106741362205006x>
23. Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.A., Ermolaev A.M. Dynamics of soil properties and plant composition during postagrogenic evolution in different bioclimatic zones. *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, pp. 1515–1534. <https://doi.org/10.1134/S1064229317120109>
24. Burdukovskii M.L., Perepelkina P.A. Agroecological state of soils and vegetation recovery in fallow ecosystems. *Biota and environment of natural areas*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 28–36. (In Russian) https://doi.org/10.37102/2782-1978_2022_2_3
25. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Change in net primary production and recovery of carbon stock of old field soils. *Soil Science*, 2022, no. 4, pp. 500–510. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0032180X2204013X>
26. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports*. Available at: <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>. Rome, FAO, 2015, no. 106, 182 p. (accessed 26.06.2023)
27. Khaziyev F.Kh., Mukatanov A.Kh., Khabirov I.K., Kol'tsova G.A., Gabbasova I.M., Ramazanov R.Ya. *Pochvy Bashkortostana. Ekologo-geneticheskaya i agroproduktivnaya kharakteristika* [Soils of Bashkortostan. Ecological-genetic and agricultural production characteristics]. Ufa, Gilem Publ., 1995, vol. 1, 384 p. (In Russian)
28. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K., Komissarov M.A., Fruehauf M., Liebelt P., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.Kh. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region. *Eurasian*

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Эльвира З. Баишева участвовала в полевых исследованиях, отборе проб (уковок) растений, анализе данных и написании текста рукописи. Николай И. Федоров участвовал в полевых исследованиях, геоботаническом обследовании растительности, отборе проб (уковок) растений, анализе данных и написании текста рукописи. Светлана Н. Жигунова участвовала в полевых исследованиях, геоботаническом обследовании растительности отборе проб (уковок), статистической обработке данных. Павел С. Широких участвовал в полевых исследованиях, отборе проб (уковок), анализе данных и редактировании текста рукописи. Михаил А. Комиссаров участвовал в почвенно-полевым обследовании, проводил анализы по определению плотности почв, обрабатывал данные, участвовал в написании рукописи. Илюся М. Габбасова руководила научно-организационным процессом исследования почв, анализировала результаты. Альберт А. Мулдашев участвовал в полевых исследованиях и флористических исследованиях, анализе данных по флоре. Ильнур Г. Бикбаев участвовал в полевых исследованиях, отборе проб (уковок) растений, съемке участка с применением БПЛА. Ильшат Р. Туктамышев участвовал в полевых исследованиях, отборе проб (уковок) растений, анализе ГИС-данных, картировании растительности участка. Галина В. Шендель участвовала во взвешивании и подготовке проб для химического анализа. Руслан Р. Сулейманов участвовал в почвенно-полевым обследовании. Тимур Т. Гарипов определял содержание углерода в образцах почвы, участвовал в написании рукописи. 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

Elvira Z. Baisheva participated in field research, plant sampling, data analysis and writing the text of the manuscript. Nikolai I. Fedorov participated in field research, geobotanical study of vegetation, plant sampling, data analysis and editing the text of the manuscript. Svetlana N. Zhigunova participated in field research, plant sampling, geobotanical survey of vegetation and statistical data processing. Pavel S. Shirokikh participated in field research, plant sampling, data analysis and editing of the text of the manuscript. Mikhail A. Komissarov participated in the soil-field survey, carried out analyses in determination of the soil bulk density, processed the data and participated in writing of the manuscript. Ilyusya M. Gabbasova led the scientific and organizational process of soil studies and analysed the results. Albert A. Muldashev participated in flora study and analysis. Ilnur G. Bikbaev participated in field research, plant sampling and surveying the site using UAV. Ilshat R. Tuktamyshev participated in field research, plant sampling, analysing GIS data and mapping the vegetation of the area. Galina V. Shendel participated in the weighing and preparation of samples for chemical analysis. Ruslan R. Suleymanov participated in the soil field survey. Timur T. Garipov determined the carbon content in soil samples and participated in writing of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Эльвира З. Баишева / Elvira Z. Baisheva <https://orcid.org/0000-0002-00002-012X>
Николай И. Федоров / Nikolai I. Fedorov <https://orcid.org/0000-0002-0167-7449>
Светлана Н. Жигунова / Svetlana N. Zhigunova <https://orcid.org/0000-0002-7129-8292>
Павел С. Широких / Pavel S. Shirokikh <https://orcid.org/0000-0003-1864-4878>
Михаил А. Комиссаров / Mikhail A. Komissarov <https://orcid.org/0000-0001-6135-7212>
Илюся М. Габбасова / Ilyusya M. Gabbasova <https://orcid.org/0000-0002-9238-9011>
Альберт А. Мулдашев / Albert A. Muldashev <https://orcid.org/0000-0002-0619-4171>
Ильнур Г. Бикбаев / Ilnur G. Bikbaev <https://orcid.org/0000-0001-5063-2362>
Ильшат Р. Туктамышев / Ilshat R. Tuktamyshev <https://orcid.org/0000-0002-5923-3349>
Галина В. Шендель / Galina V. Shendel <https://orcid.org/0000-0001-5870-2978>
Руслан Р. Сулейманов / Ruslan R. Suleymanov <https://orcid.org/0000-0002-7754-0406>
Тимур Т. Гарипов / Timur T. Garipov <https://orcid.org/0000-0003-4942-8203>

Оригинальная статья / Original article
УДК 58.087
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-74-81

Структура изменчивости признаков побега и плода субальпийских популяций *Fagus orientalis* Lipsky Западного и Восточного Кавказа

Хабагин У. Алиев^{1,2}

¹Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²Сочинский национальный парк, Сочи, Россия

Контактное лицо

Хабагин У. Алиев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительных ресурсов Горного ботанического сада ДФИЦ РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45.

Тел. +79887991445

Email alievxu@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>

Формат цитирования

Алиев У.А. Структура изменчивости признаков побега и плода субальпийских популяций *Fagus orientalis* Lipsky Западного и Восточного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 74-81. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-74-81

Получена 22 августа 2023 г.

Прошла рецензирование 16 октября 2023 г.

Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Сравнительное изучение и анализ изменчивости признаков побега и плода *Fagus orientalis* Lipsky субальпийских популяций Западного и Восточного Кавказа.

Материал и методы. Для анализа использованы рандомизированно собранные годичные побеги с плодами у 47 деревьев *Fagus orientalis* из 6 популяций Западного и Восточного Кавказа. В выявлении изменчивости использованы данные измерений 12 признаков. Общая повторность измерений каждого признака для 6 популяций составила 1318.

Результаты. Сравнительное изучение изменчивости признаков побега и плода *Fagus orientalis* из 6 популяций Восточного и Западного Кавказа показало преобладание размерных признаков у особей из популяций Восточного Кавказа. Наибольшим уровнем изменчивости отличается признак «длина годичного побега» – 70,6 %. Низкие и средние уровни выявлены у признаков плода, длины и ширины листовой пластинки и длины плюски. Результаты t-критерия Стьюдента показали наибольшую значимость различий по признаку «длина верхушечной почки» – 28,98. Корреляционный анализ выявил положительные достоверные связи по большинству пар признаков. Наиболее тесные из них отмечены у всех признаков плода и признака длины и ширины листовой пластинки.

Выводы. Преобладание размерных значений признаков у особей из популяций Восточного Кавказа связано с климатическими условиями – вегетационный период на Западном Кавказе короче почти на месяц. Низкий уровень изменчивости признаков плода подтверждает их большую генетическую детерминированность. Признак «длина верхушечной почки» может быть использован как индикаторный, отражающий степень влияния экологических факторов среды на популяции. Наиболее тесные корреляционные связи проявляются по признакам плода и парой признаков длина и ширина листовой пластинки.

Ключевые слова

Западный и Восточный Кавказ, популяция, *Fagus orientalis*, побег, плод, структура изменчивости, признак.

The structure of variability in shoot and fruit traits of subalpine populations of *Fagus orientalis* Lipsky in the Western and Eastern Caucasus

Khabagin U. Aliev^{1,2}

¹Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Sochi National Park, Sochi, Russia

Principal contact

Khabagin U. Aliev, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Flora and Plant Resources, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadjeva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79887991445

Email alievxu@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>

How to cite this article

Aliev Kh.U. The structure of variability in shoot and fruit traits of subalpine populations of *Fagus orientalis* Lipsky in the Western and Eastern Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 74-81. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-74-81

Received 22 August 2023

Revised 16 October 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. Comparative study and analysis of the variability of characters of the shoots and fruit of *Fagus orientalis* Lipsky from subalpine populations of the Western and Eastern Caucasus.

Material and Methods. For the analysis randomly collected annual shoots with fruit from 47 *Fagus orientalis* trees from 6 populations of the Western and Eastern Caucasus were used. Measurement data from 12 traits were used to identify variability. The total repetition of measurements for each trait for 6 populations was 1318.

Results. A comparative study of the variability of traits in the shoot and fruit of *Fagus orientalis* from 6 populations of the Eastern and Western Caucasus showed a predominance of size traits in individuals from the Eastern Caucasus. The trait "length of annual shoot" had the highest level of variability – 70.6%. Low and medium levels were detected in fruit traits, leaf blade length and width, and plus length. The results of Student's t-tests showed the greatest significance of differences in the "length of annual bud" trait – 28.98. Correlation analysis revealed positive, reliable relationships for most pairs of characteristics. The closest of them are noted in all fruit characters and in the character of length and width of the leaf blade.

Conclusions. The predominance of size values of traits in individuals from populations of the Eastern Caucasus is associated with climatic conditions – the growing season in the Western Caucasus being shorter by almost a month. The low level of variability of fetal traits confirms their high genetic determination. The "apical bud length" trait can be used as an indicator, reflecting the degree of influence of environmental factors on populations. The closest correlations are manifested by the characteristics of the fruit and a pair of characteristics - the length and width of the leaf blade.

Key Words

Western and Eastern Caucasus, population, *Fagus orientalis*, shoot, fruit, structure of variability, character.

ВВЕДЕНИЕ

Реликт третичного периода, восточно-средиземноморский вид – *Fagus orientalis*, является одним из основных лесобразующих пород на Кавказе. Имеет обширное распространение с сильно разорванным ареалом почти во всех районах Кавказа, что подтверждает его реликтовый характер, а также говорит о большом влиянии почвенно-климатических и орографических условий. Леса с его доминированием и участием выполняют огромную роль в сохранении биологического разнообразия и экологического равновесия на Кавказском перешейке. Встречается бук восточный от берега моря (Каспийское море на востоке, Черное – на западе), где произрастает в виде небольших групп, или одиночными деревьями и поднимается до высоты 2200 м над ур. м. Для произрастания буковых лесов необходимо минимальное количество осадков составляет 500 мм в год, а влажность воздуха не должна опускаться ниже 50 %. На Западном Кавказе поднимается до высоты 1900, где произрастает в виде криволесья. На Восточном Кавказе *Fagus orientalis* поднимается до высоты 2200 м над ур. м. Из-за отсутствия необходимой толщины снежного покрова криволесья здесь не формируются. Лишь изредка наблюдаются небольшие смешанные участки криволесья на участках языков лавины в ложбинах [1; 2].

На сегодняшний день особую актуальность в биологических исследованиях приобретает всестороннее изучение вида, где в качестве элементарной единицы его существования рассматривается популяция. Кроме того, популяция выполняет функции структурно-функционального элемента экосистемы, занимая определенное место в трофической цепи и принимая непосредственное участие в преобразовании вещества и энергии [3].

Основным диагностическим критерием, характеризующим все многообразие признаков в популяции, остается единство и специфика генофонда вида. Генофонд способствует проявлению морфологической неравноценности признаков особей внутри популяций. При этом пространственная гетерогенность среды способствует обеспечению дополнительного влияния на изменчивость внутрипопуляционной структуры морфологических признаков. Особое значение имеет изучение внутривидовой изменчивости, ее уровней и направленности, которое позволяет оценить природные процессы формообразования и является необходимым этапом таксономических исследований [4; 5].

Исследованию закономерности проявления гетерогенности популяций морфологических признаков *Fagus orientalis* посвящено не много работ. Ранее нами изучена межпопуляционная изменчивость признаков плода двух изолированных популяций *Fagus orientalis* Предгорного и Высокогорного Дагестана. Было выявлено, что наиболее изменчивыми из признаков плода являются масса соплодия и масса плода и менее изменчивы линейные признаки. Наиболее высокие межпопуляционные различия, отмеченные по признаку длина плюски, который отражает степень влияния экологических факторов среды на популяции. Корреляционный анализ выявил наличие высокой тесноты связи между всеми изученными параметрами признаков плода [6]. Сведения по изменчивости некоторых признаков плюски и листовой пластинки

субальпийской популяции *Fagus orientalis* в Высокогорном Дагестане (Восточный Кавказ) приведены в работе Магомедмирзаева М.М. [7].

На Западном Кавказе вопросами изменчивости признаков листа из разных высотных уровней у ранних и поздних фенологических типов *Fagus orientalis* занимался М.В. Придня. Были учтены такие признаки листа как длина, ширина, площадь, количество жилок и особенности края листовой пластинки. Особое внимание им уделено оценке роли в микроэволюции модификационной изменчивости и корреляций признаков листа. По результатам проведенных исследований им выделены три линии дифференциации популяций: 1 – между лесным и субальпийским поясом, 2 – между Колхидской и Кубанской провинциями и 3 – между формациями бука и пихты вдоль высотного градиента [8].

Что касается работ зарубежных исследователей, отметим научный интерес, проявляемый турецкими и иранскими учеными. Связано это с тем, что и для этих стран буковые леса играют важную социально-экономическую роль. Особое внимание большинство исследователей уделяет выявлению изменчивости признаков листа *Fagus orientalis* и некоторым физиологическим процессам, протекающим в них, в зависимости от места произрастания и высоты над уровнем моря [9–11]. Также, встречаются работы, посвященные изучению изменчивости признаков побега ювенильных особей в интродукционных эколого-генетических исследованиях [12].

Необходимо отметить работу по выявлению изменчивости индикаторных морфологических признаков плюски из различных популяций, произрастающих на территории Сербии, выполненная учеными для таксономической идентификации произрастающего в естественной флоре представителя рода *Fagus*. Полученные результаты позволили отнести изученные популяции к *Fagus sylvatica* L. [13].

Обобщая выше сказанное отметим, что комплексное изучение морфологических признаков побега и плода из одного годичного побега *Fagus orientalis* никем не проводилось. Не встречаются подобные работы и в многочисленных исследованиях изменчивости признаков вегетативной и генеративной сферы *Fagus sylvatica*, произрастающий в Западной Европе.

Необходимость проведения более детальных исследований изменчивости признаков вызвана еще и тем, что в процессе изучения генетической структуры 20 популяций *Fagus orientalis* из Кавказа и Крыма нами было выявлено сходство популяций на верхней (субальпийской) границе букового пояса в различных районах Кавказского перешейка, что может указывать на параллелизм в развитии и становлении высокогорных популяций [14].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для статьи послужили популяционные сборы годичных побегов с соплодиями и листьями у 47 деревьев из 6 популяций *Fagus orientalis* на Западном и Восточном Кавказе. На Восточном Кавказе сбор побегов проведен в окрестностях сс. Гарбутль, Тлядаль и Хупри Цунтинского административного района Республики Дагестан (рис. 1). Все три популяции произрастают в субальпийском поясе на высоте

1800–2000 м над ур. м. Материал получен из 24 деревьев, где с каждого дерева было собрано от 11 до 30 годичных побега и в статистический анализ вовлечено 638 повторностей. На Западном Кавказе материал собран у 23 деревьев из трех популяций, произрастающие в субальпийском поясе на высотах 1700–1800 м над ур. м. Сбор проводился в окрестностях

горы Аутль и озер Хмелевского, территориально относящиеся к Краснодарскому краю и горы Фишт, относящаяся к Майкопскому административному району Республики Адыгея. Для анализа из 23 дерева собрано от 20 до 30 побега и, в общем, составило 680 повторности.

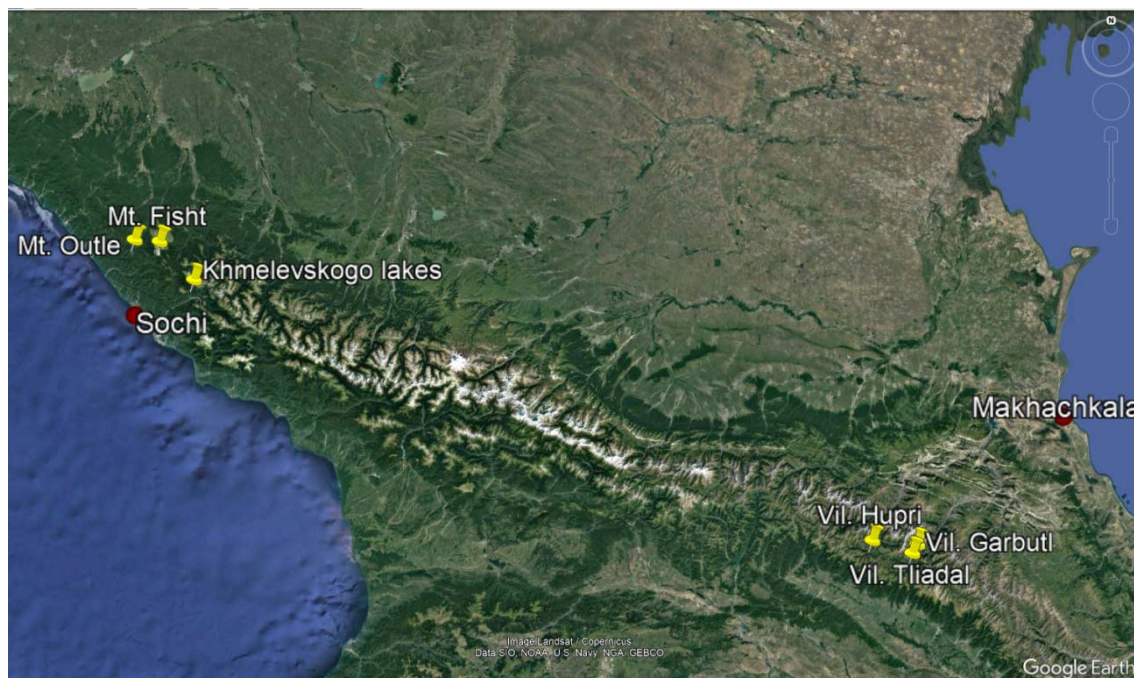


Рисунок 1. Карта-схема расположения 6 популяций *Fagus orientalis* на Восточном и Западном Кавказе

Figure 1. Schematic map of the location of 6 populations of *Fagus orientalis* in the Eastern and Western Caucasus

Линейные признаки побега и плодов *Fagus orientalis* изучали путем элементарных измерений линейкой и штангенциркулем в сантиметрах, а количественные – путем прямого подсчета в штуках. Всего учтено 12 признаков: длина годичного побега, количество листьев, длина листовой пластинки, ширина листовой пластинки, длина черешка, длина верхушечной почки, длина оси соплодия, длина плюски, длина первого плода, ширина первого плода, длина второго плода, ширина второго плода. Статистический анализ изменчивости проведен с применением общепринятых методов описательной статистики и корреляционного анализа с использованием лицензионной системы обработки данных Statistica v. 12 [15; 16].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены обобщенные результаты статистических параметров признаков из трех популяций Восточного Кавказа. Средний годичный прирост для изученных популяций составляет 3,2 см, где в среднем закладывается 5,6 листа, длиной 7,3 см и шириной 4,3 см. Длина черешка составляет 0,9 см. К концу вегетационного периода длина верхушечной почки достигает 2,5 см. Среднее значение для длины плюски немного выше длины оси соплодия и составляет 2,3 и 2,1 см, соответственно. Отметим, что у некоторых особей максимальные значения длины оси соплодия больше двух раз превышает среднее значение длины соплодия. Средние значения длины плодов у особей из трех популяций Восточного Кавказа одинаковые и составляют 1,51 см. Отмечена незначительная разница в диаметрах первого и второго

плода – 0,69 и 0,68 см, соответственно, что можно объяснить механическим сдавливанием в процессе созревания внутри плюски.

Наибольшая изменчивость из учтенных признаков, как и следовало ожидать, наблюдается у признака длина годичного побега – 57,4 %, относящаяся к очень высокому уровню по шкале Мамаева. Наиболее стабильными являются признаки плода. Так, диаметр плода (9,5 – 10,2 %) имеет низкий уровень вариации, а длина плода (13,5 – 13,7%) – средний. К среднему уровню вариации также относятся такие признаки, как длина листовой пластинки – 17,8, длина почки – 16,9 % и длина плюски – 19,8 %. Остальные признаки отнесены к высокому уровню вариации.

В таблице 2 представлены обобщенные результаты статистических параметров признаков плода и побега из трех субальпийских популяций Западного Кавказа. Средний годичный прирост составляет 2,8 см. Количество заложённых листьев относительно длины побега у этих популяций выше и составляет 8,2 листа, хотя размеры длины и ширины листовой пластинки не сильно разнятся и составляют 7,3 и 4,2 см, соответственно. Средняя длина черешка также составляет 0,9 см. Средняя длина верхушечной почки у особей на Западном Кавказе на 0,4 см короче, чем у особей на Восточном Кавказе и составляет 1,1 см, что связано с климатическими условиями, а именно с укороченным суммарно около одного месяца вегетационным периодом на Западном Кавказе. Средние значения длины оси соплодия и плюски не сильно разнятся – 2,1 и 2,2 см, соответственно. Значения длины и ширины плодов ниже, чем у

популяций из Восточного Кавказа, и наблюдаются незначительные различия по длине и ширине первого и второго плода, также связанные с механическим

сдавливанием и конкуренцией в процессе созревания плодов внутри плюски.

Таблица 1. Статистические параметры признаков побега и плода *Fagus orientalis* объединенной выборки из трех популяций Восточного Кавказа

Table 1. Statistical parameters of shoot and fruit traits of *Fagus orientalis* from a combined sample from three populations of the Eastern Caucasus

Признак Characteristic	N	X±Sx	Min	Max	CV
A	638	3,2±0,07	0,7	18,2	57,4
B	638	5,6±0,07	2,0	14,0	29,7
C	638	7,3±0,05	3,9	11,5	17,8
D	638	4,3±0,04	0,6	7,6	21,4
E	638	0,9±0,01	0,5	1,7	20,9
F	638	1,5±0,01	0,8	2,9	16,9
G	638	2,1±0,02	0,7	4,8	28,3
H	638	2,3±0,02	1,2	3,5	19,8
I	638	1,51±0,006	0,82	1,95	9,5
J	638	0,69±0,004	0,37	1,40	13,5
K	638	1,51±0,006	0,84	1,89	10,2
L	638	0,68±0,004	0,34	1,00	13,7

Примечание (здесь и далее в таблицах сокращения обозначений признаков): А – длина годовичного побега, В – количество листьев, С – длина листовой пластинки, D – ширина листовой пластинки, E – длина черешка, F – длина верхушечной почки, G – длина оси соплодия, H – длина плюски, I – длина первого плода, J – ширина первого плода, K – длина второго плода, L – ширина второго плода

Note (abbreviations for characteristic designations in the tables below): A – length of annual shoot, B – number of leaves, C – length of leaf blade, D – width of leaf blade, E – length of petiole, F – length of apical bud, G – length of infructescence axis, H – length of cupule, I – length of the first fruit, J – width of the first fruit, K – length of the second fruit, L – width of the second fruit

Наибольшая изменчивость отмечена у длины годовичного побега – 83,3 %. Почти все размерные признаки плода имеют средний уровень изменчивости и колебания значений составляют 11,4 – 15,5 %. Средние значения отмечены у признаков длина листовой пластинки – 17,5 %, ширина листовой пластинки – 17,6 % и длина плюски – 15,2 %. Остальные признаки отнесены к высокому уровню изменчивости: количество листьев – 31,3 %, длина черешка – 23,5 %, длина верхушечной почки – 21,1 и длина оси соплодия – 26,7 %.

Обобщенные результаты статистических параметров признаков и t-критерия Стьюдента у 6 субальпийских популяций Восточного и Западного Кавказа приведены в таблице 3.

Наибольший уровень изменчивости у признака длина годовичного побега – 70,6 %. К признакам с низким

уровнем изменчивости отнесены такие признаки, как: длина первого плода – 10,8 % и длина второго плода – 11,6 %. К признакам со средним уровнем изменчивости относятся: диаметр первого плода – 14,6 %, диаметр второго плода – 15,6 %, длина листовой пластинки – 17,7 %, ширина листовой пластинки – 19,6 % и длина плюски – 18,2 %.

Результаты t-критерия Стьюдента показал высокий уровень достоверности различий показателей у большинства учетных признаков побега и плодов *Fagus orientalis*. Наибольшая значимость наблюдается по признаку длина верхушечной почки – 28,98. Недостоверные различия отмечены у признаков: длина листовой пластинки и длина оси соплодия.

Таблица 2. Статистические параметры признаков побега и плода *Fagus orientalis* объединенной выборки из трех популяций Западного Кавказа

Table 2. Statistical parameters of shoot and fruit traits of *Fagus orientalis* from a combined sample from three populations of the Western Caucasus

Признак Characteristic	N	X±Sx	Min	Max	CV
A	680	2,8±0,09	0,6	16,2	83,3
B	680	8,2±0,10	3,0	17,0	31,3
C	680	7,3±0,05	4,2	12,0	17,5
D	680	4,2±0,03	2,3	7,0	17,6
E	680	0,9±0,01	0,3	1,6	23,5
F	680	1,1±0,01	0,6	2,0	21,1
G	680	2,2±0,02	1,0	4,3	26,7
H	680	2,1±0,01	1,2	3,0	15,2
I	680	1,43±0,006	1,02	1,87	11,4
J	680	0,63±0,003	0,24	0,85	14,0
K	680	1,42±0,007	0,86	1,87	12,1
L	680	0,61±0,004	0,19	0,89	15,5

Таблица 3. Статистические параметры признаков побега и плода *Fagus orientalis* и результаты t-критерия Стьюдента для объединенной выборки из шести популяций Восточного и Западного Кавказа
Table 3. Statistical parameters of shoot and fruit traits of *Fagus orientalis* and results of Student's t-tests for a combined sample of six populations of the Eastern and Western Caucasus

Признак Characteristic	N	X±Sx	Min	Max	CV	t-критерий Стьюдента Student t-test
A	1318	3,0±0,06	0,6	18,2	70,6	3,88***
B	1318	6,9±0,07	2,0	17,0	36,2	21,30***
C	1318	7,3±0,04	3,9	12,0	17,7	0,48
D	1318	4,3±0,02	0,6	7,6	19,6	1,99*
E	1318	0,9±0,01	0,3	1,7	22,6	6,90***
F	1318	1,3±0,01	0,6	2,9	24,0	28,98***
G	1318	2,1±0,02	0,7	4,8	27,5	1,38
H	1318	2,2±0,01	1,2	3,5	18,2	8,27***
I	1318	1,47±0,004	0,82	1,95	10,8	9,97***
J	1318	0,66±0,003	0,24	1,4	14,6	12,95***
K	1318	1,46±0,005	0,84	1,89	11,6	9,93***
L	1318	0,65±0,003	0,19	1,0	15,6	13,87***

Примечание: уровни достоверности по t-критерию: * – P<0,05; ** – P<0,01; *** – P<0,001

Note: confidence level by t-test: * – P<0,05; ** – P<0,01; *** – P<0,001

В таблице 4 представлены результаты корреляционного анализа объединенной выборки из трех популяций *Fagus orientalis* Восточного Кавказа, который показал достоверные положительные связи по большинству пар признаков. Большинство из выявленных связей являются слабыми. Средние и высокие связи отмечены у некоторых пар признаков плода и у длины и ширины листовой пластинки.

Результаты корреляционного анализа объединенной выборки из трех популяций *Fagus orientalis* Восточного Кавказа приведены в таблице 5. По большинству признаков отмечены достоверные положительные связи, наиболее значительные из которых между размерными признаками плодов между собой и длиной и шириной листовой пластинки.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции для признаков побега и плода *Fagus orientalis* объединенной выборки из трех популяций Восточного Кавказа

Table 4. Correlation coefficients for traits of shoot and fruit of *Fagus orientalis* from a combined sample of three populations of the Eastern Caucasus

Признак Characteristic	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1,00											
B	0,25*	1,00										
C	0,09*	-0,05	1,00									
D	0,18*	0,01	0,79	1,00								
E	-0,14*	0,43*	0,11	0,05	1,00							
F	0,21*	0,06	0,26	0,12*	0,06	1,00						
G	0,35*	0,11*	0,34	0,36*	-0,06	0,09*	1,00					
H	0,03	0,27*	-0,06	-0,18*	0,41*	-0,01	-0,22*	1,00				
I	0,09*	-0,07	0,06	-0,03	0,13*	0,17*	-0,06	0,39*	1,00			
J	0,06	0,02	0,14	0,02	0,16*	0,32*	-0,08*	0,22*	0,44*	1,00		
K	0,09*	-0,07	0,08	-0,02	0,13*	0,16*	-0,07	0,40*	0,73*	0,23*	1,00	
L	0,06	0,02	0,12	0,02	0,14*	0,3*	-0,08	0,23*	0,27*	0,44*	0,48*	1,00

Примечание: уровень достоверности на P<0,05

Note: confidence level of P<0,05

Таблица 5. Коэффициенты корреляции для признаков побега и плода *Fagus orientalis* объединенной выборки из трех популяций Западного Кавказа

Table 5. Correlation coefficients for traits of shoot and fruit of *Fagus orientalis* from a combined sample of three populations of the Western Caucasus

Признак Characteristic	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1,00											
B	0,82*	1,00										
C	0,15*	0,08*	1,00									
D	0,19*	0,15*	0,82*	1,00								
E	0,01	0,06	0,37*	0,35*	1,00							
F	0,36*	0,25*	0,15*	0,15*	-0,08*	1,00						
G	0,36*	0,29*	0,50*	0,44*	0,19*	0,32*	1,00					
H	0,17*	0,21*	0,29*	0,29*	0,28*	0,07	0,42*	1,00				

I	0,07	0,07	0,21*	0,07	0,13*	0,19*	0,40*	0,54*	1,00				
J	0,12*	0,05	0,09*	0,07	0,01	0,42*	0,18*	0,29*	0,50*	1,00			
K	0,05	0,04	0,23*	0,09*	0,14*	0,14*	0,40*	0,56*	0,86*	0,32*	1,00		
L	0,10*	0,04	0,06	0,04	0,02	0,34*	0,20*	0,31*	0,39*	0,42*	0,56*	1,00	

Примечание: уровень достоверности на $P < 0,05$

Note: confidence level of $P < 0,05$

В таблице 6 приведены результаты корреляционного анализа для объединенной выборки из 6 популяций *Fagus orientalis* из Восточного и Западного Кавказа. Также, наблюдаются положительные достоверные

положительные связи по преобладающему большинству изученных пар признаков. Наиболее тесные связи отмечены у признаков плода и признака длины и ширины листовой пластинки.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции для признаков побега и плода *Fagus orientalis* объединенной выборки из шести популяций

Table 6. Correlation coefficients for traits of shoot and fruit of *Fagus orientalis* from a combined sample of six populations from the Eastern and Western Caucasus

Признак Characteristic	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1,00											
B	0,49*	1,00										
C	0,12*	0,02	1,00									
D	0,18*	0,05	0,80*	1,00								
E	-0,03	0,07*	0,24*	0,20*	1,00							
F	0,29*	-0,20*	0,17*	0,14*	0,11*	1,00						
G	0,35*	0,20*	0,42*	0,39*	0,06*	0,13*	1,00					
H	0,11*	0,07*	0,09*	0,01	0,37*	0,16*	0,04	1,00				
I	0,10*	0,12*	0,14*	0,03	0,18*	0,30*	0,17*	0,48*	1,00			
J	0,12*	0,14*	0,11*	0,05	0,14*	0,48*	0,03	0,30*	0,51*	1,00		
K	0,09*	-0,13*	0,16*	0,05	0,18*	0,28*	0,17*	0,49*	0,82*	0,34*	1,00	
L	0,12*	-0,15*	0,09*	0,05	0,14*	0,43*	0,05	0,31*	0,40*	0,49*	0,57*	1,00

Примечание: уровень достоверности на $P < 0,05$

Note: confidence level of $P < 0,05$

ВЫВОДЫ

1. Результаты сравнительного анализа изменчивости морфологических признаков побега и плода *Fagus orientalis* показал преобладание размерных значений у особей из Восточного Кавказа, что связано с климатическими условиями Западного Кавказа, где на местах локализации популяций вегетационный период укорочен почти на месяц. Наиболее стабильными оказались признаки плода, что подтверждает их большую генетическую детерминированность. Очень высокий уровень изменчивости отмечен у длины годовичного побега – 70,6 % для объединенной выборки.
2. Результаты t-критерия Стьюдента показали высокий уровень достоверности различий показателей у большинства учтенных признаков. Наибольшую значимость наблюдаются по признаку длина верхушечной почки – 28,98. Признак длина верхушечной почки может быть использован как индикаторный, который отражает степень влияния экологических факторов среды на популяцию.
3. Корреляционный анализ показал наличие достоверных положительных связей по большинству изученным признаками. Наиболее тесные связи проявляются между признакам плода и парой признаков длина и ширина листовой пластинки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мальцев М.П. Бук. Москва: Лесная промышленность, 1980. 80 с.
2. Алиев Х.У. Возрастная структура и оценка состояния *Fagus orientalis* Lipsky в Кавказском экорегионе // Юг

России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 2. С. 52–61. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-52-61

3. Одум Е. Экология. Москва: Мир, 1986. 328 с.

4. Глогов И.В. Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки // Экология. 1983. N 1. С. 3–9.

5. Злобин Ю.А. Структура фитопопуляций // Успехи современной биологии. 1996. Т. 116. N 2. С. 113–116.

6. Алиев Х.У. Межпопуляционная изменчивость признаков плода *Fagus orientalis* Lipsky в Дагестане // Материалы Международной научной конференции «Биологические и гуманитарные ресурсы развития горных регионов», Махачкала, 10–12 сентября, 2009. С. 113–115.

7. Магомедмирзаев М.М. Об оценке морфогенетической изменчивости некоторых признаков в ценопопуляциях бука восточного // Сборник научных сообщений. Махачкала, 1969. С. 29–37.

8. Придня М.В. Изменчивость и корреляции морфологических признаков, их роль в дифференциации популяций восточного бука // Экологические исследования в Кавказском биосферном заповеднике. Отв. ред. доктор географических наук Ю.Н. Куражковский. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та. 1985. С. 10–21.

9. Özel H.B., Sevik H., Kaptan S., Varol T. Doğru kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) bireylerinde farklı alana geliş şekillerine göre bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler arasındaki farklılıkların incelenmesi // Bartın Orman Fakültesi Dergisi. 2021. N 23(2). P. 636–641. DOI: 10.24011/barofd.958446

10. Güney D., Turna I., Kulaç Ş. Effects of geoclimatic features on morphogenetic variability in *Fagus orientalis* // Austrian Journal of Forest Science. 2022. N 139(4). P. 289–318.

11. Bijarpasi M.M., Shahraji T.R., Lahiji H.S. Genetic variability and heritability of some morphological and physiological traits in *Fagus orientalis* Lipsky along an elevation gradient in

Hyrcean forests // *Folia Oecologica*. 2019. V. 46. N 1. P. 45–53. DOI: 10.2478/foecol-2019-0007

12. Güney D., Turna H., Turna I., Kulaç Ş., Atar F., Filiz E. Variations within and among populations depending on some leaf characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) // *Biological Diversity and Conservation*. 2016. N 9 / 2 (S1). P. 2–9.

13. Ivetić V., Kerkez I., Denić I., Devetak J. Variability of beech cupules in Serbia // *Reforesta*. 2018. N 5. P. 27–32. DOI: 10.21750/REFOR.5.05.51

14. Алиев Х.У., Колтунова А.М., Куцев М.Г., Туниев Б.С. Популяционно-генетический анализ бука восточного (*Fagus orientalis* Lipsky) с территории Крыма и Кавказа // *Turczaninowia*. 2020. T. 23. N 4. C. 17–31. DOI: 10.14258/turczaninowia.23.4.3.

15. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

16. Марков М.В. Популяционная биология растений. М.: КМК, 2012. 378 с.

REFERENCES

1. Maltsev M.P. *Buk* [The beech]. Moscow, Forest Industry Publ., 1980, 80 p. (In Russian)

2. Aliev K.U. Age structure and condition assessment of *Fagus orientalis* Lipsky in the Caucasian Ecoregion. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 52–61. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-52-61

3. Odum E. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, Mir Publ., 1986, 328 p. (In Russian)

4. Glotov I.V. Assessment of genetic heterogeneity of natural populations: quantitative characteristics. *Ekologiya* [Ecology]. 1983, no. 1, pp. 3–9. (In Russian)

5. Zlobin Yu.A. Structure of phytopopulations. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in modern biology]. 1996, vol. 116, no. 2, pp.113–116. (In Russian)

6. Aliev Kh. U. Mezhpopolyatsionnaya izmenchivost' priznakov ploda *Fagusorientalis* Lipsky v Dagestane [Interpopulation variability of fetal traits of *Fagus Orientalis* Lipsky in Dagestan]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Biologicheskie i gumanitarnye resursy razvitiya gornyykh regionov», Makhachkala, 10–12 sentyabrya 2009*. [Proceedings of the International Scientific Conference “Biological and Humanitarian Resources for the Development of Mountain Regions”, Makhachkala, 10–12 September 2009]. Makhachkala, 2009, pp. 113–115. (In Russian)

7. Magomedmirzaev M.M. Ob otsenke morfogeneticheskoi izmenchivosti nekotorykh priznakov v tsenopopolyatsiyakh buka vostochnogo. In: *Sbornik nauchnykh soobshchenii*. [Collection of scientific reports]. Makhachka, 1969, pp. 29–37. (In Russian)

8. Pridnya M.V., Kurazhskovskii Yu.N. Izmenchivost' i korrelyatsii morfologicheskikh priznakov, ikh rol' v differentsiatsii populyatsii vostochnogo buka [Variability and correlation of morphological characters, their role in the differentiation of eastern beech populations]. In: *Ekologicheskie issledovaniya v Kavkazskom biosfernom zapovednike* [Ecological studies in the Caucasian Biosphere Reserve. Rostov-on-Don, Rostov University Publ., 1985, pp. 10–21. (In Russian)

9. Ozel H.B., Sevik H., Kaptan S., Varol T. Investigation of the differences among some morphological and physiological characteristics according to the ways of development in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) individuals. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 2021, no. 23(2), pp. 636–641. DOI: 10.24011/barofd.958446

10. Güney D., Turna I., Kulaç Ş. Effects of geoclimatic features on morphogenetic variability in *Fagus orientalis*. *Austrian Journal of Forest Science*. 2022, no. 139(4), pp. 289–318.

11. Bijarpasi M.M., Shahraji T.R., Lahiji H.S. Genetic variability and heritability of some morphological and physiological traits in *Fagus orientalis* Lipsky along an elevation gradient in Hyrcanian forests. *Folia Oecologica*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 45–53. DOI: 10.2478/foecol-2019-0007

12. Güney D., Turna H., Turna I., Kulaç Ş., Atar F., Filiz E. Variations within and among populations depending on some leaf characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Biological Diversity and Conservation*. 2016, no. 9 / 2 (S1), pp. 2–9.

13. Ivetić V., Kerkez I., Denić I., Devetak J. Variability of beech cupules in Serbia. *Reforesta*, 2018, no. 5, pp. 27–32. DOI: 10.21750/REFOR.5.05.51

14. Aliev Kh.U., Koltunova A.M., Kutsev M.G., Tuniyev B.S. Population genetic analysis of *Fagus orientalis* Lipsky from the territory of the Crimea and the Caucasus. *Turczaninowia*, 2020, vol. 23, no. 4, pp. 17–31. DOI: 10.14258/turczaninowia.23.4.3

15. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 291 p.

16. Markov M.V. *Populyatsionnaya biologiya rastenii* [Population biology of plants]. Moscow, KMK Publ., 2012, 378 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Хабегин У. Алиев собрал и обработал материал. Автор написал рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Khabagin U. Aliev collected and processed the materials. The author 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

Хабегин У. Алиев / Khabagin U. Aliev <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>

Оригинальная статья / Original article
УДК: 581.44 + 581.8; 470.67
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-82-90

Морфологические особенности и анатомическое строение листа дагестанских эндемичных видов *Allium*

Зулфира Р. Рамазанова^{1,2}, Магомед Д. Дибиров¹, Зарема И. Солтанмурадова³, Загирбек М. Асадулаев^{1,3}

¹Горный ботанический сад – ОП Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Зулфира Р. Рамазанова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра безопасности жизнедеятельности, Дагестанский государственный педагогический университет; 367000 Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 57. Тел. +79034812948
Email zulfiram@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2182-3220>

Формат цитирования

Рамазанова З.Р., Дибиров М.Д., Солтанмурадова З.И., Асадулаев З.М. Морфологические особенности и анатомическое строение листа дагестанских эндемичных видов *Allium* // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, N 4. С. 82-90. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-82-90

Получена 22 августа 2023 г.
Прошла рецензирование 30 сентября 2023 г.
Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Провести сравнительный анализ и оценку таксоноспецифичности морфолого-анатомических признаков листа эндемичных видов рода *Allium* в Дагестане.

Материал и методы. Материал исследований – выборки особей эндемичных видов рода *Allium* из природных популяций Горного Дагестана: *A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadzeae*, *A. mirzojevii*, *A. samurense*. Для анализа морфометрических признаков собрано по 10 генеративных особей в фазе полного цветения. Камеральная обработка собранного материала проведена в Лаборатории интродукции и генетических ресурсов Горного ботанического сада ДФИЦ РАН. Фиксацию материала и приготовление временных микропрепаратов проводили по общепринятой методике анатомических исследований. Анатомические исследования проводили на листьях средней формации со средней части листа. Измерения морфометрических параметров тканей и клеток проводили на оптическом микроскопе Levenhuk D870T с помощью окуляр-микрометра. Микропрепараты фотографировали с помощью оптического микроскопа Ломо-АТ 054 и видеоокуляра DCM 510 SCOP.

Результаты. Проведена группировка видов по размерам листьев: крупнолистные (*A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadzeae* секция *Dagestanica*. Tscholok. Friesen) и мелколистные (*A. mirzojevii*, *A. samurense* секция *Oreiprason* F. Herm.), по форме поперечного сечения листа: желобчатая с ровными краями (*A. daghestanicum*), желобчатая с ребристыми краями (*A. gunibicum* и *A. charadzeae*) и округлая ребристая (*A. mirzojevii* и *A. samurense*), по числу и размерам проводящих пучков. Проведено описание анатомического строения листа и оценка видоспецифичности изученных признаков пяти видов *Allium*.

Заключение. Определено, что некоторые особенности морфологии и анатомии листа пяти эндемичных видов рода *Allium* видоспецифичны или обусловлены экологическими условиями произрастания в засушливых условиях Внутреннего Дагестана.

Ключевые слова

Лист, ткани, эндемики, *Allium daghestanicum*, *Allium gunibicum*, *Allium charadzeae*, *Allium mirzojevii*, *Allium samurense*, условия Внутреннего Дагестана.

Morphological features and anatomical structure of the leaves of Dagestan endemic species of *Allium*

Zulfira R. Ramazanova^{1,2}, Magomed D. Dibirow¹, Zarema I. Soltanmuradova³ and Zagirbeg M. Asadulaev^{1,3}

¹Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Zulfira R. Ramazanova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Life Safety, Dagestan State Pedagogical University; 57 M. Yaragsky St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79034812948

Email zulfiraram@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2182-3220>

How to cite this article

Ramazanova Z.R., Dibirow M.D., Soltanmuradova Z.I., Asadulaev Z.M. Morphological features and anatomical structure of the leaves of Dagestan endemic species of *Allium*. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 82-90. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-82-90

Received 22 August 2023

Revised 30 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To conduct a comparative analysis and assessment of the taxon specificity of the morphological and anatomical features of the leaves of endemic species of the genus *Allium* in Dagestan.

Material and Methods. The research materials were samples of endemic species of the genus *Allium* from the natural populations of mountainous Dagestan: *A. daghestanicum*; *A. gunibicum*; *A. charadzeae*; *A. mirzojevii* and *A. samurense*. For the analysis of morphometric features, 10 generative individuals were collected in the full flowering phase. Processing of the collected material was carried out at the Laboratory of Introduction and Genetic Resources of the Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences.

Fixation of the material and preparation of temporary micropreparations were carried out according to the generally accepted methods of anatomical studies. Anatomical studies were carried out on leaves of medium formation from the middle part of the leaf. Morphometric parameters of tissues and cells were measured using a Levenhuk D870T optical microscope with an eyepiece micrometer. Micropreparations were photographed using a Lomo-AT 054 optical microscope and a DCM 510 SCOP video eyepiece.

Results. A grouping of species according to leaf size was carried out: large-leaved (*A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadze* section *Dagestanica*. Tscholok. Friesen) and small-leaved (*A. mirzojevii*, *A. samurense* section *Oreiprason* F. Herm.), according to the shape of the leaf cross section: grooved with smooth edges (*A. daghestanicum*), grooved with ribbed edges (*A. gunibicum* and *A. charadze*) and rounded ribbed (*A. mirzojevii* and *A. samurense*), according to the number and size of vascular bundles. Descriptions of the anatomical structure of the leaves and an assessment of the species specificity of the studied traits of five species of *Allium* were carried out.

Conclusions. It was determined that some features of the morphology and anatomy of the leaves of five endemic species of the genus *Allium* are species-specific or due to environmental conditions of growth in the arid conditions of Inner Mountain Dagestan.

Key Words

Leaf, tissues, endemics, *Allium daghestanicum*, *Allium gunibicum*, *Allium charadzeae*, *Allium mirzojevii*, *Allium samurense*, conditions of Inner Mountain Dagestan.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Allium* насчитывает 750–800 видов [1], на Кавказе встречается 51 вид [2], на территории Дагестана произрастает 31 вид, из которых 6 являются эндемиками: *A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadzeae*, *A. mirzojevii*, *A. samurense*, *A. grande* [3; 4].

A. charadzeae – узколокальный дагестанский эндемик, встречается в окрестностях с. Аркас (Предгорный Дагестан), единичные экземпляры у перевала на спуске к селу Аракани (Внутреннегорный Дагестан). [5; 6]. Произрастает на скалах и в тенистых местах на юго-западных склонах, на высотах 1200–1500 м над уровнем моря. Ксерофит, петрофит.

A. samurense – узколокальный эндемик Дагестана. Вид встречается в Южном Дагестане в среднем горном поясе по реке Самур в Рутульском (окр. с. Лучек, Киче (*locus classicus*) и Ахтынском (окр. с. Миджах) районах [3; 5]. Произрастает на мелкощепнистых сланцах. Ксеромезофит, петрофит.

A. mirzojevii – узколокальный эндемик Дагестана. Вид встречается во Внутреннегорном Дагестане: в окрестностях селений Могох, Чалда, Кикун (Гергебильский район), Гимры (Унцукульский район), Тантари, Игали, Чирката (Гумбетовский район), Голотль (Шамильский район). [3; 5]. Произрастает на высоте от 700 до 1400 м над ур. моря, на мелкощепнистых известняковых склонах и почти не встречается на скалах. Ксерофит, петрофит.

A. gunibicum – эндемик Дагестана, занесённый в Красные книги Дагестана и России. Встречается почти во всех районах известняковой части Внутреннегорного Дагестана от 450 до 2000 м над уровнем моря, на сухих каменистых склонах, на скалах, а также на открытом грунте. В Высокогорном Дагестане обнаружен в окрестностях сс. Тинди, Инхоквари на сланцах [3; 5]. Ксерофит.

A. daghestanicum – узколокальный дагестанский эндемик. Встречается в условиях Внутреннегорного Дагестана в окрестностях селений Чирката, Аргвани, Данух [3].

На предмет таксономической идентификации видов *A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadzeae*, *A. mirzojevii*, *A. samurense* проведены молекулярно-генетические исследования. При известном их морфологическом сходстве, близости ареалов и условий произрастания доказано их видовая самостоятельность [6; 7], изучен также их биологический потенциал и репродуктивные особенности [8–12].

При этом особенности анатомического строения листа видов рода *Allium*, являющихся дагестанскими эндемиками не изучены, не выявлена таксоноспецифичность внутреннего строения и структуры тканей.

Актуальность проведенных исследований обоснована еще тем, что эндемичные виды растений являются специфическими индикаторами уникальности флор, они легко уязвимы и их всестороннее изучение имеет важное значение для сохранения биоразнообразия территорий [13].

В данной статье рассматриваются результаты изучения анатомического строения листа пяти эндемичных для Дагестана видов рода *Allium*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились пять видов лука из двух секций: *A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadze*

(секция *Dagestanica* (Tscholok. Friesen); и *A. mirzojevii*, *A. samurense* (секция *Oreiprason* F. Herm.).

Образцы для исследования собраны в естественных условиях произрастания видов: *A. charadzeae* – окрестности села Аркас, *A. samurense* – с. Лучек, *A. mirzojevii* – с. Могох, *A. gunibicum* – на южных склонах Гунибского плато, *A. daghestanicum* – с. Данух.

Анатомические исследования проводили на листьях средней формации со средней части листа. Фиксацию материала и приготовление временных микропрепаратов проводили по общепринятой методике анатомических исследований [14]. Основные структурные элементы тканей листа описывали в соответствии с разработками И.А. Самылиной, О.Г. Аносовой [15].

Работа проводилась в Лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений ГорБС ДФИЦ РАН. Измерения морфометрических параметров тканей и клеток проводили на оптическом микроскопе Levenhuk D870T с помощью окуляр-микрометра. Микропрепараты фотографировали с помощью оптического микроскопа Ломо-AT 054 и видеоокуляра DCM 510 SCOP.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные виды лука по размерам листьев образуют две группы, соответствующие и таксономическим секциям – крупнолистные (*A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadze* секция *Dagestanica* Tscholok. Friesen) и мелколистные (*A. mirzojevii*, *A. samurense* секция *Oreiprason* F. Herm.) Размеры листьев второй группы меньше в 1,6–2 раза (табл. 1).

Крупным листьям соответствуют и более крупные луковицы, например, у *A. daghestanicum* луковицы имеют максимальное значение признака «высота луковицы» – 36,2 мм. Несколько ниже показатели у *A. gunibicum* и *A. charadze* – 32,7 мм и 31,7 мм соответственно, а минимальное – у луковиц *A. mirzojevii* и *A. samurense* – 24,6 и 26,2 мм соответственно.

Наибольший диаметр имеют также луковицы *A. daghestanicum* (6,1 мм), наименьший диаметр – *A. mirzojevii* (3,2 мм). У остальных трех видов в пределах 5,4–5,9 мм.

Сравнительный анализ изменчивости морфологических признаков вегетативных органов изученных видов рода *Allium* показал, что большинство признаков варьируют в незначительных пределах. Самое низкое варьирование отмечено у признаков «высота луковицы» и «диаметр луковицы». Повышенный уровень вариации отмечен для признаков «число листьев» и «длина листьев» у *A. samurense*.

Незначительная вариабельность параметров большинства морфологических признаков является свидетельством как генетической однородности материала, репрезентативности выборки так и относительной стабильности условий произрастания изученных видов.

По большинству морфологических признаков листа и луковицы различия между изученными пятью видами *Allium* доказаны на высоком уровне значимости (табл. 2).

Различия по длине и числу листьев, высоте и диаметру луковиц между *A. gunibicum* и *A. charadze* не выявлены. Последнее обстоятельство свидетельствует

об однородности исследованного материала и о возможной близости условий их произрастания. Однако эти же два вида по анатомическим признакам поперечного сечения листа, числу пучков и числу млечников различаются значительно. Меньше всего

различий между видами по размерам млечников; четыре из десяти вариантов по радиальному диаметру и пять из десяти по тангентальному диаметру. По остальным признакам различия между видами по t-критерию более наглядны (табл. 3).

Таблица 1. Сравнительная характеристика морфологических признаков вегетативных органов дагестанских эндемичных видов рода *Allium*

Table 1. Comparative characteristics of the morphological features of the vegetative organs of Dagestan endemic species of the genus *Allium*

Признак Characteristic	Виды / Species				
	<i>A. d.</i>	<i>A. g.</i>	<i>A. ch.</i>	<i>A. m.</i>	<i>A. s.</i>
Длина листа, см	<u>18,2 ± 0,53</u>	<u>14,9 ± 0,01</u>	<u>14,9 ± 0,81</u>	<u>6,5 ± 0,27</u>	<u>9,2 ± 0,78</u>
Length of leaf, cm	9,2	21,0	17,2	13,2	26,7
Число листьев, шт.	<u>2,7 ± 0,21</u>	<u>3,8 ± 0,15</u>	<u>3,7 ± 0,21</u>	<u>3,2 ± 0,20</u>	<u>1,6 ± 0,17</u>
Number of leaves, pcs	24,9	13,1	18,2	19,8	35,1
Высота луковицы, мм	<u>36,2 ± 0,80</u>	<u>32,7 ± 1,66</u>	<u>31,7 ± 1,17</u>	<u>24,6 ± 0,86</u>	<u>26,2 ± 1,05</u>
Bulb length, mm	7,0	15,8	11,7	11,0	12,5
Диаметр луковицы, мм	<u>6,1 ± 0,11</u>	<u>5,4 ± 0,23</u>	<u>5,9 ± 0,28</u>	<u>3,2 ± 0,19</u>	<u>5,9 ± 0,13</u>
Bulb diameter, mm	5,8	14,3	14,9	19,0	7,2

Примечание: обозначение видов здесь и далее – *A. d.* – *Allium daghestanicum*, *A. g.* – *A. gunibicum*, *A. ch.* – *A. charadze*, *A. m.* – *A. mirzojevii*, *A. s.* – *A. samurense*; Верхние цифры – средние значения признака ($\bar{X} \pm Sx$); нижние цифры – коэффициент вариации (CV)

Note: the designation of the species below is *A. d.* – *Allium daghestanicum*, *A. g.* – *A. gunibicum*, *A. ch.* – *A. charadze*, *A. m.* – *A. mirzojevii*, *A. s.* – *A. samurense*; The upper figures are the mean values of the trait ($\bar{X} \pm Sx$); the lower numbers are the coefficient of variation (CV)

Таблица 2. Т-критерий Стьюдента между видами рода *Allium* по морфологическим признакам

Table 2. Student t-tests of species of the genus *Allium* according to morphological characters

Признаки Characteristic	Виды / Species									
	<i>A. d.</i> - <i>A. g.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. ch.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. ch.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. ch.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. ch.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. m.</i> - <i>A. s.</i>
1	2,9 **	3,4**	19,7***	9,5***	0	8,0***	4,5***	9,8***	5,1***	3,3**
2	4,3***	3,4**	1,7	4,1***	0,4	2,4*	9,7***	1,7	7,8***	6,1***
3	1,9	3,2**	9,9***	7,6***	0,5	4,3***	3,3**	4,9***	3,5**	1,2
4	2,7*	0,7	13,2***	1,2	1,4	7,4***	1,9	8,0***	0	11,7***

Примечание: t- критерий Стьюдента * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Нумерация признаков как в таблице 1

Note: Student t-test * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Feature numbering as in Table 1

Таблица 3. Т-критерий Стьюдента между видами рода *Allium* по некоторым характеристикам поперечного среза листа

Table 3. Student t-tests of species of the genus *Allium* according to some characteristics of the leaf cross section

Признаки Characteristic	Виды / Species									
	<i>A. d.</i> - <i>A. g.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. ch.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. d.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. ch.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. g.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. ch.</i> - <i>A. m.</i>	<i>A. ch.</i> - <i>A. s.</i>	<i>A. m.</i> - <i>A. s.</i>
1	7,5***	6,6***	8,6***	8,4***	4,5***	3,9***	3,4**	8,0***	8,0***	0,8
2	6,3***	3,4**	4,1***	2,6*	0,7	4,4***	3,5**	1,9	1,7	0
3	9,5***	0,5	3,5**	2,5*	9,2***	6,1***	6,8***	3,5**	2,6*	0,8
4	6,3***	3,3**	12,7***	10,4***	5,1***	2,8**	1,1	12,6***	9,9***	2,2*
5	3,5**	1,6	3,6**	4,1***	1,7	0,2	0,6	1,7	2,3*	0,9
6	3,4**	1,5	4,8***	5,8***	1,2	1,0	1,8	2,1*	2,7**	0,9

Примечание: t-критерий Стьюдента * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Нумерация признаков как в таблице 4

Note: Student t-test * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Feature numbering as in Table 4

При этом известно, что на размеры вегетативных органов растений (в нашем случае луковиц и листьев)

оказывают существенное влияние различные абиотические факторы, такие как температура воздуха, осадки,

эдафические условия, интенсивность освещенности. Это влияние связано, прежде всего, с интенсивностью фотосинтеза и КПД ФАР, а значит и накоплением сухих веществ в луковицах в зависимости от условий произрастания [16]. Одновременно показано, что при ухудшении условий произрастания у дикорастущих дагестанских луков увеличивается способность к вегетативному размножению, т.е. число луковиц [8].

Таким образом, анализ морфометрических показателей листьев и луковиц эндемичных видов рода *Allium* показывает, что мобилизованный для анатомических исследований материал является представительным, соответствующим характерным для вида условиям произрастания, что важно для аргументированной интерпретации полученных данных.

Изучение анатомического строения поперечных срезов листьев пяти эндемичных видов рода *Allium* позволило наряду с общим строением определить и их отличительные признаки.

Изученные виды отличаются по размерам поперечного сечения листа (табл. 4). Самые крупные показатели поперечного сечения листа имеет *A. daghestanicum*. Диаметры листьев *A. gunibicum* и *A. charadzeae* отличаются друг от друга незначительно, но в 1,6 и 1,7 раз меньше, чем у *A. daghestanicum*. У *A. mirzojevii* и *A. samurense* листья самые тонкие (в 2,5 раза меньше, чем у *A. daghestanicum*).

Листья *A. daghestanicum* и *A. gunibicum*, отличаясь по диаметру поперечного сечения и

размерам, имеют одинаковое количество проводящих пучков (16–22 шт. на срезе). Количество пучков на единицу длины окружности в один мм на поперечном срезе листьев *A. daghestanicum* и *A. gunibicum* составило 4,9 и 7,4 штук соответственно. При этом толщина ксилемы достоверно больше в проводящих пучках листьев *A. daghestanicum*, при относительной стабильности диаметра сосудов. Оба вида произрастают на скалах в засушливых условиях.

Известно, что развитие проводящей системы напрямую зависит от количества осадков и температуры. Самые высокие показатели этого признака у листьев *A. samurense* (окрестности села Лучек – условия близкие к Высокогорному Дагестану) и *A. charadze* (окрестности села Аркас – верхние более влажные склоны Гимринского хребта), что можно связать с их произрастанием в более увлажненных условиях по сравнению с *A. daghestanicum*, *A. gunibicum* и *A. mirzojevii* (низкие высотные уровни и скальные обнажения Внутреннегорного Дагестана). Как известно, чем больше оводненность среды, тем больше толщина ксилемы.

Кроме того, листья *A. daghestanicum* и *A. charadzeae* объединяет и наличие меньшего числа млечников, что свидетельствует о менее высокой водоудерживающей способности тканей этих видов. Количество млечников на единицу длины у листьев этих двух видов несколько меньше – 13,4 и 15,2 штук при относительно более крупных их размерах.

Таблица 4. Некоторые характеристики поперечного среза листа дагестанских эндемичных видов рода *Allium* ($X \pm Sx$)
Table 4. Some characteristics of a transverse section of leaves of Dagestan endemic species of the genus *Allium* ($X \pm Sx$)

Признак Characteristic	Виды / Species				
	<i>A. d</i>	<i>A. g</i>	<i>A. ch</i>	<i>A. m</i>	<i>A. s</i>
ТД поперечного сечения, мкм TD cross-sectional, μm	2674,4 $\pm$ 146,11	1553,3 $\pm$ 27,23	1697,8 $\pm$ 17,62	1376,7 $\pm$ 36,17	1414,4 $\pm$ 30,55
РД поперечного сечения, мкм RD cross-sectional, μm	1148,9 $\pm$ 17,98	914,1 $\pm$ 32,49	958,9 $\pm$ 52,35	1063,2 $\pm$ 10,54	1062,2 $\pm$ 27,63
Число пучков на единицу длины (1 мм), шт. Number of bundles per unit length (1 mm), pcs.	4,9 $\pm$ 0,11	7,4 $\pm$ 0,24	4,8 $\pm$ 0,15	5,6 $\pm$ 0,17	5,4 $\pm$ 0,17
Число млечников на единицу длины (1 мм), шт. Number of laticifers per unit length (1 mm), pcs.	13,4 $\pm$ 0,50	20,4 $\pm$ 1,00	15,2 $\pm$ 0,22	23,7 $\pm$ 0,64	21,7 $\pm$ 0,62
РД крупных млечников, мкм RD of large milkers, μm	43,6 $\pm$ 2,04	35,3 $\pm$ 1,21	39,2 $\pm$ 1,91	35,6 $\pm$ 0,91	34,4 $\pm$ 0,91
ТД крупных млечников, мкм TD of large milkers, μm	38,6 $\pm$ 1,51	31,7 $\pm$ 1,38	34,7 $\pm$ 2,02	30,0 $\pm$ 0,93	28,9 $\pm$ 0,73

Примечание: здесь и далее – ТД – тангентальный диаметр; РД – радиальный диаметр
Note: hereinafter – TD – tangential diameter; RD – radial diameter

Сравнительная характеристика показателей CV признаков поперечного среза листа всех изученных видов рода *Allium* показал весьма низкое варьирование (табл. 5), что, возможно, связано как с репрезентативностью выборки, так и с видоспецифичностью этой группы признаков.

Листья пяти исследованных видов лука трубчатые, но отличаются по форме. Можно выделить три основные формы поперечного сечения листа:

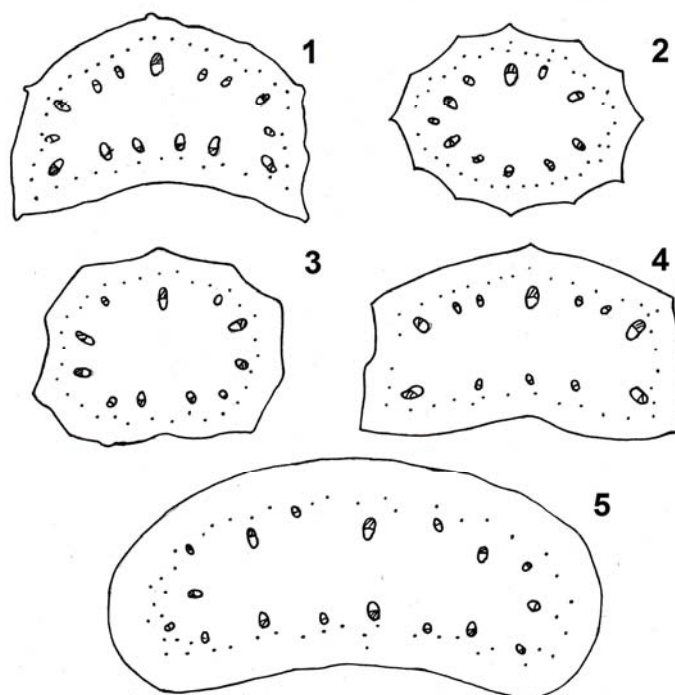
желобчатая с ровными краями, желобчатая с ребристыми краями и округлая ребристая (рис. 1). Форма листа желобчатая с ровными краями только у *A. daghestanicum*. У остальных изученных видов на поперечном сечении листья имеют ребристую форму. Листья *A. gunibicum* и *A. charadze* имеют сходную пятигранную форму поперечного сечения. У видов *A. mirzojevii* и *A. samurense* форма поперечного строения однотипная – более округлая и многогранная.

Таблица 5. Изменчивость (CV, %) некоторых признаков поперечного среза листа дагестанских эндемичных видов рода *Allium***Table 5.** Variability (CV, %) of some features of the transverse section of leaves of Dagestan endemic species of the genus *Allium*

Признак Characteristic	Виды / Species				
	<i>A. d</i>	<i>A. g</i>	<i>A. c</i>	<i>A. m</i>	<i>A. s</i>
1	5,5	1,7	1,0	2,6	2,2
2	1,6	3,5	5,4	3,1	2,6
3	2,3	3,2	3,1	3,2	3,2
4	3,7	4,9	1,4	2,7	2,9
5	4,7	3,4	4,9	2,6	2,6
6	3,9	4,4	5,8	3,1	2,5

Примечание: Нумерация признаков как в таблице 4

Note: Feature numbering as in Table 4

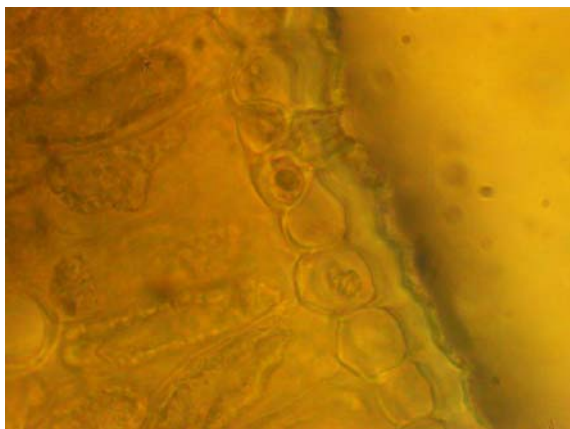
**Рисунок 1.** Схема поперечного сечения листьев эндемичных видов рода *Allium*:1 – *A. gunibicum*, 2 – *A. mirzojevii*, 3 – *A. samurense*, 4 – *A. charadzeae*, 5 – *A. daghestanicum***Figure 1.** Cross-sectional diagrams of leaves of endemic species of the genus *Allium*:1 – *A. gunibicum*, 2 – *A. mirzojevii*, 3 – *A. samurense*, 4 – *A. charadzeae*, 5 – *A. daghestanicum*

На поперечном срезе структура тканей листа у изученных видов лука имеет сходный план строения. Снаружи лист покрыт кутикулой. Эпидерма состоит из одного слоя клеток. В листьях видов *A. samurense* и *A. mirzojevii* наружная стенка клеток эпидермы образует с кутикулой в средней части выступы (рис. 2). Устьица погруженные. Под эпидермой (в разных частях листа) находится от одного до четырех слоев палисадной фотосинтезирующей ткани, в которой расположены млечники. Далее располагаются клетки нефотосинтезирующей ткани, в которую погружены проводящие пучки, окруженные клетками-обкладками (рис. 3). Со стороны флоэмы клетки-обкладки крупные, со стороны ксилемы меньших размеров. В клетках нефотосинтезирующей ткани встречаются призматические кристаллы.

Проводящие пучки по размерам условно можно разделить на три группы: крупные – свыше 100 мкм, средние от 50 до 100 мкм, мелкие менее 50 мкм. Пучки закрытые коллатеральные, распределены по всей окружности листа. С верхней стороны листа крупные

пучки чередуются с мелкими. С нижней стороны встречаются в основном пучки средних размеров. У мелких пучков ксилема развита слабо. В некоторых пучках листьев у *A. daghestanicum* и *A. charadze* со стороны флоэмы встречаются клетки с утолщенными стенками, выполняющие функцию склеренхимы. Во внутренней части листа нефотосинтезирующая паренхима представлена аэренхимой. В процессе вегетации аэренхима в листьях разрушается, формируя единую полость.

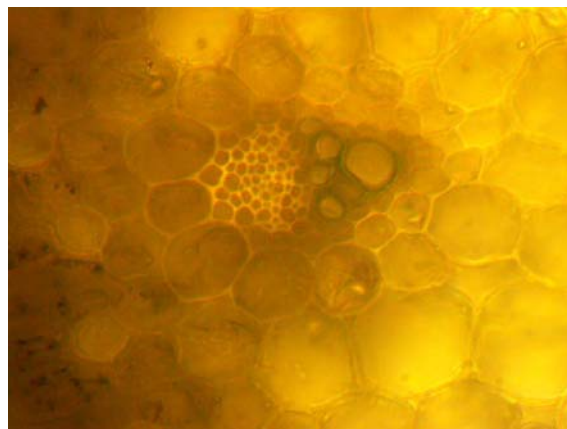
Сравнительно-анатомический анализ пяти исследованных видов выявил, прежде всего, различия в размерах пучков (табл. 6). У *A. samurense*, произрастающий на сланцах ближе к Высокогорному Дагестану и *A. charadze*, встречающейся на верхних высотных уровнях Гимринского хребта пучки крупнее (135,3 и 135 мкм соответственно), у *A. mirzojevii* и *A. daghestanicum* – пучки средних размеров (116,1 и 115,8 мкм), у *A. gunibicum*, произрастающей в основном на скалах, пучки мельче остальных (103,3 мкм).

Рисунок 2 Эпидерма листа *A. samurense*

Примечание: увеличение 10X40

Figure 2 Leaf epidermis of *A. samurense*

Note: magnification 10X40

Рисунок 3. Проводящий пучок *A. gunibicum*

Примечание: увеличение 10X40

Figure 3. Vascular bundle *A. gunibicum*

Note: magnification 10X40

Таблица 6. Сравнительная характеристика анатомических признаков листа дагестанских эндемичных видов рода *Allium* ($X \pm Sx$)Table 6. Comparative characteristics of the leaf anatomical signs of endemic species of the genus *Allium* ($X \pm Sx$)

Признак Characteristic	Виды / Species				
	<i>A. d.</i>	<i>A. g.</i>	<i>A. ch.</i>	<i>A. m.</i>	<i>A. s.</i>
РД пучка, мкм	66,7 ± 2,08	52,8 ± 1,87	72,5 ± 3,27	71,2 ± 2,84	79,3 ± 2,98
RD bundle, μm	115,8 ± 3,33	103,3 ± 2,50	135,0 ± 8,60	116,1 ± 2,70	135,3 ± 2,34
ТД пучка, мкм	45,6 ± 0,81	38,6 ± 0,99	47,7 ± 1,39	43,4 ± 1,15	43,9 ± 0,90
TD bundle, μm	59,4 ± 1,94	60,6 ± 2,53	67,8 ± 2,81	61,7 ± 5,20	53,9 ± 3,36
Толщина флоэмы, мкм	39,6 ± 0,72	32,2 ± 0,78	37,7 ± 1,19	37,8 ± 1,00	36,5 ± 0,79
Phloem thickness, μm	54,7 ± 3,81	51,4 ± 1,19	50,8 ± 3,77	53,6 ± 1,72	48,3 ± 2,50
Толщина ксилемы, мкм	26,6 ± 1,50	21,0 ± 1,15	34,2 ± 2,09	32,5 ± 1,94	42,9 ± 2,32
Xylem thickness, μm	61,1 ± 2,43	51,7 ± 1,77	76,1 ± 5,40	62,5 ± 1,38	88,1 ± 2,76
ТД ситовидных трубок, мкм	11,0 ± 0,17	9,8 ± 0,16	11,5 ± 0,23	11,6 ± 0,22	12,1 ± 0,17
TD sieve tubes, μm	12,8 ± 0,88	13,1 ± 0,69	13,6 ± 0,84	13,9 ± 0,60	13,6 ± 0,44
РД ситовидных трубок, мкм	9,2 ± 0,14	8,4 ± 0,22	9,6 ± 0,20	9,8 ± 0,20	10,4 ± 0,16
RD sieve tubes, μm	10,3 ± 0,88	11,1 ± 0,61	12,5 ± 0,60	11,7 ± 0,59	11,9 ± 0,37
РД сосудов, мкм	16,9 ± 0,67	13,6 ± 0,53	20,9 ± 0,92	17,1 ± 0,82	21,2 ± 0,93
RD of vessels, μm	28,3 ± 2,57	25,5 ± 1,55	31,4 ± 2,21	31,4 ± 3,91	37,2 ± 2,90
ТД сосудов, мкм	14,0 ± 0,56	11,2 ± 0,45	17,2 ± 0,76	14,0 ± 0,67	18,3 ± 0,79
TD of vessels, μm	23,1 ± 2,03	22,2 ± 1,64	27,2 ± 1,79	25,0 ± 1,50	30,3 ± 1,14
Число проводящих пучков, шт.	17 – 22	16 – 22	10 – 14	11 – 13	13 – 14
Number of conductive bundles, pcs.					

Примечание: верхние цифры – средние значения признака по всем пучкам;

нижние цифры – средние значения признака по крупным пучкам

Note: the upper numbers are the average values of the trait for all bundles;

the lower numbers are the average values of the trait for large bundles

Виды отличаются и по числу проводящих пучков. В листьях *A. daghestanicum* и *A. gunibicum* число проводящих пучков больше и составляет 16–22 на длину окружности всего поперечного среза, хотя эти виды значительно отличаются по диаметру листа. У остальных трех изученных видов число пучков в листе меньше и колеблется в пределах 10–14. При этом ксилема в проводящих пучках у первых двух видов имеет меньшие размеры (от 21,1 до 26,6 мкм). Во второй группе у видов с меньшим числом пучков толщина ксилемы больше и составила от 32,5 до 42,9 мкм. В размерах ситовидных трубок и в толщине флоэмы у всех видов значительные различия не наблюдаются.

Как известно развитие флоэмы связано, прежде всего, с температурой и определяется интенсивностью оттока продуктов фотосинтеза в органы запаса. Видимо,

в аридных условиях Внутреннегорного Дагестана, где в основном произрастают изученные виды, значительная часть продуктов фотосинтеза расходуется на дыхание и не перемещается в луковицы.

Абсолютное отличие по всем признакам отмечается у *A. gunibicum* в парах со всеми изученными видами и в паре *A. daghestanicum* – *A. samurense* (табл. 7). Незначительные отличия трех из восьми признаков на низком уровне значимости (0,05) наблюдается в парах *A. daghestanicum* – *A. mirzojevii* и *A. charadze* – *A. mirzojevii*, хотя и по разным признакам. По признаку «толщина ксилемы» отличия существенны в девяти из десяти пар сравниваемых видов. Такое обособление видов по данному признаку, видимо обусловлено как генетическими особенностями между двумя секциями, так и экологическими условиями мест произрастания.

Таблица 7. Т-критерий Стьюдента между видами рода *Allium* по анатомическим признакам листа
Table 7. Student t-test of species of the genus *Allium* according to the anatomical features of leaves

Признаки Characteristic	Виды / Species									
	<i>A.d- A.g</i>	<i>A.d- A.ch</i>	<i>A.d-A.m</i>	<i>A.d-A.s</i>	<i>A.g-A ch</i>	<i>A.g- A.m</i>	<i>A.g- A.s</i>	<i>A ch- A.m</i>	<i>A ch- A.s</i>	<i>A.m- A.s</i>
1	5,0***	1,5	1,3	3,5***	5,2***	5,4***	7,5***	0,3	1,5	2,0***
2	5,5***	1,3	1,6	1,4	5,3***	3,2**	4,0***	2,4*	2,3*	0,3
3	7,0***	1,4	1,5	2,9**	3,9***	4,4***	3,9***	0,1	0,8	1,0
4	3,0**	2,9**	2,4*	5,9***	5,5***	5,1***	8,4***	0,6	2,8**	3,4**
5	5,1***	1,7	2,1*	4,6***	6,1***	6,6***	9,8***	0,3	2,1*	1,8
6	3,1**	1,6	2,5*	5,6***	4,0***	4,7***	7,4***	0,7	3,1**	2,3*
7	3,9***	3,5**	0,2	3,8***	6,9***	3,6**	7,1***	3,1**	0,2	3,3**
8	3,9***	3,4**	0	4,4***	6,8***	3,5**	7,8***	3,2**	1,0	4,2***

Примечание: t-критерий Стьюдента * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Нумерация признаков как в таблице 6

Note: Student t-test * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Feature numbering as in Table 6

ВЫВОДЫ

1. Изученные виды лука по размерам листьев образуют две группы, соответствующие и таксономическим секциям – крупнолистные (*A. daghestanicum*, *A. gunibicum*, *A. charadze* секция Dagestanica. Tscholok. Friesen) и мелколистные (*A. mirzojevii*, *A. samurense* секция Oreiprason F. Herm.) Размеры листьев второй группы меньше в 1,6–2 раза. Произрастая в сходных экологических условиях на скалистом субстрате и имея общность происхождения виды двух секции имеют сходство по большинству морфологических и анатомических признаков.

2. Выделены три основные формы поперечного сечения листа: желобчатая с ровными краями (*A. daghestanicum*), желобчатая с ребристыми краями (*A. gunibicum* и *A. charadze*) и округлая ребристая (*A. mirzojevii* и *A. samurense*).

3. По числу проводящих пучков выделены две группы видов. У *A. daghestanicum* и *A. gunibicum* число проводящих пучков больше и составляет 16–22 на длину окружности всего поперечного среза. У трех остальных изученных видов число пучков в листе меньше и колеблется в пределах 10–14. При этом ксилема в проводящих пучках у первых двух видов имеет меньшие размеры (от 21,1 до 26,6 мкм).

4. Более развитая проводящая ткань в листьях *A. samurense* и *A. charadze* является следствием экологической адаптации в связи с их произрастанием в более увлажненных условиях по сравнению с *A. daghestanicum*, *A. gunibicum* и *A. mirzojevii*. Как известно, чем больше доступной воды в условиях произрастания, тем больше толщина ксилемы. Кроме того, листья *A. daghestanicum* и *A. charadzeae* объединяет и наличие меньшего числа млечников (13,4 и 15,2 шт.), что свидетельствует о менее высокой водоудерживающей способности тканей этих видов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Черемушкина В.А. Биология луков Евразии. Новосибирск: Наука, 2004. 276 с.
- Кудряшова Г.Л. Обзор видов рода *Allium* (Alliaceae) Кавказа // Ботанический журнал. 2001. Т. 86. N 4. С. 119–132.

- Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана Т. 4. Махачкала: Эпоха, 2009. С. 37–45.
- Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
- Чолокашвили Н.Б. Новый ряд *Daghestanica* Tscholokaschvili из секции *Rhiziridum* Don рода *Allium* L. // Заметки по систематике и географии растений. 1965. Вып. 25. С. 83–102.
- Алибегова А.Н., Муртазалиев Р.А. О видовой самостоятельности *Allium mirzojevii* Tscholok. (Alliaceae) // Новости систематики высших растений. 2010. Т. 41. С. 63–68.
- Муртазалиев Р.А., Фризен Н.В. Биогеография и филогения видов секции *Daghestanica* (Allium Amaryllidaceae) // Труды 14 съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» Махачкала, 18–23 июня, 2018. Т. 1. С. 144–147.
- Алибегова А.Н., Мусаев А.М. Межпопуляционная изменчивость по размерам и массе семян некоторых видов *Allium* L. (Alliaceae) в условиях интродукции // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2011. N 2. С. 126–128.
- Дибиров М.Д. Анализ изменчивости семенной продуктивности *Allium samurense* Tscholok. в горных условиях // Проблемы развития АПК региона. 2020. N 4(44). С. 46–52.
<https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.46>
- Дибиров М.Д. Анализ семенной продуктивности *Allium daghestanicum* в горных условиях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. N 6(92). С. 110–114. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-110-114>
- Дибиров М.Д. Изменчивость морфологических признаков *Allium gunibicum* Misch. ex Grossh. в условиях эксперимента // Известия Горского аграрного университета. 2022. Т. 59(4). С. 224–231.
https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_224
- Dibirov M., Alibegova A., Ruslan Osmanov R. The structure of variability of traits of seed productivity of *Allium charadzeae* Tscholok. in the mountainous conditions of Dagestan // BIO Web of Conferences 43. 2022. Article ID: 01018.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20224301018>
- Ямалов С.М., Лебедева М.В., Голованов Я.М., Петрова М.В. Редкие и нуждающиеся в охране виды растений каменистых степей Южного и Среднего Урала // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8. N 4(29). С. 107–115.
<https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-14119>

14. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. Москва: МГУ, 2004. 312 с.
15. Самылина И.А., Аносова О.Г. Фармакогнозия. Атлас. Москва: ГЭОТАР – Медиа, 2007. Т.1. 192 с.
16. Машенков М.И., Гарипова Р.Ф. Морфобиологическая изменчивость признаков различных сортов лука – *A. sepa*, индуцированная экологическими условиями Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Т. 2. N 2. 2004. С. 97–98.

REFERENCES

1. Cheremushkina V.A. *Biologiya lukov Evrazii* [Biology of Eurasian onions]. Novosibirsk, The Science Publ., 2004, 276 p. (In Russian)
2. Kudryashova G.L. Review of species of the genus *Allium* (Alliaceae) of the Caucasus. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal]. 2001, vol. 86, no. 4, pp. 119–132. (In Russian)
3. Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestana* [Synopsis of the flora of Dagestan]. Makhachkala, Epokha Publ., 2009, vol. 4, pp. 37–45. (In Russian)
4. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Printing house IE Jamaludinov M.A. Publ., 2020, 800 p. (In Russian)
5. Cholokashvili N.B. A new series of *Daghestanica* Tscholokashvili from the section *Rhiziridum* of the genus *Allium* L. *Zametki sistematiki geografii rastenii* [Notes on the taxonomy and geography of plants]. 1965, iss. 25, pp. 83–102. (In Russian)
6. Alibegova A.N., Murtazaliev R.A. On the species independence of *Allium mirzajevii* Tscholok. (Alliaceae). *Novosti sistematiki vysshih rastenii* [News of taxonomy of higher plants]. 2010, vol. 41, pp. 63–68. (In Russian)
7. Murtazaliev R.A., Frizen N.V. Biogeografiya i filogeniya vidov sekcii *Daghestanica* (*Allium Amaryllidaceae*) [Biogeography and phylogeny of species of the section *Daghestanica* (*Allium Amaryllidaceae*)]. In: *Trudy 14 s'ezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferencii «Botanika v sovremennom mire»*, *Makhachkala, 18–23 iyunya 2018*. [Proceedings of the 14th Congress of the Russian Botanical Society and the Conference "Botany in the Modern World", Makhachkala, 18–23 June 2018]. Makhachkala, 2018, vol. 1, pp. 144–147. (In Russian)
8. Alibegova A.N., Musaev A.M. Interpopulation variability in size and weight of seeds of some species of *Allium* L.

- (*Alliaceae*) under conditions of introduction. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2011, no. 2, pp. 126–128. (In Russian)
9. Dibirov M.D. Analysis of the variability of seed productivity of *Allium samurense* Tscholok. in mountain conditions. *Problems of development of the agro-industrial complex of the region*. 2020, no. 4(44), pp. 46–52. (In Russian)
<https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.46>
10. Dibirov M.D. Analysis of seed productivity of *Allium daghestanicum* in the mountains. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 6(92), pp. 110–114. (In Russian) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-110-114>
11. Dibirov M.D. Variability of morphological features of *Allium gunibicum* Misch. ex Grossh. in experimental conditions. *Proceedings of the Gorsky Agrarian University*, 2022, vol. 59(4), pp. 224–231. (In Russian)
https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_224
12. Dibirov M., Alibegova A., Osmanov R. The structure of variability of traits of seed productivity of *Allium charadzeae* Tscholok. in the mountainous conditions of Dagestan. *BIO Web of Conferences* 43, 2022, article id: 01018.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20224301018>
13. Yamalov S.M., Lebedeva M.V., Golovanov Ya.M., Petrova M.V. Rare and in need of protection plant species of the stony steppes of the Southern and Middle Urals. *Samara Scientific Bulletin*, 2019, vol. 8, no. 4(29), pp. 107–115. (In Russian)
<https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-14119>
14. Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G., Dzhalilova Kh.Kh., Ilyina G.M., Chubanova N.V. *Spravochnik po botanicheskoi mikrotehnike. Osnovy i metody* [Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods]. Moscow, MSU Publ., 2004, 312 p. (In Russian)
15. Samylin I.A., Anosova O.G. *Farmakognosiya. Atlas* [Pharmacognosy. Atlas]. Moscow, GEOTAR – Media Publ., 2007, vol. 1, 192 p. (In Russian)
16. Mashenkov M.I., Garipova R.F. Morphophysiological variability of the traits of different varieties of onion - *A. sepa*, induced by the environmental conditions of the Orenburg region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. 2004, vol. 2, no. 2, pp. 97–98. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Магомед Д. Дибиров собирал, фиксировал растительный материал для анатомических исследований. Зулфира Р. Рамазанова изготовила временные препараты, сделала микрофотографии, провела измерения тканей и клеток. Загирбег М. Асадулаев, Зарема И. Солтанмурадова и Зулфира Р. Рамазанова проанализировали данные и написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Magomed D. Dibirov collected and fixed plant material for anatomical studies and carried out statistical processing of data. Zulfira R. Ramazanova made temporary preparations, took microphotographs and measured tissues and cells. Zagirbeg M. Asadulaev, Zarema I. Soltanmuradova and Zulfira R. Ramazanova analysed the data and wrote the article. 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

Зулфира Р. Рамазанова / Zulfira R. Ramazanova <https://orcid.org/0000-0002-2182-3220>

Магомед Д. Дибиров / Magomed D. Dibirov <https://orcid.org/0000-0003-0956-3769>

Зарема И. Солтанмурадова / Zarema I. Soltanmuradova <https://orcid.org/0000-0003-3018-9097>

Загирбег М. Асадулаев / Zagirbeg M. Asadulaev <https://orcid.org/0000-0001-5370-6611>

Обзорная статья / Review article
УДК 578.85/578.346:57.063.7/8
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-91-103

Вирус огуречной мозаики в декоративных культурах на российском Дальнем Востоке

Валентина Ф. Толкач¹, Юрий Г. Волков¹, Надежда Н. Какарека¹, Максим Р. Алиев²,
Михаил Ю. Щелканов^{1,2,3}

¹Федеральный научный Центр биологического разнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

³НИИ Эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, Владивосток, Россия

Контактное лицо

Михаил Ю. Щелканов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией вирусологии ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 690022 Россия, Владивосток, ул. Столетия Владивостоку, д. 159/1.

Тел. +79245297109

Email adorob@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Формат цитирования

Толкач В.Ф., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Алиев М.Р., 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. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-91-103

Получена 6 августа 2023 г.

Прошла рецензирование 24 сентября 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Обобщить и проанализировать научные данные о штаммах вируса огуречной мозаики (CMV – Cucumber mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*), выделенных из декоративных растений на территории Дальнего Востока Российской Федерации.

Обсуждение. В работе описана структура генома и трипартитная организация вирионов CMV. Описаны штаммы этого вируса, изолированные от декоративных культур юга российского Дальнего Востока: бальзамина, большого львиного зева, георгинов, гладиолуса гибридного, дельфиниума гибридного, камбрии, канны индийской, катлеи, лилии тигровой, петунии гибридной, примулы обратноконической, фаленопсиса, фатсхедеры Литца, фикуса Бенджамина, штокровы обыкновенной, эхинацеи пурпурной. Систематизированы физико-химические свойства (точка термической инактивации, период сохранения инфекционности при температуре 20°C, предельное разведение сока, вызывающее заболевание здоровых растений) и симптоматика указанных штаммов на широком спектре видов и сортов индикаторных растений по данным Российской коллекции вирусов Восточной Азии, функционирующей на базе лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

Заключение. Сдерживающим фактором развития цветководства являются инфекционные болезни, среди которых наибольшее значение имеют вирусные инфекции, включая CMV, который на юге российского Дальнего Востока демонстрирует высокое штаммовое разнообразие. В связи с этим исследование биологических, физико-химических, иммунохимических и молекулярно-биологических свойств CMV является актуальной задачей, так как открывает возможность изучения изолятов этого вируса и классификации его штаммов с учётом индивидуальных особенностей и родственных взаимоотношений.

Ключевые слова

Вирус огуречной мозаики, *Cucumovirus*, декоративные растения, штаммовые различия, фитопатология, Дальний Восток.

Cucumber mosaic virus among ornamental crops in the Russian Far East

Valentina F. Tolkach¹, Yuri G. Volkov¹, Nadezhda N. Kakareka¹, Maxim R. Aliev²
and Mikhail Yu. Shchelkanov^{1,2,3}

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

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

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

Principal contact

Mikhail Yu. Shchelkanov, Doctor of Biological Sciences, Chief, Laboratory of Virology, Federal Scientific Centre of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 159/1 Stoletiya Vladivostoku Ave., Vladivostok, Russia 690022.

Tel. +79245297109

Email adorob@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

How to cite this article

Tolkach V.F., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Aliev M.R., Shchelkanov M.Yu. 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) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-91-103

Received 6 August 2023

Revised 24 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To summarise and analyse scientific data on Cucumber mosaic virus strains (CMV – Cucumber mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, Cucumovirus) isolated from ornamental plants in the Far East of the Russian Federation.

Discussion. The paper describes the genome structure and tripartite organization of CMV virions. Strains of this virus isolated from ornamental cultures in the south of the Russian Far East are described: Garden balsam, Common snapdragon, Dahlias, Hybrid gladiolus, Hybrid delphinium, Cambria, Indian canna, Cattleya, Tiger lily, Garden petunia, *Primula obconica*, Moth orchids, Fatshedera from Lize Freres, Weeping fig, Common hollyhock, Purple coneflower. The physicochemical properties (i.e. point of thermal inactivation, period of preservation of infectivity at a temperature of 20°C, maximum dilution of juice causing disease of healthy plants) and the symptoms of these strains on a wide range of species and varieties of indicator plants are systematised according to the Russian Collection of East Asian Viruses, functioning at the Laboratory of Virology of the Federal Scientific Center for East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

Conclusions. The limiting factor in the development of floriculture is infectious diseases, among which viral infections (including CMV) are of the greatest importance, demonstrating a high strain diversity in the south of the Russian Far East. Thus, the study of the biological, physico-chemical, immunochemical and molecular biological properties of CMV is an urgent task, as it opens up the possibility of studying isolates of this virus and classifying its strains taking into account individual characteristics and kinship relationships.

Key Words

Cucumber mosaic virus, *Cucumovirus*, ornamental plants, strain differences, phytopathology, Far East.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплен значительный объем научных данных о крайне негативном влиянии вирусных болезней на рост и продуктивность цветочно-декоративных культур, хотя, в историческом плане, вирусным заболеваниям этих растений первоначально уделялось гораздо меньше внимания, чем продовольственным культурам [1; 2].

В Российской Федерации большое внимание традиционно уделяется озеленению населённых пунктов, промышленных предприятий и выносных магистралей; ландшафтный дизайн активно осваивает сферу создания новых парков, скверов, цветников, подвесных зелёных ограждений, художественных газонов и клумб, повышающих качество жизни населения не только в крупных городах, но и в отдаленных поселках [3]. С повышением культурного уровня населения неуклонно повышается спрос на букетную продукцию различного формата. Необходимым элементом жилых, офисных и производственных помещений становятся комнатные растения, которые благодаря выделению фитонцидов обогащают окружающую среду кислородом, очищают воздух от пыли, аэрозолей и других нежелательных примесей [4; 5].

В процессе индустриального развития общества, роста культурных и эстетических потребностей человечества, закономерно возрастает спрос на декоративные растения, а промышленное цветоводство во многих странах мира является наиболее динамично развивающейся отраслью растениеводства [6]. На рубеже XX–XXI веков мировой рынок имел тенденцию к постоянному росту цен на декоративные растения. Несмотря на мировой кризис начала 2000-х годов, эта отрасль постепенно восстанавливает своё значение, а в Российской Федерации она оказалась вообще почти не затронута кризисом. В последние годы во многих регионах России интенсивно развивается цветоводство и в открытом грунте. К настоящему времени, возросло выращивание цветочных культур высокого качества, расширился их ассортимент, увеличилось разнообразие сортов, а также выпуск посадочного и посевного материала [7].

Сдерживающим фактором развития цветоводства являются инфекционные болезни, среди которых наибольшее значение имеют вирусные инфекции, влияющие на декоративные качества, ухудшающие физиологическое состояние растений, что, в конечном итоге, наносит значительный экономический ущерб [8]. Особенный вред вирусы наносят цветочным культурам, которые размножаются вегетативно, где постоянным источником инфекции является инфицированный посадочный материал (луковицы, клубнелуковицы и т.п.). Негативное влияние вирусов на репродуктивную способность растений приводит к фенотипическому изменению признаков сорта, снижению урожая на 40–70 % и вырождению восприимчивых к вирусам сортов. Важным фактором является гетерогенность вирусных популяций, представленных различными вирусами и штаммами с разнообразными биологическими свойствами, а также совместной инфекцией несколькими видами вирусов [2; 9]. В связи с этим растения, пораженные вирусами, являются серьезными источниками вирусной инфекции, которая при наличии насекомых-переносчиков (например, тлей) легко

распространяется в природе, особенно, на растения овощных и ягодных видов [10–12].

В Российской Федерации вирусы и связанные с ними болезни декоративных растений традиционно изучаются недостаточно интенсивно. Ранние работы некоторых авторов [2; 13–15] носили преимущественно описательный характер. Изучение видового состава вирусов на цветочных культурах в средней полосе России, в настоящее время, активно осуществляется сотрудниками Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН [16; 17]. Расширение международных связей в последнее десятилетие способствует завозу из-за рубежа значительного количества посадочного и семенного материала. В связи с этим, в нашу страну попадают вредоносные, в том числе – неизвестные ранее вирусы растений. Поэтому для выращивания качественной продукции декоративных культур необходимо систематически обследовать растения как открытого, так и закрытого грунта, идентифицировать выявленные заболевания, изучать их этиологию с целью своевременного осуществления профилактических и защитных мероприятий.

Интенсивное изучение вирусных болезней цветочно-декоративных растений на Дальнем Востоке России, особенно – в последнее десятилетие, осуществляется сотрудниками лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, на базе которой успешно функционирует Российская государственная коллекция вирусов Восточной Азии [18]. По нашим наблюдениям, поражение вирусами декоративных культур в этом регионе неуклонно возрастает. Одним из наиболее опасных для декоративных культур является вирус огуречной мозаики (CMV – Cucumber mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*), анализу штаммового разнообразия которого на российском Дальнем Востоке посвящена данная работа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые CMV был описан в 1916 г. [19]. В середине прошлого века обстоятельные исследования CMV проведены во многих странах Азиатско-Тихоокеанского региона. Так, японские исследователи интенсивно изучают этот вирус, начиная с середины 1960-х гг. Сделан большой вклад в разработку методик его идентификации в растениях и выделения, способов дифференциации штаммов и изолятов, в определение их взаимоотношений, в исследование генома, в том числе – сателлитной РНК [20; 21]. Работы по диагностике CMV, идентификации его изолятов и изучению их свойств интенсивно проводятся в КНР и Корее [22–24]. Значительное внимание уделяется изучению свойств штаммов и изолятов CMV в странах Юго-Восточной [25] и Южной [26; 27] Азии.

Подобно другим представителям рода *Cucumovirus*, вирион CMV представляет собой безоболочечную псевдосферическую частицу икосаэдрической симметрии диаметром 28–32 нм (рис. 1), хотя могут встречаться и удлинённые частицы до 40 нм. Геном представлен тремя 5'-кэпированными 3'-трННК-подобными сегментами одноцепочечной РНК позитивной полярности, обозначаемых РНК-1 (3357 н.о.), РНК-2 (3050 н.о.) и РНК-3 (2216 н.о.), которые распределены по разным вирионам (трипартитный вирус). Вирусные частицы, содержащие РНК-2, могут содержать дополнительный сегмент РНК-4А (450 н.о.), а

вирусные частицы, содержащие РНК-3, - дополнительный сегмент РНК-4 (1030 н.о.). Сегмент РНК-1 кодирует белок 1а, N-концевой фрагмент которого обладает метилтрансферазной активностью и формирует 5'-кэп у дочерних генетических сегментов; С-концевой фрагмент 1а способен функционировать как геликаза, расплетающая дуплекс РНК, который формируется в результате работы РНК-зависимой РНК-полимеразы (белка 2а), кодируемой РНК-2. Ещё одна ORF РНК-2, расположенная ближе к 3'-концу, кодирует белок 2b, который подавляет способность растения-хозяина препятствовать распространению вируса. ORF 2b содержит и дополнительный сегмент РНК-4А. РНК-3 имеет две ORF: для белка 3а, или МР (от англ. movement protein), принимающего участие в распространении вируса по тканям растения-хозяина, и 3b, или СР (от англ. coat protein), формирующего оболочку вириона. ORF 3b представлена также отдельным дополнительным сегментом РНК-4. В природных условиях вирусные частицы различных сегментов CMV могут содержать различные сателлитные РНК (сатРНК) длиной 300–400 н.о., модулирующие уровень репликации вируса в различных хозяевах. Несмотря на различия по содержанию в вирионах генетического материала, все они имеют близкий по значению коэффициент

седиментации $S_{20,w} = 99\text{ S}$ и плавучую плотность в градиенте CsCl, равную $1,367\text{ г/см}^3$ [27–29].

CMV имеет широкий круг хозяев, заражая свыше 1300 видов более, чем 500 родов и 100 ботанических семейств однодольных и двудольных растений, включая овощные, декоративные, плодово-ягодные и сорные растения [1]. Наиболее часто встречающимися симптомами CMV-инфекции являются карликовость растений, нитевидность листьев, хлороз, некроз, хлоротичная крапчатость, вздутия листовой пластинки (рис. 1) [2; 11; 12]. У декоративных растений этот вирус может вызывать мозаичность и деформацию листьев, задержку роста, нарушение окраски и пороки развития цветков.

CMV передается с одного растения на другое, главным образом, тлями (Hemiptera: Aphidoidea) контактным путём неперсистентно (т.е. без репродукции вируса в тканях переносчика) [10; 11; 30; 31]. Часто развиваются массовые заражения (эпифитотии), охватывающие значительные площади. Особенно выраженный характер такие эпифитотии имеют в культурных ландшафтах [1; 2]. В зимний период CMV может сохраняться в корневой системе двух- и многолетних растений. С семенами CMV передаётся только у представителей семейства тыквенных (Cucurbitaceae).

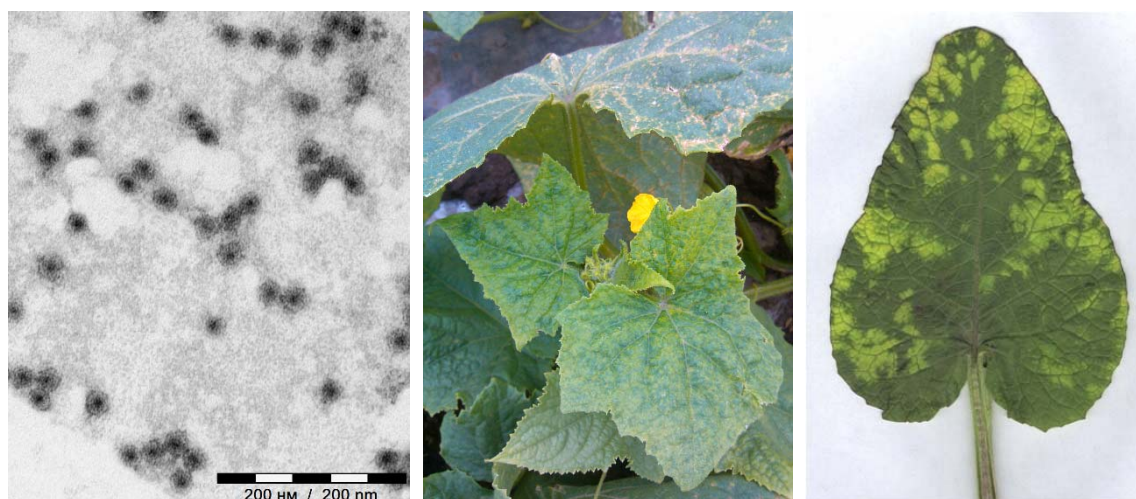


Рисунок 1. Электронно-микроскопическая фотография вирусных частиц CMV в клеточном соке львиного зева (*Antirrhinum majus*) (слева); симптомы CMV-инфекции на листьях огурца обыкновенного (*Cucumis sativus*) (в центре) и репейника (*Arctium lappa*) (справа) [из архива Российской коллекции вирусов Восточной Азии]

Figure 1. Electron microscope photograph of CMV virus particles in the cell sap of the Common snapdragon (*Antirrhinum majus*) cell (left); symptoms of CMV infection on leaves of Common cucumber (*Cucumis sativus*) (centre) and Edible burdock (*Arctium lappa*) (right) [from the Archive of the Russian Collection of East Asian Viruses]

По данным Российской коллекции вирусов Восточной Азии, функционирующей на базе лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН [18], за первые шестьдесят лет функционирования этого подразделения (с 1962 г.) на Дальнем Востоке в цветочно-декоративных культурах выявлено 27 штаммов CMV. Анализ результатов биологических, физико-химических и антигенных свойств позволяет отнести эти штаммы к обширной группе наиболее распространенных вариантов CMV. Указанные штаммы были изолированы из следующих декоративных растений, имевших разнообразные патологические проявления инфекционного процесса [2; 32; 33]:

- бальзамин (*Impatiens balsamina*) с симптомами светлой окраски листьев, слабой облиственностью и обильным цветением с последующим пожелтением листьев и быстрым увяданием и осыпанием цветков;
- гладиолус гибридный (*Gladiolus hybridus*) с симптомами темно-окрашенных продолговатых пятен на лепестках цветков и светло-зелеными штрихами на листьях;
- дельфиниум гибридный (*Delphinium hybridum*) с желтой кольцевой пятнистостью на листьях, деформированными и уменьшенными в размерах цветками;
- канна индийская (*Canna indica*) с симптомами в форме чередующихся полос желтого и светло-зеленого

цвета на листьях, продолговатыми некротическими пятнами на лепестках цветов;

- лилия тигровая (*Lilium tigrinum*) с симптомами светло-зеленой и буровато-зеленой штриховатой мозаики;
- примула обратноконическая (*Primula obconica*) с морщинистой мозаикой листьев, измельченностью и обесцвеченной пятнистостью цветков;
- эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*) с посветлением жилок, с развитием в морщинистую мозаику, и лепестками цветков с рваными краями.

В последнее десятилетие 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 (табл. 1).

На перспективной для Дальнего Востока декоративной культуре львиный зев (*Antirrhinum majus*), отличающейся большим сортовым разнообразием, и выращиваемой и на срезку, и как клумбовое растение, выявлен изолят CMV с симптомами карликовости, хлоротичной пятнистости и сужения листьев (рис. 2). Растение, пораженное вирусом, было обнаружено в частном хозяйстве Лесозаводского района Приморского края. Литературных данных о заболевании львиного зева CMV не найдено, хотя экспериментальным путем этот вид растений заражается многими вирусами, особенно, выделенными из бобовых культур, например, вирусом штриховатости гороха (PeSV – Pea streak carlavirus) (Tymovirales: Betaflexiviridae, *Carlavirus*) и увядания бобов (BBWV – Broad bean wild fabavirus) (Picornavirales: Secoviridae, *Fabavirus*) [2; 11; 18; 31].

Таблица 1. Физико-химические свойства штаммов вируса огуречной мозаики, изолированных от декоративных культур в Приморском крае

Table 1. Physico-chemical properties of cucumber mosaic virus strains isolated from ornamental crops in Primorsky krai

Источник изоляции Source of isolation	ТТИ, °C TIP, °C	ПСИ ₂₀ , сут. LIV ₂₀ , days	ПРС DEP
Бальзамин / Garden balsam (<i>Impatiens balsamina</i>)	65-70	3-7	н.д. / n.d.
Большой львиный зев / Common snapdragon (<i>Antirrhinum majus</i>)	50-60	2	10 ⁻¹ -10 ⁻²
Гладиолус гибридный / Sword lily (<i>Gladiolus hybridus</i>)	65-70	3-4	н.д. / n.d.
Дельфиниум гибридный / Garden delphinium (<i>Delphinium hybridus</i>)	65-70	3-4	н.д. / n.d.
Камбрия / Cambria (<i>Cambria</i> spp.)	45-50	1	10 ⁻¹ -10 ⁻²
Канна индийская / Indian shot (<i>Canna indica</i>)	67-68	3-4	н.д. / n.d.
Каттлея / Cattleya (<i>Cattleya</i> spp.)	55-60	4	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶
Огурец обыкновенный (источник изоляции типового штамма) Cucumber (source of typical strain isolation) (<i>Cucumis sativus</i>)	55-70	1-10	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
Петуния гибридная / Garden petunia (<i>Petunia hybrida</i>)	65-70	3-5	н.д. / n.d.
Примула обратноконическая / Primula obconica (<i>Primula obconica</i>)	65-70	3-5	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
Фаленопсис / Moth orchids (<i>Phalaenopsis</i> spp.)	75-80	4	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
Фатсхедера Литца / Fatschedera from lize freres (<i>Fatschedera litzei</i>)	55-60	4	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵
Штокроза обыкновенная / Common hollyhock (<i>Alcea rosea</i>)	75-80	5	10 ⁻² -10 ⁻³
Эхинацея пурпурная / Purple coneflower (<i>Echinacea purpurea</i>)	66-67	3-4	н.д. / n.d.

Обозначения: ТТИ – точка термической инактивации; ПСИ₂₀ – период сохранения инфекционности при температуре 20 °C;

ПРС – предельное разведение сока, вызывающее заболевание здоровых растений; н.д. – нет данных

Designations: TIP – terminal inactivation point; LIV₂₀ – longevity in vitro at a temperature of 20 °C;

DEP – dilution endpoint causing disease in healthy plants; n.d. – no data

Еще один изолят ВОМ выявлен на петунии гибридной (*Petunia hybrida*) из семейства пасленовых (Solanaceae) – садовый гибрид петунии пазушной (*P. axillaris*) и петунии фиолетовой (*P. violacea*), известной как многолетник, но в садовой культуре, выращиваемой как однолетнее растение. *P. hybrida* с симптомами вздутия листьев, чередованием светло- и темно-зеленых участков ткани листовой пластинки и стягивания главной жилки листа выявлена в коллекции декоративных культур на Приморской овощной опытной станции (г. Артем). В процессе идентификации возбудителя заболевания был выявлен CMV. Из всех известных вирусов, поражающих петунии, CMV встречается чаще всего и является наиболее вредоносным.

Штокроза обыкновенная (*Alcea rosea*) из семейства Мальвовые (Malvaceae) (особенно махровые формы) в последнее время пользуется огромной популярностью у цветоводов Дальнего Востока для оформления садовых участков и клумб (особенно в сельских поселениях). В Приморском крае это растение с симптомами яркой кольцевой мозаики вблизи коллекционного участка овощных культур в Приморском

НИИ сельского хозяйства (Уссурийский городской округ). Установлено, что растение поражено CMV. Учитывая основные направления работы указанного НИИ по селекции овощных культур, эта находка свидетельствует о потенциальной угрозе вирусной инфекции для овощных растений.

Георгины (*Dahlia pinnata*) – многолетние растения из семейства сложноцветных (Asteraceae) – отличаются большим (более 15 тыс.) сортовым разнообразием и поражаются комплексом различных вирусов. Но наиболее опасным является именно CMV. В частных хозяйствах на георгинах нами выявлен только этот вирус. Растения, инфицированные CMV, отличаются хлоротичным окаймлением жилок и яркой крапчатостью листьев (рис. 3). Иногда наблюдали измельчение и деформацию цветов. На протяжении последних 10 лет проводятся регулярные визуальные и иммунохимические обследования коллекционного сортового питомника георгинов и других видов декоративных растений в Ботаническом саде-институте ДВО РАН на наличие вирусов. В результате комплексных эколого-вирусологических исследований на территории Приморского края нам

удалось установить, что большинство сортов заражены CMV. В 2007–2022 гг. из 85 сортов обследованных

георгинов симптомы вирусного поражения имели 44 сорта.



Рисунок 2. Растения большого львиного зева (*Antirrhinum majus*): незаражённое (слева); заражённое CMV (в центре и справа) [из архива Российской коллекции вирусов Восточной Азии]

Figure 2. Common snapdragon (*Antirrhinum majus*) plants: uninfected (left); infected by CMV (center and right) [from the Archive of the Russian Collection of East Asian Viruses]



Рисунок 3. Симптомы CMV-инфекции на георгинах (*Dahlia pinnata*) [из архива Российской коллекции вирусов Восточной Азии]

Figure 3. Symptoms of CMV infection on Dahlias (*Dahlia pinnata*) [from the Archive of the Russian Collection of East Asian Viruses]

Помимо цветковых растений открытого грунта, CMV выделен и изучен на комнатных растениях закрытого грунта (табл. 2).

В коллекции Ботанического сада-института ДВО РАН среди растений фатсхедеры Литца (*Fatschedera litzei*) из семейства аралиевых (Araliaceae) — необычно неприхотливой вечнозеленой комнатной лиане, не требующей много света — выявлены экземпляры, зараженные CMV, с симптомами светло-зеленой мозаики и деформации. Ещё одно заболевание обнаружено на фикусе Бенджамина (*Ficus benjamina*) из

семейства тутовых (Moraceae) с симптомами кольцевой мозаики, предоставленном цветоводом-любителем [34]. На основании изучения морфологии вирусных частиц, передачи вируса механической инокуляцией сока и тлями, антигенных свойств, а также проведенной сравнительной характеристики биологических свойств (круга растений-хозяев, симптоматики, физических свойств вирионов) исследуемые изоляты из фикуса Бенджамена и фатсхедеры Литца отнесены к группе обычных штаммов CMV.

Таблица 2. Реакция тест-растений на заражение изолятами вируса огуречной мозаики, выявленными на цветочно-декоративных растениях российского Дальнего Востока
Table 2. Reaction of test plants to infection with cucumber mosaic virus isolates detected on flower and ornamental plants in the Russian Far East

Тест-растение Indicator plant	Источник изоляции штамма / Source of strain isolation						
	Фигус Бенджамина (<i>Ficus benjamina</i>)	Фатхедера Литца (<i>Fatshedera litzei</i>)	Петуния гибридная (<i>Petunia hybrida</i>)	Штокроза обыкновенная (<i>Aster rosea</i>)	Львиный зев (<i>Antirrhinum majus</i>)	Каттлея (<i>Cattleya</i> spp.)	Фаленопсис (<i>Phalaenopsis</i> spp.)
Львиный зев / Common snapdragon (<i>Antirrhinum majus</i>)	S:Cl, Stu	S:ClVe, Dis	S:Stu, Dis, NM	S:Stu, Dis, Roll	S:Cl, Dis, Stu	S:Dis, Stu	S:Cl
Сельдерей пахучий сорта Паскаль / Celery var. Pascal (<i>Apium graveolens</i> cv Pascal)	0	0	0	0	0	0	0
Амарант метельчатый / Amaranth paniculata (<i>Amaranthus paniculatus</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Амарант гибридный / Green amaranth (<i>Amaranthus hybridus</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Китайская астра / China aster (<i>Callistephus chinensis</i>)	0	0	0	0	0	0	0
Огурец обыкновенный / Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	по сортам / according to varieties						
Турниф / Turnip	S:ClMot	0	0	S:GrMot	0	0	0
Водолей / Vodelay	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Восток / Vostok	0	0	0	S:ClMot	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
ДВ-6 / DV-6	0	S:ClMot	0	S:ClMot, ClVe	0	S:ClSp	0
ДВ-27 / DV-27	0	0	0	S:ClMot	0	0	0
Каскад / Kaskad	0	0	S:ClM	0	0	0	0
Уссурийский-3 / Ussuriyskiy-3	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Феникс / Feniks	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Хабар / Khabar	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	S:ClMot, Sp	0
Марь остроколючая / Dysphania amaranticolor (<i>Chenopodium amaranticolor</i>)	0	0	L:N	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Марь амброзиевидная / Dysphania ambrosioides (<i>Chenopodium ambrosioides</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Киноа / Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	L:N
Перец овощной однолетний / Pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	по сортам / according to varieties						
Богатырь / Bogatyr	0	S:Cl, Stu	S:Cl, DisVe	S:Cl, DisVe, Stu	S:DisVe, ClMot	S:ClMot, DisVe	0
Золотое калифорнийское чудо / Zolotoe kalifornijskoe chudo	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Арбуз обыкновенный / Watermelon (<i>Citrullus vulgaris</i>)	S:Cl, Mot	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Тыква гигантская сорта Ананасная / Giant pumpkin var. Ananasnaya (<i>Cucurbita maxima</i> cv Ananasnaya)	0	0	0	S:ClVe, Cl	S:ClVe	0	S:ClMot, ClM

Дыня / Melon (<i>Cucurbita melo</i>)	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	0	0	0
Твердокорая тыква / Summer squash (<i>Cucurbita pepo</i>)	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Дурман индейский / Pricklyburr (<i>Datura innoxia</i>)	с:ClVe, Dis, Cl	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	0	с:DisVe, Stu, ClMot
Дурман обыкновенный / Jimsonweed (<i>Datura stramonium</i>)	с:ClVe, Dis	с:Cl, GrMot, Dis	с:RM	с:ClSp, ClSp, Dis	с:ClVe, GrM, Dis	с:ClVe, Dis, ClSp	с:GrMot, Dis	с:ClSp, GrM
Гайлардия остистая / Common blanketflower (<i>Gaillardia aristata</i>)	0	0	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Гомфрена шаровидная / Globe amaranth (<i>Gomphrena globosa</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	L:N
Белена черная / Black henbane (<i>Hyoscyamus niger</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	с:ClMot, Dis	с:ClM, Dis	0
Недотрог бальзаминная / Rose balsam (<i>Impatiens balsamina</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0
Латук посевной сорта Лолло-Россо / Lettuce var. Lollo-Rosso (<i>Lactuca sativa</i> cv Lollo-Rosso)	с:O	с:O	0	0	0	0	0	0
по сортам / according to varieties								
Томат / Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)								
Белый налив / Belyi naliv	0	с:Dis	0	0	0	0	0	0
Волгоградский / Volgogradsky	0	0	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Дар Заволжья / Dar Zavolzhyia	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	с:ClMot	с:ClMot, Cl
Невский / Nevsky	0	с:O	0	0	0	с:Dis	0	0
Новичок / Novichok	0	с:O	0	с:Gr	0	0	0	0
Марманде / Marmande	с:ClMot, Stu, Dis	0	с:Dis, GrM	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Манимейкер / Manimejker	0	с:ClMot, Dis, Stu	0	с:ClMot, Dis	с:Dis	0	0	0
Моравское чудо / Moravskoe chudo	0	0	с:ClVe, ClMot	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Одиссей / Odisej	0	0	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Оранжевые сливки / Oranzhevyie slivki	с:Dis	0	с:ClMot, Roll	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Отличник / Otlichnik	0	с:Cl, Roll	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Перцевидный розовый / Percevidnyi roзовyi	0	0	с:Dis	0	0	0	0	с:Dis
Пирсон / Pirson	0	0	с:Cl	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Ромея / Roma	0	с:GrMot, Dis, Stu	с:O	0	0	0	0	с:M, Dis,
Союз 8 / Soyuz 8	0	0	0	0	0	0	0	0
Титан / Titan	0	0	0	0	0	0	0	0
Хабар-308 / Khabar-308	с:ClMot	0	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Хурма / Khurma	с:ClVe, ClMot	0	с:M, Dis, Stu	с:GrMot, Dis, Roll	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Черный принц / Chyornyi printc	с:ClVe, ClMot, Stu	с:ClMot, Dis	0	с:ClVe, ClMot, Roll	0	с:ClVe, Dis	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Никандра физалисовидная / Shoo-fly plant (<i>Nicandra physaloides</i>)	с:ClMot, Stu, Dis	с:ClVe, Cl, Dis	с:Stu, ClMot, Cl	с:Stu, Cl	с:Cl, DisVe, ClVe	с:Dis	с:Dis, M, ClVe	с:ClMot, Dis
Табак крылатый / Jasmine tobacco (<i>Nicotiana glauca</i>)	с:ClVe, ClMot	с:ClVe, M	с:ClMot	с:ClVe, Stu, Dis	с:ClMot	с:Dis, ClMot	0	0
Табак клейкий / Sticky tobacco (<i>Nicotiana glutinosa</i>)	с:ClMot, Dis	с:Cl, ClVe, GrM	с:ClMot, Dis	с:Dis, Stu, GrM	с:Stu, Dis, GrMot	с:GrSp, Dis	с:ClMot, Dis	0
Табак метельчатый / Panicked tobacco (<i>Nicotiana paniculata</i>)	с:GrBdVe	0	0	0	0	0	с:ClVe	0

Махорка / Strong tobacco (<i>Nicotiana rustica</i>)	0	S:ClVe, Dis, Stu, Rug	S:Cl, Dis	S:ClMot	S:ClMot, ClSp	S:Cl, Roll	S:ClVe, Dis	S:Cl, Dis
по сортам / according to varieties								
Табак обыкновенный / Cultivated tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i>)								
Самсун / Samsun	L:ClSp, S:ClVe, ClRM, Dis	S:ClVe	S:ClM, Dis	S:Cl, Dis, ClMot	S:ClVe, ClSp	S:Cl, Mot	S:ClVe, Dis, ClMot	S:ClM
Ксанти / Xanthi	S:ClVe	S:ClVe, Cl, GrMot, Dis	S:ClVe, Cl	S:Cl, Dis, ClMot	S:ClBdVe	S:Cl Mot	S:ClVe, Stu, Dis	S:ClVe, ClMot, Dis, Stu
Петуния гибридная / Garden petunia (<i>Petunia hybrida</i>)	S:ClVe, ClMot, Dis	S:GrM	S:GrM, Dis, ClMot	S:ClVe, DisVe	S:Dis, Cl	S:Cl, Dis, GrMot, Stu	S:Cl	S:Cl
Физалис флоридский сорта Кондитерский / Husk tomato var. Konditersky (<i>Physalis floridana</i> cv Konditersky)	0	S:Cl, Dis	0	0	0	0	0	0
Физалис земляничный / Mungo (<i>Physalis mungo</i>)	0	0	S:GrMot, Dis	0	0	0	0	S:DisVe, Cl
Фасоль обыкновенная / Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0
Баклажан / Eggplant (<i>Solanum melongena</i>)	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	0	0	0
Фомелтовое чудо / Fioletovoe chudo	0	S:Cl, GrSp	0	0	0	0	0	0
Черный кракорец / Chernyy Krasavets	0	0	0	0	0	0	0	0
Шпинат огородный / Spinach (<i>Spinacia oleracea</i>)	0	0	0	S:ClVe, Dis, DisVe	S:O	0	0	0
Бархатцы прямостоячие / Aztec marigold (<i>Tagetes erecta</i>)	S:ClVe, ClMot	0	0	0	0	0	0	S:Cl, Mot
Шпинат новозеландский / New Zealand spinach (<i>Tetragonia expansea</i>)	0	0	0	0	0	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.	н.д. / n.d.
Пажитник сенной / Fenugreek (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	0	0	0	0	0	L:N	0	0
Боб конский / Broad bean (<i>Vicia faba</i>)	0	L:N	L:N	0	0	0	0	0
Коровий горох / Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>)	0	0	S:Dis, ClMot	0	0	0	0	0
Цинния изящная сорта Новый аттракцион / Elegant zinnia var. Novy Attraktion (<i>Zinnia elegans</i> cv Novy Attraktion)	S:Cl, Mot, Dis	0	S:ClMot, Dis	S:ClMot, DisVe	S:ClMot	S:ClM, Cl, Dis	0	0

Примечание: н.д. – нет данных; 0 – не заражается; Cl – хлороз листа; ClMot – хлоротичная крапчатость; ClSp – хлоротичная пятнистость; ClVe – хлороз жилок; Dis – деформация; GrMot – зеленая крапчатость; GrBdVe – зеленое окаймление жилок листа; GrM – зеленая мозаика; GrSp – зеленая пятнистость; M – мозаика; N – локальное поражение; NR – некротические кольца; Rug – морщинистость; S – системное поражение; S:O – бессимптомное заражение; Stu – задержка роста

Note: n.d. – no data; 0 – not infected; Cl – chlorosis of leaf; ClMot – chlorotic mottling; ClSp – chlorotic spotting; ClVe – chlorosis of veins; Dis – deformation; GrMot – green mottling; GrBdVe – green fringing of leaf veins; GrM – green mosaic; GrSp – green spotting; M – mosaic; N – local lesion; NR – necrotic rings; Rug – wrinkling; S – systemic lesion; S:O – asymptomatic infection; Stu – growth retardation

На юге Дальнего Востока России CMV впервые был идентифицирован у орхидей – представителей семейства ятрышниковых, или орхидных (Orchidaceae) – выращиваемых как комнатные растения [35]:

- каттлея (*Cattleya* spp.) с симптомами посветления жилок листьев;

- камбрия (*Cambria* spp.) с деформацией листьев и карликовостью растения;
- фаленопсис (*Phalaenopsis* spp.) с хлоротичной штриховатостью листьев (рис. 4).



Рисунок 4. Симптомы CMV-инфекции на листьях фаленопсиса (*Phalaenopsis* spp.) [из архива Российской коллекции вирусов Восточной Азии]

Figure 4. Symptoms of CMV infection on *phalaenopsis* (*Phalaenopsis* spp.) leaves [from the Archive of the Russian Collection of East Asian Viruses]

Образцы орхидей с симптомами вирусного поражения были доставлены в лабораторию для исследования цветоводами-орхидеистами. Ранее по биологическим характеристикам штаммы BOM на ДВ России был и отнесены к группе I. При более детальной идентификации с использованием молекулярно-генетических методов с участием сотрудников института сельскохозяйственной биотехнологии (г. Москва) в 2008 г. была установлена принадлежность изолятов BOM из петунии, каттлеи и камбрии к подгруппе изолятов IB (Восточно-Азиатских штаммов). Филогенетический анализ первичных последовательностей 2b гена изолятов CMV из *Cattleya* spp. и *Cambria* spp., показал, что эти приморские изоляты CMV объединяются в самостоятельную группу, достаточно отстоящую от зарубежных штаммов этого вируса [36]. Показано, что выявленные дальневосточные изоляты CMV легко переносятся тлями, механически и прививкой, перезимовывают в клубнях и луковицах. Поскольку многие виды цветочно-декоративных культур размножаются вегетативно, поэтому инфицированные CMV экземпляры могут передавать вирусную инфекцию непосредственно своему потомству. Так что, существующая прямая опасность распространения

этого патогена среди декоративных (и не только) культур, в настоящее время весьма актуальна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

CMV характеризуется большим штаммовым разнообразием, и количество выявляемых в различных странах и регионах штаммов, постоянно увеличивается. В связи с этим исследование биологических, физико-химических, иммунохимических и молекулярно-биологических свойств CMV является актуальной задачей, так как открывает возможность изучения изолятов этого вируса и классификации его штаммов с учётом индивидуальных особенностей и родственных взаимоотношений.

Для того, чтобы минимизировать риск распространения CMV необходимо соблюдать ряд профилактических мер. Обязательное условие – высаживание в садах клубней, луковиц, черенков и семян только от здоровых маточных растений. В течение лета необходимо просматривать растения на наличие насекомых (при необходимости проводить обработку растений), а подозрительные на вирусные заболевания экземпляры с неравномерно окрашенными листьями и цветами, низкорослостью и

искривлёнными листьями (за исключением сортовых признаков) просто удалять, поскольку растения инфицированные CMV не выздоравливают. А поскольку CMV легко передается с одного растения на другое через инструменты и руки при черенковании, срезке и т.д., очень важно, чтобы в посадках не было инфицированных экземпляров. Необходимо обязательно обрабатывать инструменты после каждого среза дезинфицирующим раствором (например, крепким раствором KMnO_4). Кроме того, следует обеспечить хорошую проветриваемость и освещённость участка в открытом грунте, не допускать загущенности посадок. За весь период выращивания растений важно постоянно бороться с переносчиками, клубни и луковицы выкапывать только в сухую погоду и тщательно просушивать на солнце в течение 2–3 ч, а также необходимо предохранять их от повреждений.

В настоящее время стали популярными декоративные многолетние и однолетние растения, поступающие к потребителю с закрытой корневой системой, что позволяет культивировать их в открытом грунте и более продолжительное время размножать черенками и розетками. Поэтому возникает реальная опасность появления и быстрого распространения новых, ранее не встречавшихся вирусных заболеваний, а также их переносчиков.

Следовательно, очень важно внимательно относиться к приобретаемым растениям, так как самый быстрый путь получить больное растение – это посадочный материал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Hull R. Plant virology. UK: Academic press, 2013. 1104 p.
- 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.
- Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 234 с.
- Пескова А., Пескова М., Стафеева В., Мухина Е. Систематика, морфология и экология комнатных растений. Москва: Изд-во АСТ, 2017. 94 с.
- Позднякова А.В., Резвицкий Т.Х., Тикиджан Р.А., Митлаш А.В., Калашник В.Ю. Влияние комнатных растений на психо-эмоциональное состояние человека // The Scientific Heritage. 2021. N 58–1(58). С. 34–35. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-58-1-34-35>
- Kuzichev O.B., Kuzicheva N.Y. Innovative processes in floriculture: current status, problems and prospects // Indian Journal of Science and Technology. 2016. V. 9. N 16. Article ID: 89804. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i16/89804>
- Кузичев О.Б., Кузичева Н.Ю., Полянских Р.А. Современное состояние цветоводства в России и перспективы развития // Наука и образование. 2019. Т. 2. N 4. Article ID: 172.
- Malter A. The dynamic nature of the market for ornamentals: Implications for virus research // Acta Horticulture. 1996. V. 432. P. 28–35. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.432.2>
- Рыбалко А.Е. Об оздоровлении растений от вирусных заболеваний методами культуры тканей (на примере цветочных растений) // Сельскохозяйственная биология. 1984. N 4. С. 80–81.
- 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. N 30. С. 191–199. <https://doi.org/10.25221/kurentzov.30.18>
- 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://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-121-133>
- Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Толкач В.Ф., Щелканов М.Ю. Вирусные заболевания плодово-ягодных культур на юге российского Дальнего Востока // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 4. С. 88–100. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-88-100>
- Проценко А.Е. О резервации вируса лилий // В кн.: Вирусологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВЦ СО АН СССР, 1969. С. 192–194.
- Корнеева И.Т. Вирусные болезни декоративных растений. М.: Издательство литературы по строительству, 1964. 42 с.
- Сергеева В.Г. Вирусное заболевание гортензии (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) D.C.) // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1968. N 10. С. 92–95.
- Келдыш М.А., Васильева И.В., Червякова О.Н., Помазков Ю.И. Значение вирусов в сохранении генофонда цветочных культур // Материалы III международной конференции «Цветоводство – сегодня и завтра», Москва, 12–14 июля, 1998. С. 130–132.
- Келдыш М.А., Червякова О.Н. Иммунный статус цветочно-декоративных растений в коллекциях Главного ботанического сада РАН (вирусные и грибные патогены) // Плодоводство и ягодоводство России. 2022. Т. 70. С. 83–92.
- Щелканов М.Ю., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Козловская З.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 // Материалы международной научной конференции «Приморские Зори – 2017», Владивосток, 20–22 апреля, 2017. С. 466–470.
- Doolittle S.P. A new infectious mosaic disease of cucumber // Phytopathology. 1916. V. 6. P. 145–147.
- Shohara K., Osaki T. Precipitation and purification of cucumber mosaic virus by polyethylene glycol and reverse concentration PEG gradient centrifugation // Annals of the Phytopathological Society of Japan. 1974. V. 40. N 3. P. 265–267.
- Hidaka S., Tsunasawa S., Yoon J., Narita K., Takanami Y., Kubo S., Miura K. Messenger RNA structure participating in the initiation of synthesis of cucumber mosaic virus coat protein // Journal Biochemistry. 1985. V. 997. N 1. P. 161–171. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a135040>
- He L., Wang Q., Gu Z., Liao Q., Palukaitis P., Du Z. A conserved RNA structure is essential for a satellite RNA-mediated inhibition of helper virus accumulation // Nucleic Acids Research. 2019. V. 47. N 15. P. 8255–8271. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz564>
- Ryu K.H., Park W.M. Complementary DNA hybridization analysis of double-stranded RNAs associated with cucumber mosaic virus-As strain // Journal of Phytopathology. 1995. V. 143. N 11–12. P. 683–687.
- Chen Y.-K. Occurrence of Cucumber mosaic virus in ornamental plants and perspectives of transgenic control. Wageningen University, the Netherlands: Wageningen University Press, 2003. 151 p.
- Tsuchizaki T., Iwaki M. Cucumber mosaic virus isolated from winged beans in Thailand and from asparagus beans in Indonesia // Technical Bulletin Tropical Agricultural Research Center, 1986. V. 21. P. 223–227.
- Mohan S., Lakshmanan P. Outbreak of CMV on Musa sp. in Tamil Nadu, India // Phytoparasitica. 1988. V. 16. P. 281–282.

27. Raj S.K., Haq Q.M.R., Srivastava K.M., Singh B.P. Sequence homology of 2 Indian isolates of cucumber mosaic virus N-terminal amino-acid sequences of the coat protein gene with CMV strains // *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 1995. V. 4. N 2. P. 77–80.
28. Palukaitis P., García-Arenal F. Cucumoviruses // *Advances in Virus Research*. 2003. V. 62. P. 241–323.
29. García-Arenal F., Palukaitis P. Structure and functional relationships of satellite RNAs of Cucumber mosaic virus // *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 1999. V. 239. P. 37–63.
30. Толкач В.Ф., Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Щелканов М.Ю. Вирусы овощных культур Дальнего Востока России и их переносчики // *Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова*. 2019. Вып. 30. С. 200–210. <https://doi.org/10.25221/kurentzov.30.19>
31. 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>
32. Гнутова Р.В. Таксономия вирусов растений Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 466 с.
33. Толкач В.Ф., Гнутова Р.В. Восточно-азиатские изоляты вируса огуречной мозаики на декоративных растениях в Приморье // *Вестник защиты растений*. 2011. N 3. С. 45–52.
34. Толкач В.Ф., Гнутова Р.В. Поражение многолетних растений из семейств Аралиевые и Тутовые вирусом огуречной мозаики // *Вестник защиты растений*. 2010. N 2. С. 36–41.
35. Толкач В.Ф., Гнутова Р.В. Характеристика растений семейства Orchidaceae, пораженных вирусом огуречной мозаики // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2007. N 4. С. 165–172.
36. Gnutova R.V., Nesmelov I.B., Vischnichenko V.K., Tolkach V.F. Phylogenetic analysis on 2b gene of cucumber mosaic cucumovirus // *Proceeding of VI-th International Conference “Bioresources and viruses”*, Kiev, 14–17 September, 2010. P. 204–205.
8. Malter A. The dynamic nature of the market for ornamentals: Implications for virus research. *Acta Horticulture*, 1996, vol. 432, pp. 28–35. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.432.2>
9. Rybalko A.E. On the improvement of plants from viral diseases by methods of tissue culture (on the example of flower plants). *Sel'skhozhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 1984, no. 4, pp. 80–81. (In Russian)
10. Kakareka N.N., Tolkach V.F., Sapotsky M.V., Volkov Yu.G., Schelkanov M.Yu. Insects-vectors of potato viral diseases in the Far East. *Readings in memory of Alexey Ivanovich Kurentsov*, 2019, no. 30, pp. 191–199. (In Russian) <https://doi.org/10.25221/kurentzov.30.18>
11. Tolkach V.F., Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Kozlovskaya Z.N., Sapotsky M.V., Pleshakova T.I., Dyakonov K.P., Schelkanov M.Yu. Viral 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://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-121-133>
12. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F., Schelkanov M.Yu. Viral diseases of fruit and berry crops in the south of the Russian Far East. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 88–100. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-88-100>
13. Protsenko A.E. About the reservation of the lily virus. In: *Virusologicheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke [Virological research in the Far East]*. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1969, pp. 192–194. (In Russian)
14. Korneeva I.T. *Virusnye bolezni dekorativnykh rastenii [Viral diseases of ornamental plants]*. Moscow, Publ. House of Literature on construction, 1964, 42 p. (In Russian)
15. Sergeeva V.G. Viral disease of hydrangea (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) D.C). *Nauchnye doklady vysshei shkoly. Biologicheskie nauki [Scientific reports of the higher school. Biological sciences]*. 1968, no. 10, pp. 92–95. (In Russian)
16. Keldysh M.A., Vasilyeva I.V., Chervyakova O.N., Pomazkov Yu.I. Znachenie virusov v sohraneni genofonda cvetochnykh kul'tur [The importance of viruses in preserving the gene pool of flower crops]. *Materialy III mezhdunarodnoi konferencii «Cvetovodstvo – segodnya i zavtra»*, Moskva, 12–14 iyulya 1998 [Proceedings of the III International Conference "Floriculture – Today and Tomorrow", Moscow, 12–14 July 1998]. Moscow, 1998, pp. 130–132. (In Russian)
17. Keldysh M.A., Chervyakova O.N. Immune status of flower and ornamental plants in the collections of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (viral and fungal pathogens). *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Fruit and berry growing in Russia]*. 2022, vol. 70, pp. 83–92. (In Russian)
18. Schelkanov 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 kollekcii virusov Vostochnoi Azii na baze DVO RAN [Organization of the Russian State Collection of East Asian Viruses on the basis of the FEB RAS]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii «Primorskie Zori – 2017»*, Vladivostok, 20–22 aprelya 2017 [Materials of the international scientific conference "Primorye Dawns – 2017", Vladivostok, 20–22 April 2017]. Vladivostok, 2017, pp. 466–470. (In Russian)
19. Doolittle S.P. A new infectious mosaic disease of cucumber. *Phytopathology*. 1916, vol. 6, pp. 145–147.
20. Shohara K., Osaki T. Precipitation and purification of cucumber mosaic virus by polyethylene glycol and reverse concentration PEG gradient centrifugation. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1974, vol. 40, no. 3, pp. 265–267.
21. Hidaka S., Tsunasawa S., Yoon J., Narita K., Takanami Y., Kubo S., Miura K. Messenger RNA structure participating in the initiation of synthesis of cucumber mosaic virus coat protein.

- Journal Biochemistry*, 1985, vol. 97, no. 1, pp. 161–171. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a135040>.
22. He L., Wang Q., Gu Z., Liao Q., Palukaitis P., Du Z. A conserved RNA structure is essential for a satellite RNA-mediated inhibition of helper virus accumulation. *Nucleic Acids Research*, 2019, vol. 47, no. 15, pp. 8255–8271. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz564>
23. Ryu K.H., Park W.M. Complementary DNA hybridization analysis of double-stranded RNAs associated with cucumber mosaic virus-Asian strain. *Journal of Phytopathology*. 1995, vol. 143, no. 11–12, pp. 683–687.
24. Chen Y.-K. Occurrence of Cucumber mosaic virus in ornamental plants and perspectives of transgenic control. Wageningen University, the Netherlands, Wageningen University Press Publ., 2003, 151 p.
25. Tsuchizaki T., Iwaki M. Cucumber mosaic virus isolated from winged beans in Thailand and from asparagus beans in Indonesia. *Technical Bulletin Tropical Agricultural Research Center*. 1986, vol. 21, pp. 223–227.
26. Mohan S., Lakshmanan P. Outbreak of CMV on Musa sp. in Tamil Nadu, India. *Phytoparasitica*. 1988, vol. 16, pp. 281–282.
27. Raj S.K., Haq Q.M.R., Srivastava K.M., Singh B.P. Sequence homology of 2 Indian isolates of cucumber mosaic virus N-terminal amino-acid sequences of the coat protein gene with CMV strains. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 1995, vol. 4, no. 2, pp. 77–80.
28. Palukaitis P., García-Arenal F. Cucumoviruses. *Advances in Virus Research*. 2003, vol. 62, pp. 241–323.
29. García-Arenal F., Palukaitis P. Structure and functional relationships of satellite RNAs of Cucumber mosaic virus. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 1999, vol. 239, pp. 37–63.
30. Tolkach V.F., Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Schelkanov M.Yu. Viruses of vegetable crops of the Russian Far East and their vectors. *Readings in memory of Alexey Ivanovich Kurentsov*, 2019, no. 30, pp. 200–210. (In Russian) <https://doi.org/10.25221/kurentsov.30.19>
31. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F., Dyakonov K.P., Moskvina T.V., Schelkanov M.Yu. Aphids (Homoptera: Aphididae) are carriers of viral diseases of legumes in the Far East. *Readings in memory of Alexei Ivanovich Kurentsov*, 2019, no. 30, pp. 211–222. (In Russian) <https://doi.org/10.25221/kurentsov.30.20>
32. Gnutova R.V. *Taksonomiya virusov rastenii Dal'nego Vostoka Rossii* [Taxonomy of plant viruses of the Russian Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2009, 466 p. (In Russian)
33. 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)
34. Tolkach V.F., Gnutova R.V. Defeat of perennial plants from the families Araliaceae and Mulberries by cucumber mosaic virus. *Vestnik zashchity rastenii* [Bulletin of Plant Protection]. 2010, no. 2, pp. 36–41.
35. Tolkach V.F., Gnutova R.V. Characteristics of plants of the Orchidaceae family affected by the cucumber mosaic virus. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skhozaystvennoi akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy]. 2007, no. 4, pp. 165–172. (In Russian)
36. Gnutova R.V., Nesmelov I.B., Vischnichenko V.K., Tolkach V.F. Phylogenetic analysis on 2b gene of cucumber mosaic cucumovirus. *Proceeding of VI-th International Conference "Bioresources and viruses"*, Kiev, 14–17 September, 2010, pp. 204–205.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валентина Ф. Толкач, Юрий Г. Волков, Надежда Н. Какарека, Максим Р. Алиев и Михаил Ю. Щелканов разработали концепцию статьи, подготовили ее текст. Михаил Ю. Щелканов отредактировал рукопись до подачи её в редакцию. Валентина Ф. Толкач, Юрий Г. Волков, Надежда Н. Какарека и Максим Р. Алиев участвовали в сборе полевого материала, подборе литературы и ее анализе. 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

Valentina F. Tolkach, Yuri G. Volkov, Nadezhda N. Kakareka, Maxim R. Aliev and Mikhail Yu. Shchelkanov developed the concept of the article and prepared the text. Mikhail Yu. Shchelkanov edited the manuscript before submitting it to the Editor. Valentina F. Tolkach, Yuri G. Volkov, Nadezhda N. Kakareka and Maxim R. Aliev participated in the collection of field material and the selection of literature and its analysis. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Валентина Ф. Толкач / Valentina F. Tolkach <https://orcid.org/0000-0002-1893-9580>
 Юрий Г. Волков / Yuri G. Volkov <https://orcid.org/0000-0002-4631-1678>
 Надежда Н. Какарека / Nadezhda N. Kakareka <https://orcid.org/0000-0002-2567-0452>
 Максим Р. Алиев / Maxim R. Aliev <https://orcid.org/0000-0003-1676-1405>
 Михаил Ю. Щелканов / Mikhail Yu. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Оригинальная статья / Original article

УДК 579.64

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-104-113

Изучение влияния бактерий рода *Pseudomonas* на рост и токсинопродуцирование гриба *Fusarium graminearum* *in vitro*

Валерия В. Аллахвердян¹, Татьяна М. Сидорова¹, Азамат З. Темердашев², Анжела М. Асатурова¹, Наталья С. Томашевич¹

¹Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

²Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Валерия В. Аллахвердян, м.н.с. лаборатории микробиологической защиты растений, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о-39. Тел. +79648950107

Email lera_arm@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

Формат цитирования

Аллахвердян В.В., Сидорова Т.М., Темердашев А.З., Асатурова А.М., Томашевич Н.С. Изучение влияния бактерий рода *Pseudomonas* на рост и токсинопродуцирование гриба *Fusarium graminearum* *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 104-113. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-104-113

Получена 26 июля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить потенциал бактерий штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 для ингибирования роста возбудителей фузариоза колоса на примере гриба *F. graminearum* и снижения накопления дезоксиниваленола (ДОН) и зеараленона (ЗЕН) *in vitro*.

Материалы и методы. Анализ антигрибных метаболитов бактерий рода *Pseudomonas* осуществляли методом тонкослойной хроматографии и биоавтографии. Опыт по влиянию жидкой культуры и супернатанта бактерий на рост и токсинопродуцирование гриба *F. graminearum* *in vitro* проводили на зерне пшеницы. Анализ зерна на микотоксины осуществлялся методом ВЭЖХ-МСВР.

Результаты. Обнаружена способность штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 продуцировать антигрибные метаболиты, при этом происходит ингибирование роста гриба *F. graminearum* 60318 *in vitro*. Содержание ДОН снижается как под действием жидкой культуры и супернатанта бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F на 60 % и 70 %, соответственно, так и жидкой культуры и супернатанта бактерий *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на 75 % и 90 %, соответственно. Накопление ЗЕН также значительно подавляется под влиянием жидких культур и супернатантов бактериальных штаммов. Количество ЗЕН снижается под действием жидкой культуры и супернатанта бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F на 80 % и 95 %, соответственно. Жидкая культура и супернатант бактерий *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 подавляют накопление ЗЕН на 60 % и 84 %, соответственно.

Заключение. Полученные результаты по исследованию влияния жидких культур и супернатантов бактерий штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на рост и токсинопродуцирование гриба *F. graminearum* 60318 *in vitro* позволяют рассматривать данные штаммы в качестве потенциальных продуцентов эффективных биофунгицидов против токсинопродуцирующих грибов. Необходимо провести дальнейшее изучение данных штаммов бактерий *in vitro* и *in vivo* на растениях.

Ключевые слова

Fusarium graminearum, *Pseudomonas*, биоконтроль, жидкая культура, супернатант, метаболиты, микотоксины, дезоксиниваленол, зеараленон.

Study of the effect of bacteria of the genus *Pseudomonas* on the growth and toxin production of the fungus *Fusarium graminearum* *in vitro*

Valeria V. Allahverdyan¹, Tatiana M. Sidorova¹, Azamat Z. Temerdashev², Anzhela M. Asaturova¹ and Natalia S. Tomashevich¹

¹Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

²Kuban State University, Krasnodar, Russia

Principal contact

Valeria V. Allahverdyan, Junior Researcher,
Laboratory of Microbiological Plant Protection,
Federal Scientific Centre for Biological Plant
Protection; p/o-39, Krasnodar, Russia 350039
Tel. +79648950107
Email lera_arm@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

How to cite this article

Allahverdyan V.V., Sidorova T.M., Temerdashev A.Z., Asaturova A.M., Tomashevich N.S. Study of the effect of bacteria of the genus *Pseudomonas* on the growth and toxin production of the fungus *Fusarium graminearum* *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 104-113. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-104-113

Received 26 July 2023

Revised 14 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To study the potential of bacteria strains *P. chlororaphis* BZR 245-F and *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 to inhibit the growth of *Fusarium* ear blight pathogens through the example of the fungus *F. graminearum* and to reduce the accumulation of deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN) *in vitro*.

Materials and Methods. Antifungal metabolites of *Pseudomonas* bacteria were analysed by thin layer chromatography and bioautography. An experiment on the effect of liquid culture and supernatant of bacteria on the growth and toxin production of the fungus *F. graminearum* *in vitro* was carried out on wheat grain. Analysis of grain for mycotoxins was carried out by HPLC-HRMS.

Results. The ability of strains *P. chlororaphis* BZR 245-F and *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 to produce antifungal metabolites was found, while inhibiting the growth of the fungus *F. graminearum* 60318 *in vitro*. The content of DON decreases both under the action of the liquid culture and supernatant of *P. chlororaphis* BZR 245-F bacteria by 60 % and 70 %, respectively, and the liquid culture and supernatant of *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 bacteria by 75 % and 90 %, respectively. The accumulation of ZEN is also significantly suppressed under the influence of liquid cultures and supernatants of bacterial strains. The amount of ZEN decreases under the influence of liquid culture and supernatant of *P. chlororaphis* BZR 245-F bacteria by 80 % and 95 %, respectively. Liquid culture and supernatant of *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 bacteria inhibited the accumulation of ZEN by 60 % and 84 %, respectively.

Conclusion. The results obtained through the study of the effect of liquid cultures and supernatants of *P. chlororaphis* BZR 245-F and *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 strains on the growth and toxin production of the fungus *F. graminearum* 60318 *in vitro* allow us to consider these strains as potential producers of effective biofungicides against toxin-producing fungi. Further studies of these bacterial strains *in vitro* and *in vivo* on plants are needed.

Key Words

Fusarium graminearum, *Pseudomonas*, biocontrol, liquid culture, supernatant, metabolites, mycotoxins, deoxynivalenol, zearalenone.

ВВЕДЕНИЕ

Грибные патогены ежегодно уничтожают значительное количество всех продовольственных культур. Болезни растений, вызванные грибами, привели к значительному снижению урожайности зерновых культур. Фузариоз колоса представляет собой серьезную угрозу для урожая и качества пшеницы во всем мире [1]. Это связано с тем, что зерно зараженных растений значительно снижено по весу, деформировано и загрязнено микотоксинами. Микотоксины являются вторичными метаболитами микроскопических грибов, которые обычно загрязняют зерновые культуры. Грибы рода *Fusarium* относятся к числу опасных патогенов зерновых с высоким потенциалом токсичности. Вторичные метаболиты этих грибов, такие как дезоксиниваленол, зеараленон и фумонизин B1, входят в пятерку наиболее важных микотоксинов в европейском и мировом масштабе [2]. Вид *F. graminearum* является наиболее распространенным, так как повреждает сельскохозяйственные культуры во всем мире. В Европе, Азии, Южной Америке *F. graminearum* является доминирующим видом на пшенице (распространенность 90 %). Наиболее восприимчивой к заражению *F. graminearum* стадией растений пшеницы является стадия цветения GS65. Возбудитель легко проникает в колосья пшеницы через открытые соцветия и пыльники [3].

Чтобы максимально снизить риск потенциального заражения сельскохозяйственных культур грибами рода *Fusarium*, проводят мероприятия, основанные на агротехнических, селекционных, биологических, химических методах. Химические фунгициды применяются в качестве стратегии борьбы с фузариозом и накоплением ДОН в течение последних четырех десятилетий. Фермеры, выращивающие пшеницу, применяли бензимидазольные фунгициды, в основном карбендазим, в поле. Тем не менее, эти химические обработки запрещены за две–три недели до сбора урожая несмотря на то, что в этот период может пройти заражение *F. graminearum* и контаминация ДОН. Важно отметить, что использование карбендазима запрещено в ЕС и США [4]. Кроме того, устойчивые сорта и севооборот являются одними из используемых стратегий борьбы. Эффективность этих стратегий борьбы снижается из-за развития резистентности, способствуя развитию грибов рода *Fusarium* или продукции ДОН в благоприятных условиях окружающей среды.

В связи с этим более безопасным и эффективным методом защиты растений от болезней является применение биопестицидов, которые способны не только эффективно подавлять рост возбудителей, но и не вызывать их резистентность. Различные ризосферные бактерии способны защищать растения от болезней и повышать урожайность, что способствует их применению в качестве продуцентов биофунгицидов. Знание молекулярных механизмов, управляющих этими полезными взаимодействиями между растениями и микробами, позволяет оптимизировать, улучшать и идентифицировать потенциальные синергетические эффекты в защите растений. Производство антигрибных метаболитов, индукция системной резистентности и способность эффективно конкурировать с другими резидентными ризобактериями считаются важными предпосылками для оптимальной работы агентов биоконтроля [3; 5].

Потенциал бактерий рода *Pseudomonas* для снижения вредоносности грибных болезней базируется

на их способности продуцировать антимикробные соединения: пиолутеорин, феназины, пирролнитрин, флороглюцины, цианистый водород и циклические липопептиды, которые могут ингибировать рост или метаболизм других микроорганизмов и использоваться в качестве альтернативы химическим пестицидам [5; 6]. Обнаружены интересные аспекты молекулярных механизмов этих процессов. Многие исследователи большое внимание уделяют биоконтрольным свойствам штаммов рода *Pseudomonas*, продуцирующих феназин, а также механизмам действия, биосинтезу и регуляции продукции микробных феназинов. Феназины и флороглюцины являются основными детерминантами биологической борьбы с почвенными патогенами растений с помощью различных штаммов флуоресцентных псевдомонад. Феназины включают большое семейство гетероциклических азотсодержащих ярко окрашенных пигментов с широким спектром антибиотической активности. Механизмы действия феназинов при антифунгальных взаимодействиях основаны на диффузии через мембрану и образовании токсичных внутриклеточных радикалов супероксида и перекиси водорода, вредных для организма. Индуцированная системная резистентность также может быть активирована биотическими агентами [7; 8]. Рамнолипиды продуцируются бактериями, принадлежащими к *Pseudomonas* sp. Они также способны индуцировать механизмы устойчивости растений и подавлять рост различных фитопатогенных грибов, таких как *Botrytis cinerea* и *F. solani* [9]. Циклические липопептиды представляют собой вторичные метаболиты с широким спектром биологических функций. Они продуцируются нерибосомными синтазами псевдомонад. С химической точки зрения циклические липопептиды, выделенные из *Pseudomonas* spp., демонстрируют гораздо большее структурное разнообразие, чем из *Bacillus* spp. [10]. Пирролнитрин представляет собой фенилпиррол с сильным антифунгальным действием, ингибирующим дыхательную цепь грибов [11].

В последнее время широко изучались методы биологической борьбы с целью предотвращения роста *F. graminearum* и секреции ДОН [12; 13]. *Pseudomonas* spp., *Lysobacter enzymogenes*, *Bacillus* spp. и *Streptomyces* spp. проявляют антагонистическую активность в отношении грибов рода *Fusarium*. *Pseudomonas piscium* может ингибировать развитие и вирулентность грибов, секретируя феназин-1-карбоксамида [14; 15]. *F. oxysporum* f. sp. *cumini*, возбудитель увядания томата, может подавляться *P. fluorescens*, при этом наблюдается как ингибирование гриба, так и стимулирование роста растений [16]. Пирролнитрин биосинтезируется *P. chlororaphis* G05 и играет важную роль в подавлении *F. graminearum* [17]. Продуцирующий феназин-1-карбоксамида изолят *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* Pcho 10 ингибирует прорастание конидий и рост мицелия *F. graminearum*, а также синтез ДОН [18]. В лабораторных опытах бактерии *Paenobacillus macerans*, *P. putida*, *Sporobolomyces roseus*, *B. subtilis* подавляли рост *F. graminearum* на 95–100 %. Применение культуральных фильтратов этих штаммов в поле и теплицах приводило к снижению фузариоза колоса на 21–26 % [19; 20].

Многие исследования посвящены микробиологической деградации фузариозных микотоксинов, которая позволяет снизить их токсичность. К примеру, ДОН может быть расщеплен до лактонов ДОН и

продукты озонолиза или трансформированные в дезоксидезоксиниваленол, ДОН-3-глюкозид, 3-ацетил-ДОН, 7-ацетил-ДОН, 15-ацетил-ДОН, 3-кето-ДОН или 3-эпи-ДОН [21–23]. Необходимо учитывать, что грибы и бактерии часто образуют физически и метаболически взаимосвязанные консорциумы, обладающие свойствами, отличными от свойств их отдельных компонентов. Обнаружено, что бактерии могут оказывать влияние на жизненные циклы грибов и их патогенность. Показано, что фузариевая кислота подавляет биосинтез феназина у *P. chlororaphis* PCL 1391 [24]. Наше исследование возможности применения бактерий рода *Pseudomonas* для защиты урожая от фузариозных грибов и контаминации микотоксинами могут быть полезны для выбора оптимального и безопасного метода получения незагрязненной микотоксинами и химическими пестицидами продукции сельского хозяйства.

Цель наших исследований – изучить потенциал бактерий штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 для ингибирования роста возбудителей фузариоза колоса на примере гриба *F. graminearum* и снижения накопления ДОН и ЗЕН *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследований – штаммы бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 из биоресурсной коллекции (БРК) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов». Тест-объекты – грибные штаммы *F. graminearum* 60318 из «Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей» ФГБНУ ВИЗР, и *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR – F6 из биоресурсной коллекции БРК ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов». Исследования проводились в лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ФНЦБЗР с использованием материально-технической базы УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<https://ckprf.ru/usu/671367/>). Анализ зерна пшеницы на содержание ДОН и ЗЕН проводился в центре коллективного пользования «Эколого-аналитический центр системных исследований, математического моделирования и экологической безопасности Юга России» (ЦКП «Эколого-аналитический центр») ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет».

Культивирование бактерий осуществлялось на питательной среде Кинга Б. Жидкая культура на основе штаммов бактерий получена в термостатированных системах культивации клеток New Brunswick Scientific Excella E25 (США) в условиях периодического культивирования. Культивирование проводилось в колбах объемом 1000 мл (объем питательной среды 300 мл) при 180 об/мин, +25,0°C и pH 7,0 в течение 48 часов.

Бактериальные экзометаболиты выделяли путем экстракции этилацетатом (х.ч.) (2:1 v/v) супернатанта, полученного после центрифугирования жидкой культуры бактерий на центрифуге 5810R при 10 тыс.об./мин в течение 30 мин, на ротационном шейкере New Brunswick Scientific Excella E25 (США) в течение 1 ч. После

разделения органической и водной части этилацетат упаривали досуха на ротационном вакуумном испарителе IKA RV10 (Германия) при температуре 40°C. Сухой остаток растворяли в минимальном количестве этилацетата. Полученный раствор был проанализирован методом восходящей тонкослойной хроматографии (ТСХ) с использованием кизельгелевых ТСХ-пластин (толщина слоя 2 мм) Merck (Германия), подвижная фаза: гексан – этанол 1:1, высота подъема растворителя 12 см. ТСХ-пластины затем были проанализованы под ультрафиолетовым светом при длинах волн 254 нм и 366 нм. Выявление метаболитов с антигрибной активностью проводилось методом биоавтографии [25]. Пластины пропитывались жидкой картофельно-глюкозной средой и суспензией пропагул тест-культуры фитопатогенного гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR – F6, а затем помещались во влажную камеру при температуре 28°C на 48 ч. Наличие зон ингибирования роста тест-гриба свидетельствовало о присутствии антигрибных метаболитов, а их хроматографическая подвижность, вид и размер позволили дать визуальную оценку их активности. В качестве стандарта антигрибных метаболитов использовался коммерческий реактив феназин (Sigma-Aldrich, США).

Влияние жидких культур бактерий и супернатантов на рост гриба и продукцию микотоксинов *F. graminearum* 60318 наблюдали путем культивирования гриба совместно с жидкой культурой либо супернатантом исследуемого штамма бактерий. Для этого 100 г зерна пшеницы смешивали с 10 мл дистиллированной воды, дробно автоклавировали и смешивали с 2 мл жидкой культуры либо супернатанта бактерий и 1 мл суспензии конидий гриба *F. graminearum* 60318. Для получения суспензии конидий *F. graminearum* 60318 мицелий инкубировали в среде, содержащей 7,5 г карбоксиметилцеллюлозы, 0,5 г NH_4NO_3 , 0,5 г KH_2PO_4 , 0,25 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и 0,5 г дрожжевого экстракта в 1000 мл дистиллированной воды в течение 7 дней, температура 25°C при встряхивании со скоростью 150 об/мин [26]. В контрольный вариант добавляли дистиллированную воду. После инкубации при 25°C в течение 18 дней и последующего высушивания зерно измельчали с помощью лабораторной мельницы ДМ-6 и анализировали на содержание ДОН и ЗЕН методом ВЭЖХ [27]. Для чего навеску массой 1 г экстрагировали 5 мл смеси вода: ацетонитрил (2:3, v:v) с использованием орбитального шейкера в течение 5 мин, после чего центрифугировали с использованием охлаждаемой центрифуги Hettich micro 220R 15 мин при 3000 об./мин, с последующим переносом 1 мл супернатанта в стеклянную вialу. Анализ проводили с использованием квадруполь-времяпролетного масс-спектрометра Bruker MaXis Impact, оснащенного источником электрораспылительной ионизации в режиме положительных ионов. Разделение на колонке Phenomenex Kinetex C18 (2,1x75 мм, 2,6 мкм размер частиц сорбента), скорость потока подвижной фазы – 0,4 мл/мин, температура термостата – 40°C. Состав подвижной фазы – вода, подкисленная муравьиной кислотой, и ацетонитрил. Градиентное элюирование, состав исходной подвижной фазы – 95 % воды, 5% ацетонитрила, плато 1 мин с последующим увеличением ацетонитрила до 90% за 3 мин, плато при этом составе элюента 3 мин, возврат к первой ступени элюента за 0,2 мин с регенерацией в течение 1 мин. Анализ полученных хроматограмм проводили с использованием программного обеспе-

чения Bruker Compass Data Analysis 4.1. Повторность во всех опытах трёхкратная, статистическую обработку данных осуществляли с использованием стандартных компьютерных программ и программы Statistica 13.3.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение и анализ антигрибной активности метаболитов бактерий штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2

Представители рода *Pseudomonas* известны своей способностью продуцировать широкий спектр метаболитов, что позволяет им колонизировать широкий спектр экологических ниш, включая ризосферу. Псевдомонады также синтезируют ферменты, которые могут модулировать уровни растительных гормонов, ограничивать доступное железо за счет производства сидерофоров, а также ингибировать рост патогенов путем производства антибиотиков, таких как феназин, 2,4-диацетилфлороглucin, феназинкарбоксимид, пиолтеорин и пирролнитрин [28]. В связи с этим была исследована способность штаммов псевдомонад продуцировать антигрибные метаболиты. Методом планарной ТСХ удалось выделить метаболиты штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2. Однако их хроматографическая подвижность, а также характер свечения в ультрафиолете при длине волны 366 нм не соответствовали стандартному феназину ($R_f = 0,44$) (рис. 1). Так, штамм *P. chlororaphis* BZR 245-F продуцирует ряд метаболитов, имеющих коричневато-желтую пигментацию с $R_f = 0,10 - 0,25$. Бактерии штамма

Pseudomonas sp. BZR 523-2 синтезируют метаболиты, имеющие ярко-голубое и синее свечение при 366 нм ($R_f = 0-0,35$), что может соответствовать соединениям фенольной природы. Однако можно предположить, что эти метаболиты имеют также феназиновую структуру, так как, по мнению многих исследователей, бактерии рода *Pseudomonas* могут синтезировать множество феназинов. Они различаются как по цвету, так и по другим параметрам в зависимости от имеющихся в их структуре химических групп [29]. Так, *P. aeruginosa* является одним из наиболее коммерчески ценных организмов в связи со способностью вырабатывать растворимые пигменты, такие как пиоцианин (синий), пиоверидин (желто-зеленый), пиорубин (красный) и пиомеланин (коричневый) [30]. Изолированные природные феназины показали высокую антифунгальную активность. Наличие у штамма *P. chlororaphis* BZR 245-F темно-оранжевого пигмента, с большей вероятностью, может свидетельствовать об активном продуцировании нескольких пигментных соединений, среди которых возможно обнаружить соединения, выполняющие роль сидерофоров. Штамм *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 продуцировал ряд соединений, которые имели слабое синее свечение при 366 нм, при этом ярко-голубое свечение на старте говорит о высокой концентрации присутствующих соединений. Таким образом, оба исследуемых штамма продуцируют несколько метаболитов, которые отличаются по поглощению при 254 нм и свечению при 366 нм, из чего, вероятно, следует и по химической структуре.

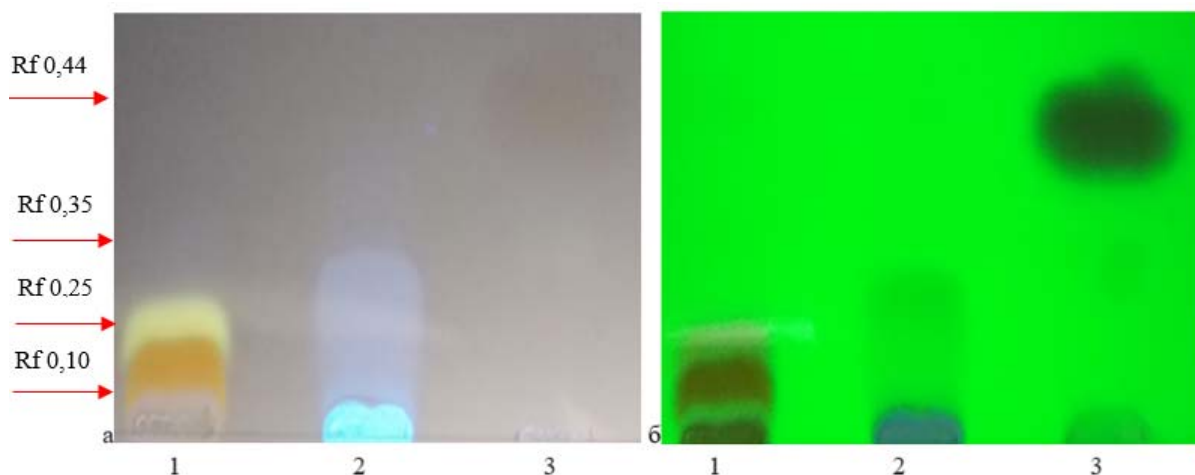


Рисунок 1. Тонкослойные хроматограммы метаболитов бактерий рода *Pseudomonas* под ультрафиолетом

Примечание: а – 254 нм, б – 366 нм: 1 – *P. chlororaphis* BZR 245-F; 2 – *Pseudomonas* sp. BZR 523-2; 3 – стандарт феназина ($R_f = 0,44$)

Figure 1. Thin-layer chromatograms of metabolites of bacteria of the genus *Pseudomonas* under ultraviolet light

Note: a – 254 nm, б – 366 nm: 1 – *P. chlororaphis* BZR 245-F; 2 – *Pseudomonas* sp. BZR 523-2; 3 – phenazine standard ($R_f = 0,44$)

В результате анализа антигрибной активности выделенных метаболитов методом биоавтографии обнаружено, что оба штамма псевдомонад продуцируют метаболиты с фунгицидной активностью, а также с фунгистатитичной активностью (рис. 2). Стандартный раствор феназина проявляет фунгицидные свойства. Однако сделать утвердительное предположение относительно присутствия в жидких культурах исследуемых бактерий феназина не представляется возможным, так как на уровне стандартного феназина в этилацетатных экстрактах супернатантов бактериальных штаммов отсутствовали зоны ингибирования роста гриба. Хотя феназин может продуцироваться бактериями в виде его структурных производных. Данное предпо-

ложение можно проверить в дальнейшем путем анализа бактериальных метаболитов с применением приборов (ВЭЖХ, ГХ). Следует отметить высокую антигрибную активность метаболитов штамма *P. chlororaphis* BZR 245-F, особенно в зоне с $R_f = 0,10$. Изучению метаболитов этого штамма нужно уделить большое внимание в дальнейшем, поскольку они могут отличаться большим разнообразием, что может способствовать исследованию механизма их антигрибного действия. Можно также предположить, что среди выделенных метаболитов присутствуют соединения липопептидной природы, которые являются ингибиторами роста гриба. Штамм *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 демонстрирует наличие антигрибных метаболитов.

литов, но менее активных, чем у штамма *P. chlororaphis* BZR 245-F. Механизм действия каждого штамма бактерий, вероятно, будет различаться, так как

продуцируемые ими метаболиты, судя по их тонкослойной хроматограмме и биоавтограмме, имеют различную химическую структуру.

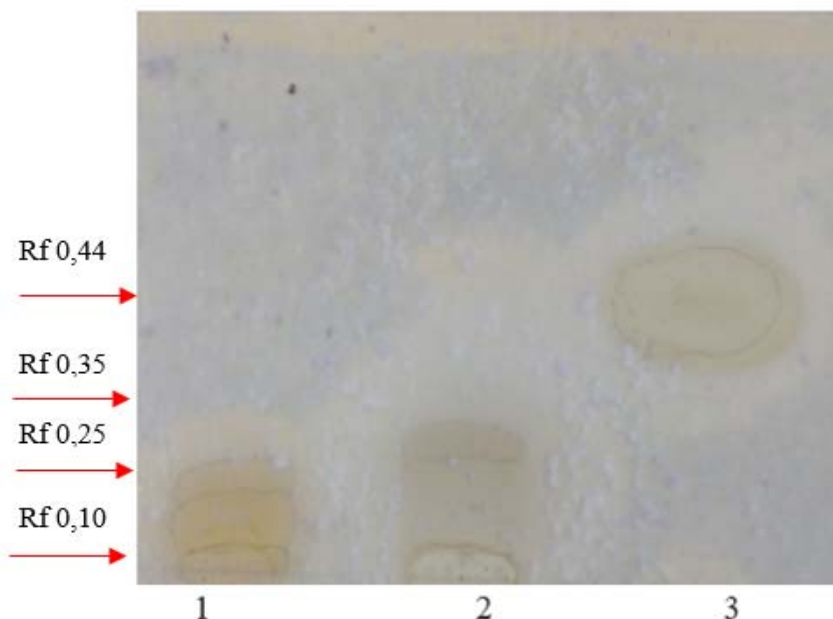


Рисунок 2. Биоавтограммы метаболитов бактерий рода *Pseudomonas* и стандартов метаболитов с тест-культурой гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6

Примечание: 1 – *P. chlororaphis* BZR 245-F; 2 – *Pseudomonas* sp. BZR 523-2; 3 – стандарт феназина

Figure 2. Bioautograms of metabolites of bacteria of the genus *Pseudomonas* and standards of metabolites with a test culture of the fungus *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6

Note: 1 – *P. chlororaphis* BZR 245-F; 2 – *Pseudomonas* sp. BZR 523-2; 3 – phenazine standard

Таким образом, исследуемые штаммы бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 продуцируют антигрибные метаболиты, что является важным признаком для применения их в качестве потенциальных агентов эффективных биофунгицидов.

Изучение влияния бактерий штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на рост и

токсинопродуцирование гриба штамма *F. graminearum* 60318 *in vitro*

Опыт по влиянию бактериальных штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 *in vitro* позволил обнаружить визуально ингибирующее действие на рост фитопатогенного гриба *F. graminearum* 60318, причем как жидкой культуры, так и бесклеточного супернатанта бактерий (рис. 3).

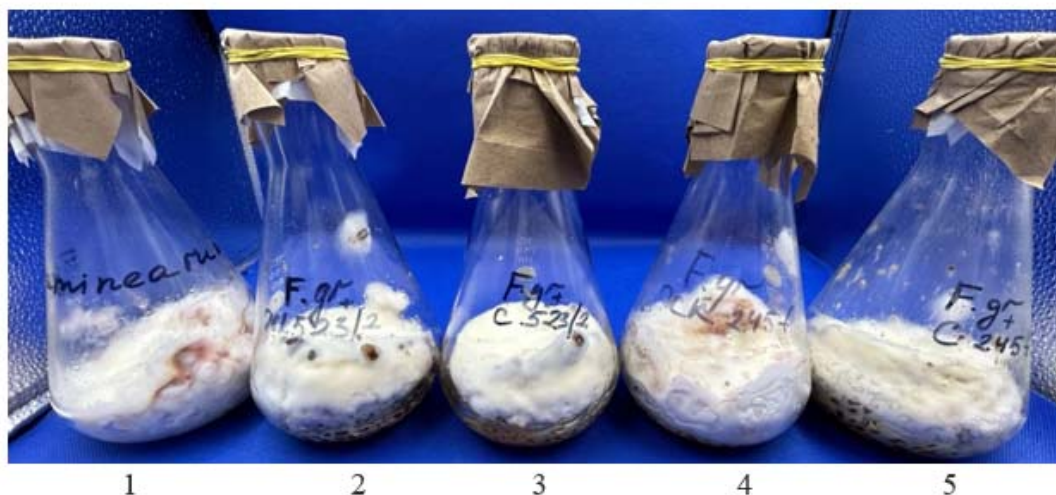


Рисунок 3. Рост гриба *F. graminearum* 60318 совместно с бактериальными жидкими культурами и супернатантами

Примечание: 1 – контроль *F. graminearum* 60318, 2 – *F. graminearum* 60318 совместно с жидкой культурой *P. fulva* BZR 523/2; 3 – *F. graminearum* 60318 совместно с супернатантом *P. fulva* BZR 523-2; 4 – *F. graminearum* 60318 совместно с жидкой культурой *P. chlororaphis* BZR 245-F; 5 – *F. graminearum* 60318 совместно с супернатантом *P. chlororaphis* BZR 245-F

Figure 3. Growth of *F. graminearum* 60318 with bacterial liquid cultures and supernatants

Note: 1 – control *F. graminearum* 60318, 2 – *F. graminearum* 60318 together with liquid culture of *P. fulva* BZR 523/2;

3 – *F. graminearum* 60318 together with the supernatant of *P. fulva* BZR 523-2; 4 – *F. graminearum* 60318 together with a liquid culture of *P. chlororaphis* BZR 245-F; 5 – *F. graminearum* 60318 together with the supernatant of *P. chlororaphis* BZR 245-F

Широкое распространение микотоксинов привлекло внимание всего мира. Для удаления микотоксинов было разработано множество стратегий. При этом биологическая деградация считается самой безопасной стратегией. Сообщается, что пробиотики обладают множеством свойств для детоксикации. Применение микробного консорциума способствует повышению

детоксифицирующей эффективности за счет совместного разложения нескольких микотоксинов [25]. При изучении влияния жидкой культуры и супернатанта изучаемых штаммов псевдомонад на накопление микотоксинов гриба *F. graminearum* 60318 *in vitro* обнаружено, что оба штамма подавляют накопление ДОН и ЗЕН (табл. 1).

Таблица 1. Влияние бактерий рода *Pseudomonas* на накопление микотоксинов гриба *F. graminearum* 60318 *in vitro*
Table 1. Influence of *Pseudomonas* bacteria on the accumulation of *F. graminearum* 60318 mycotoxins *in vitro*

Варианты Options	Содержание ДОН, мкг/г Content DON, mcg/g	Содержание ЗЕН, мкг/г Content ZEN, mcg/g
<i>F. graminearum</i> 60318	54 ^b	173 ^c
<i>F. graminearum</i> 60318 + ЖК <i>P. chlororaphis</i> BZR 245-F	32 ^a	36 ^{ab}
<i>F. graminearum</i> 60318 + LC <i>P. chlororaphis</i> BZR 245-F		
<i>F. graminearum</i> 60318 + супернатант <i>P. chlororaphis</i> BZR 245-F	17 ^a	8,3 ^a
<i>F. graminearum</i> 60318 + supernatant <i>P. chlororaphis</i> BZR 245-F		
<i>F. graminearum</i> 60318 + ЖК <i>Pseudomonas</i> sp. BZR 523-2	13,1 ^a	70 ^b
<i>F. graminearum</i> 60318 + LC <i>Pseudomonas</i> sp. BZR 523-2		
<i>F. graminearum</i> 60318 + супернатант <i>Pseudomonas</i> sp. BZR 523-2	6,1 ^a	28 ^{ab}
<i>F. graminearum</i> 60318 + supernatant <i>P. chlororaphis</i> BZR 523-2		

Установлено, что накопление ДОН подавляется *in vitro* как под действием жидкой культуры и супернатанта бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F на 60 % и 70 %, соответственно, так и жидкой культуры и супернатанта бактерий *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на 75 % и 90 %, соответственно. Содержание ЗЕН также значительно ингибируется под влиянием жидких культур и супернатантов бактериальных штаммов *in vitro*. Жидкая культура и супернатант бактерий *P. chlororaphis* BZR 245-F снижает ЗЕН на 80 % и 95 %, соответственно. Содержание ЗЕН уменьшается *in vitro* под действием жидкой культуры и супернатанта бактерий *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на 60 % и 84 %, соответственно. Изучаемые штаммы по воздействию на продуцирование токсинов, а также на структуру и степень токсичности микотоксинов различаются между собой, что может быть следствием различий химических структур продуцируемых ими метаболитов. Штамм *P. chlororaphis* BZR 245-F в большей степени подавляет *in vitro* контаминацию ЗЕН, в отличие от штамма *Pseudomonas* sp. BZR 523-2, который больше подавляет микотоксин ДОН. При сравнении влияния жидкой культуры и супернатанта бактерий на содержание микотоксинов следует отметить большую активность супернатанта. Можно предположить, что это связано с большей концентрацией активных метаболитов в супернатанте. Хотя механизм этого явления следует исследовать более подробно. Таким образом, изучаемые штаммы могут в значительной степени влиять на контаминацию растений микотоксинами, однако механизм этого влияния, вероятно, различный.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 в качестве потенциальных агентов эффективных биофунгицидов для снижения вредоносности токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ризосферные псевдомонады являются потенциальными объектами агробиотехнологии в связи с наличием у них необходимых для биоконтроля и фитостимуляции физиолого-биохимических особенностей. К этим особенностям относятся толерантность к активным формам кислорода, хемотаксис в отношении корневых экссудатов, биосинтез сидерофоров и антибиотических

метаболитов различной природы. Представители рода *Pseudomonas* известны своим большим метаболическим разнообразием, что позволяет им колонизировать широкий спектр экологических ниш, включая ризосферу. Виды псевдомонад, изолированные из ризосферы, обладают более широкой катоболической активностью, чем из основной массы почвы, особенно в отношении определенных сахаров, полиолов и аминокислот, которые можно найти в корневых экссудатах [5].

Широкое метаболическое разнообразие позволяет бактериям получить повсеместное распространение, образуя защитные биопленки и колонизируя различные экологические ниши. Полученные результаты по исследованию влияния жидких культур и супернатантов штаммов *P. chlororaphis* BZR 245-F и *Pseudomonas* sp. BZR 523-2 на рост и токсинопродуцирование гриба *F. graminearum* 60318 *in vitro* позволяют рассматривать данные штаммы в качестве потенциальных продуцентов эффективных биофунгицидов против токсинопродуцирующих грибов. Однако следует отметить необходимость дальнейшего изучения этих штаммов бактерий, поскольку проведенные исследования являются лишь началом большой работы, которая требует подтверждения как в опытах *in vitro*, так и *in vivo*.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0006.

Авторы выражают благодарность Центру коллективного пользования «Эколого-аналитический центр системных исследований, математического моделирования и экологической безопасности Юга России» (ЦКП «Эколого-аналитический центр») ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет».

ACNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No FGRN-2022-0006.

The authors express their gratitude to the Center for Collective Use «Ecological Analytical Center for System Research, Mathematical Modeling and Environmental Safety of the South of Russia» (CCU «Ecological Analytical Center») FSBEI HE «Kuban State University».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khan M.K., Pandey A., Athar T., Choudhary S., Deval R., Gezgin S., Hamurcu M., Topal A., Atmaca E., Santos P.A., Makbule Rumeysa Omay M.R., Suslu H., Gulcan K., Inanc M., Akkaya M.S., Kahraman A., Thomas G. *Fusarium* head blight in wheat: contemporary status and molecular approaches // *Biotech.* 2020. V.10. P. 160–172. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2158-x>
2. Mielniczuk E., Skwaryto-Bednarz B. *Fusarium* head blight, mycotoxins and strategies for their reduction // *Agronomy.* 2020. V. 10(4). P. 497–509. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040509>
3. Miedaner T., Gwiazdowska D., Waśkiewicz A. Editorial: Management of *Fusarium* species and their mycotoxins in cereal food and feed // *Frontiers in Microbiology.* 2017. V. 8. P. 1543. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01543>
4. Захаренко В.А. Использование пестицидов в аграрном секторе России в контексте развития глобальных рынков средств защиты растений // *Агрохимия.* 2020. N 3. С. 43–48. <https://doi.org/10.31857/S000218812003014X>
5. Naz R., Khushhal S., Asif T., Mubeen S., Saranraj P., Sayyed R.Z. Inhibition of bacterial and fungal phytopathogens through volatile organic compounds produced by *Pseudomonas* sp. In: Sayyed R.Z., Uarrota V.G., eds. *Secondary metabolites and volatiles of PGPR in plant-growth promotion* // Springer. 2022. V. 7. P. 56–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07559-9_6
6. Сидорова Т.М., Аллахвердян В.В., Асатурова А.М. Роль бактерий рода *Pseudomonas* и их метаболитов в биоконтроле фитопатогенных микроорганизмов // *Агрохимия.* 2023. Т. 5. С. 94–104. <https://doi.org/10.31857/S0002188123950071>
7. Zboralski A., Saadia A., Novinscak A., Filion M. Interplay between arabadopsis thaliana genotype, plant growth and rhizosphere colonization by phytobeneficial phenazine-producing *Pseudomonas chlororaphis* // *Microorganisms.* 2022. V. 10. P. 66–81. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030660>
8. Thacharodi A., Priyadharshini R., Karthikeyan G., Jeganathan C., Reghu A.P., Pugazhendhi A. Extraction, purification and characterization of phenazine from *Pseudomonas aeruginosa* isolate of wastewater sources: a panacea towards clinical pathogens // *Applied Nanoscience.* 2021. V. 16. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01944-y>
9. Zhao F., Wang B., Yuan M., Ren S. Comparative study on antimicrobial activity of mono-rhamnolipid and di-rhamnolipid and exploration of cost-effective antimicrobial agents for agricultural applications // *Microb Cell Fact.* 2022. V. 21. P. 221–237. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01950-x>
10. Geudens N., Martins J.C. Cyclic lipopeptides from *Pseudomonas* spp.-biological swiss army knives // *Frontiers in Microbiology.* 2018. V. 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01867>
11. Daura-Pich O., Hernández I., Pinyol-Escala L., Lara J.M., Martínez-Servat S., Fernández C., López-García B. No antibiotic and toxic metabolites produced by the biocontrol agent *Pseudomonas putida* strain B2017 // *Microbiology Letters.* 2020. V. 3. P. 367–386. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa075>
12. Palazzini J.M., Alberione E., Torres A., Donat C., Köhl J., Chulze S. Biological control of *Fusarium graminearum sensu stricto*, causal agent of *Fusarium* Head Blight of wheat, using formulated antagonists under field conditions in Argentina // *Biological Control.* 2016. V. 94. P. 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.009>
13. Liang N., Charron J.B., Jabaji S. Comparative transcriptome analysis reveals the biocontrol mechanism of *Bacillus velezensis* E68 against *Fusarium graminearum* DAOMC 180378, the causal agent of *Fusarium* head blight // *PLoS ONE.* 2023. V. 18(1). Article ID: e0277983. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277983>
14. Chen A-H., Tofazzal I., Zhong-H. M.A. An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals // *Journal of Integrative Agriculture.* 2022. V. 21(12). P. 3434–3444. <https://doi.org/j.jia.2022.08.053>
15. Kumari S., Khanna V., Sharma N. Characterization and biological evaluation of phenazine produced by antagonistic pseudomonads against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* // *International Journal of Pest Management.* 2022. V. 3. P. 1–14. <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2084176>
16. Rathore R., Vakharia D.N., Rathore D.S. In vitro screening of different *Pseudomonas fluorescens* isolates to study lytic enzyme production and growth inhibition during antagonism of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cummi*, wilt causing pathogen of cumin // *Egyptian Journal of Biological Pest Control.* 2020. V. 30. P. 57–83. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00259-4>
17. Huang R., Feng Z., Chi X., Sun X., Lu Y., Zhang B., Lu R., Luo W., Wang Y., Miao J., Ge Y. Pyrrolnitrin is more essential than phenazines for *Pseudomonas chlororaphis* G05 in its suppression of *Fusarium graminearum* // *Microbiological Research.* 2018. V. 215. P. 55–64. <https://doi.org/10.1014/j.micres.2018.06.008>
18. Соколов Г.Д., Глинушкин А.П. Антагонисты фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum* // *Микология и фитопатология.* 2017. Т. 51. С. 191–201.
19. Гагкаева Т.Ю., Гарилова О.П., Николаев И.Н., Лаптев Т.Ю. Возможности биодegradации микотоксинов, образуемых грибами рода *Fusarium* // *Микология сегодня.* 2016. Т. 3. С. 202–238.
20. Singh P., Singh R.K., Zhou Y., Wang J., Jiang Y., Shen N., Wang Y., Lifang Yang L., Jiang M. Unlocking the strength of plant growth promoting *Pseudomonas* in improving crop productivity in normal and challenging environments: a review // *Journal of Plant Interactions.* 2022. V. 17. P. 220–238. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2029963>
21. Feizollahi E., Roopesh M.S. Mechanisms of deoxynivalenol (DON) degradation during different treatments: a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2021. V. 62. P. 5903–5924. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895056>
22. Pinto A.C.S.M., De Pierri C.R., Evangelista A.G., Gomes A.S.d.L.P.B., Luciano F.B. Deoxynivalenol: Toxicology, Degradation by Bacteria, and Phylogenetic Analysis // *Toxins.* 2022. V. 14. P. 90–114. <https://doi.org/10.3390/toxins14020090>
23. Tian Y., Zhang D., Cai P., Lin H., Ying H., Hu Q.-N., Wu A. Elimination of *Fusarium* mycotoxin desoxynivalenol (DON) via microbial and enzymatic strategies: current status and future perspectives // *Trends in foodscience & technology.* 2022. V. 124. P. 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.002>
24. Chen Y., Wang J., Yang N., Wen Z., Sun X., Chai Y., Ma Z. Wheat microbiome bacteria can reduce virulence of a plant pathogenic fungus by altering histone acetylation // *Nature communications.* 2018. V. 9. P. 3429. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05683-7>
25. Shi K., Yang P., Li J., Wu H., Li K., Guan S. Biocontrol of *Fusarium graminearum* growth and deoxynivalenol production in wheat grains using bacterial antagonists // *International journal of environmental research and public health.* 2014. V. 11(1). P. 1094–1105. <https://doi.org/10.3390/ijerph110101094>
26. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Khomyak A.I., Tomashevich N.S. Isolation and characterization of antifungal metabolites of *Bacillus subtilis* BZR 336g and *Bacillus subtilis* BZR 517 strains by a modified bioautography method // *Agricultural Biology.* 2019. V. 54. P. 178–185. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.1.178rus>
27. Тринеева О.В. Методы и перспективы определения микотоксинов в лекарственном растительном сырье // *Разработка и регистрация лекарственных средств.* 2020. V. 9. P. 67–109. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-3-67-109>
28. Muthukumar A., Suthin Ray T., Prabhukarthikeyan S.R., Naveen Kumar R., Keerthana U. New and future developments

in microbial biotechnology and bioengineering. Chapter 6 – *Pseudomonas* and *Bacillus*: a biological tool for crop protection // Sustainable agriculture: advances in microbe – based biostimulants. 2022. P. 145–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85577-8.00006-8>

29. Serafim B., Bernardino A.R., Freitas F., Torres C.A.V. Recent Developments in the Biological Activities, Bioproduction, and Applications of *Pseudomonas* spp. phenazines // *Molecules*. 2023. V. 28(3). P. 1368. <https://doi.org/10.3390/molecules28031368>

30. DeBritto S., Gajbar T.D., Satapute P., et al. Isolation and characterization of nutrient dependent pyocyanin from *Pseudomonas aeruginosa* and its dye and agrochemical properties // *Scientific Reports*. 2020. P. 15–32. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58335-6>

REFERENCES

1. Khan M.K., Pandey A., Athar T., Choudhary S., Deval R., Gezgin S., Hamurcu M., Topal A., Atmaca E., Santos P.A., Makbule Rumeysa Omay M.R., Suslu H., Gulcan K., Inanc M., Akkaya M.S., Kahraman A., Thomas G. *Fusarium* head blight in wheat: contemporary status and molecular approaches. *Biotech*, 2020, vol. 10, pp. 160–172. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2158-x>

2.. *Fusarium* head blight, mycotoxins and strategies for their reduction. *Agronomy*, 2020, vol. 10(4), pp. 497–509. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040509>

3. Miedaner T., Gwiazdowska D., Waśkiewicz A. Editorial: Management of *Fusarium* species and their mycotoxins in cereal food and feed. *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol. 8, pp. 1543. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01543>

4. Zakharenko V.A. The use of pesticides in the agricultural sector of Russia in the context of the development of global markets for plant protection products. *Agrochemistry*, 2020, no. 3, pp. 43–48. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S000218812003014X>

5. Naz R., Khushhal S., Asif T., Mubeen S., Saranraj P., Sayyed R.Z., Uarrota V.G., eds. Inhibition of bacterial and fungal phytopathogens through volatile organic compounds produced by *Pseudomonas* sp. Secondary metabolites and volatiles of PGPR in plant-growth promotion. *Springer*, 2022, vol. 7, pp. 56–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07559-9_6

6. Sidorova T.M., Allakhverdyan V.V., Asaturova A.M. Rol' bakterii roda *Pseudomonas* i ikh metabolitov v biokontrolle fitopatogennykh ugroz. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2023, vol. 5, pp. 94–104. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0002188123950071>

7. Zboralski A., Saadia H., Novinscak A., Filion M. Interplay between arabidopsis thaliana genotype, plant growth and rhizosphere colonization by phytobeneficial phenazine-producing *Pseudomonas chlororaphis*. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, pp. 66–81. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030660>

8. Thacharodi A., Priyadarshini R., Karthikeyan G., Jeganathan C., Reghu A.P., Pugazhendhi A. Extraction, purification and characterization of phenazine from *Pseudomonas aeruginosa* isolate of wastewater sources: a panacea towards clinical pathogens. *Applied Nanoscience*, 2021, vol. 16. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01944-y>

9. Zhao F., Wang B., Yuan M., Ren S. Comparative study on antimicrobial activity of mono-rhamnolipid and di-rhamnolipid and exploration of cost-effective antimicrobial agents for agricultural applications. *Microb Cell Fact*, 2022, vol. 21, pp. 221–237. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01950-x>

10. Geudens N., Martins J.C. Cyclic lipopeptides from *Pseudomonas* spp.-biological swiss army knives. *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01867>

11. Daura-Pich O., Hernández I., Pinyol-Escala L., Lara J.M., Martínez-Servat S., Fernández C., López-García B. No antibiotic

and toxic metabolites produced by the biocontrol agent *Pseudomonas putida* strain B2017. *Microbiology Letters*, 2020, vol. 3, pp. 367–386. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa075>

12. Palazzini J.M., Alberione E., Torres A., Donat C., Köhl J., Chulze S. Biological control of *Fusarium graminearum sensu stricto*, causal agent of *Fusarium* Head Blight of wheat, using formulated antagonists under field conditions in Argentina. *Biological Control*, 2016, vol. 94, pp. 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.009>

13. Liang N., Charron J.B., Jabaji S. Comparative transcriptome analysis reveals the biocontrol mechanism of *Bacillus velezensis* E68 against *Fusarium graminearum* DAOMC 180378, the causal agent of *Fusarium* head blight. *PLoS ONE*, 2023, vol. 18(1), article id: e0277983. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277983>

14. Chen A.-H., Tofazzal I., Zhong-H. M.A. An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals. *Journal of integrative Agriculture*, 2022, vol. 21(12), pp. 3434–3444. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.053>

15. Kumari S., Khanna V., Sharma N. Characterization and biological evaluation of phenazine produced by antagonistic pseudomonads against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *International Journal of Pest Management*, 2022, vol. 3, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2084176>

16. Rathore R., Vakharia D.N., Rathore D.S. In vitro screening of different *Pseudomonas fluorescens* isolates to study lytic enzyme production and growth inhibition during antagonism of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cummi*, wilt causing pathogen of cumin. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2020, vol. 30, pp. 57–83. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00259-4>

17. Huang R., Feng Z., Chi X., Sun X., Lu Y., Zhang B., Lu R., Luo W., Wang Y., Miao J., Ge Y. Pyrrolnitrin is more essential than phenazines for *Pseudomonas chlororaphis* G05 in its suppression of *Fusarium graminearum*. *Microbiological Research*, 2018, vol. 215, pp. 55–64. <https://doi.org/10.1014/j.micres.2018.06.008>

18. Sokolov G.D., Glinushkin A.P. Antagonist fitopatogennogo griba *Fusarium graminearum*. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 2017, pp. 191–201. (In Russian)

19. Gagkayeva T.Y., Garilova O.P., Nikolayev I.N., Laptev T.Yu. Possibilities of biodegradation of mycotoxins produced by fungi of the genus *Fusarium*. *Mikologiya segodnya* [Mycology today]. 2016, 238 p. (In Russian)

20. Singh P., Singh R.K., Zhou Y., Wang J., Jiang Y., Shen N., Wang Y., Lifang Yang L., Jiang M. Unlocking the strength of plant growth promoting *Pseudomonas* improving crop productivity in normal and challenging environments: a review. *Journal of Plant Interactions*, 2022, vol. 17, pp. 220–238. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2029963>

21. Feizollahi E., Roopesh M.S. Mechanisms of deoxynivalenol (DON) degradation during different treatments: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, vol. 62, pp. 5903–5924. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895056>

22. Pinto A.C.S.M., De Pierri C.R., Evangelista A.G., Gomes A.S.d.L.P.B., Luciano F.B. Deoxynivalenol: Toxicology, Degradation by Bacteria, and Phylogenetic Analysis. *Toxins*, 2022, vol. 14, pp. 90–114. <https://doi.org/10.3390/toxins14020090>

23. Tian Y., Zhang D., Cai P., Lin H., Ying H., Hu Q.-N., Wu A. Elimination of *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON) via microbial and enzymatic strategies: current status and future perspectives. *Trends in foodscience & technology*, 2022, vol. 124, pp. 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.002>

24. Chen Y., Wang J., Yang N., Wen Z., Sun X., Chai Y., Ma Z. Wheat microbiome bacteria can reduce virulence of a plant pathogenic fungus by altering histone acetylation. *Nature communications*, 2018, vol. 9, p. 3429. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05683-7>

25. Shi K., Yang P., Li J., Wu H., Li K., Guan S. Biocontrol of *Fusarium graminearum* growth and deoxynivalenol production in wheat grains using bacterial antagonists. *International journal*

of environmental research and public health, 2014, vol. 11(1), pp. 1094–1105. <https://doi.org/10.3390/ijerph110101094>

26. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Khomyak A.I., Tomashevich N.S. Isolation and characterization of antifungal metabolites of *Bacillus subtilis* BZR 336g and *Bacillus subtilis* BZR 517 strains by a modified bioautography method. *Agricultural Biology*, 2019, vol. 54, pp. 178–185. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.1.178rus>

27. Trineeva O.V. Methods and prospects for converting mycotoxins into medicinal plant sources. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [Development and registration of medicines]. 2020, vol. 9, pp. 67–109. (In Russian) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-3-67-109>

28. Muthukumar A., Suthin Ray T., Prabhukarthikeyan S.R., Naveen Kumar R., Keerthana U. New and future developments

in microbial biotechnology and bioengineering. Chapter 6 – *Pseudomonas* and *Bacillus*: a biological tool for crop protection. *Sustainable agriculture: advances in microbe – based biostimulants*, 2022, pp. 145–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85577-8.00006-8>

29. Serafim B., Bernardino A.R., Freitas F., Torres C.A.V. Recent Developments in the Biological Activities, Bioproduction, and Applications of *Pseudomonas* spp. phenazines. *Molecules*, 2023, vol. 28(3), p. 1368. <https://doi.org/10.3390/molecules28031368>

30. DeBritto S., Gajbar T.D., Satapute P. et al. Isolation and characterization of nutrient dependent pyocyanin from *Pseudomonas aeruginosa* and its dye and agrochemical properties. *Scientific Reports*, 2020, pp. 15–32. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58335-6>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валерия В. Аллахвердян разработал научный дизайн, собрал, проанализировал и интерпретировал материал. Татьяна М. Сидорова разработала концепцию и написала статью. Азамат З. Темердашев проанализировал и интерпретировал материал. Анжела М. Асатулова разработала научный дизайн, корректировала рукопись до подачи в редакцию. Наталья С. Томашевич корректировала 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

Valeria V. Allahverdyan undertook scientific design, material collection, analysis and interpretation of material. Tatiana M. Sidorova undertook development and description of the material. Azamat Z. Temerdashev undertook analysis and interpretation of the material. Anzhela M. Asaturova undertook scientific design, corrected the manuscript for submission to the Editor. Natalia S. Tomashevich proofread the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Валерия В. Аллахвердян / Valeria V. Allahverdyan <http://orcid.org/0000-0002-8679-6139>
Татьяна М. Сидорова / Tatiana M. Sidorova <http://orcid.org/0000-0003-4281-5278>
Азамат З. Темердашев / Azamat Z. Temerdashev <http://orcid.org/0000-0002-8048-4740>
Анжела М. Асатулова / Anzhela M. Asaturova <http://orcid.org/0000-0002-0060-1995>
Наталья С. Томашевич / Natalia S. Tomashevich <https://orcid.org/0000-0002-7297-5929>

Оригинальная статья / Original article
УДК 619:57.065:578.828
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-114-124

Оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в Республике Дагестан с помощью ПЦР-диагностики

Дмитрий А. Бабошко¹, Кирилл А. Елфимов¹, Мадина Г. Даудова², Халид Г. Койчуев²,
Хадиджат Ф.-К. Гапизова², Наталья М. Гашникова¹

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

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Дмитрий А. Бабошко, аспирант НГУ, сотрудник отдела Ретровирусов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора; 630559 Россия, Новосибирская область, Новосибирск, р/п Кольцово.
Тел. +79831283892
Email baboshko_da@vector.nsc.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>

Формат цитирования

Бабошко Д.А., Елфимов К.А., Даудова М.Г., Койчуев Х.Г., Гапизова Х.Ф.-К., Гашникова Н.М. Оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в Республике Дагестан с помощью ПЦР-диагностики // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 114-124.
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-114-124

Получена 22 октября 2023 г.
Прошла рецензирование 24 ноября 2023 г.
Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза с помощью ПЦР-диагностики в стадах Республики Дагестан и исследование молекулярно-генетических характеристик циркулирующих вирусов.

Материалы и методы. Исследовано 150 образцов крови КРС. ПЦР-диагностику образцов на наличие вируса лейкоза крупного рогатого скота (ВЛКРС) проводили тест-системой РеалБест-Вет ДНК ВЛКРС и с лабораторным набором праймеров. Часть образцов была просеквенирована методом Сэнгера, выполнен их филогенетический анализ.

Результаты. Из 150 образцов положительными на наличие ВЛКРС оказались 24. В Унцукульском районе ни в одном из 16 образцов не выявлена ДНК ВЛКРС. В Карабудахкентском районе из 40 – в 2-х (5 %), в Буйнакском – в 1 из 30 (3,3 %) и в Бабаюртовском – в 21 из 60 был обнаружен ВЛКРС (35 %). Для 13 ВЛКРС получены и расшифрованы фрагменты гена env размером 1000 п.н. Согласно филогенетическому анализу 7 образцов ВЛКРС относятся к 7, а 6 – к 4 генотипу ВЛКРС. ВЛКРС 4 генотипа, выделенные в Бабаюртовском районе, кластеризуются с вирусами из Казахстана, вирусы 4 генотипа других хозяйств – с российскими ВЛКРС. Исследованные образцы 4 генотипа не образовывали общих кластеров. Для ВЛКРС 7 генотипа, выделенного в хозяйствах Бабаюртовского района, напротив, наблюдалось объединение последовательностей в один кластер генетически близких вирусов.

Заключение. Выявлены существенные отличия в пораженности скота в хозяйствах Дагестана. Не обнаружено закономерностей регистрации случаев ВЛКРС с определенной породой КРС или с возрастом животного. Показано, что в Республике циркулируют вирусы 7 и 4 генотипов. Для ВЛКРС 4 генотипа предполагается наличие разных путей его заноса в хозяйства, при этом связанные цепочки распространения вирусов не найдены. Для ВЛКРС 7 генотипа зарегистрирована передача вируса, что указывает на необходимость усиления мер профилактики лейкоза в хозяйстве.

Ключевые слова

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

Assessment of the incidence of leukemia virus (BLV) in cattle in the Republic of Dagestan using PCR diagnostics

Dmitry A. Baboshko¹, Kirill A. Elfimov¹, Madina G. Daudova², Khalid G. Koychuev²,
Khadizhat F.-K. Gapizova² and Natalya M. Gashnikova¹

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

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Dmitry A. Baboshko, Postgraduate Student,
Novosibirsk State University & employee,
Department of Retroviruses, Vector State Research
Center of Virology and Biotechnology; Koltsovo,
Novosibirsk, Novosibirsk region, Russia 630559.
Tel. +79831283892
Email baboshko_da@vector.nsc.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>

How to cite this article

Baboshko D.A., Elfimov K.A., Daudova M.G.,
Koychuev Kh.G., Gapizova Kh.F.-K., Gashnikova
N.M. Assessment of the incidence of leukemia virus
(BLV) in cattle in the Republic of Dagestan using
PCR diagnostics. *South of Russia: ecology,
development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 114-124. (In
Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-114-124

Received 22 October 2023

Revised 24 November 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. Assessment of the incidence of leukemia virus in cattle using PCR diagnostics in herds of the Republic of Dagestan and study of the molecular genetic characteristics of circulating viruses.

Materials and Methods. 150 cattle blood samples were examined. PCR diagnostics of samples for the presence of bovine leukosis virus (BLV) were carried out using the RealBest-Vet DNA BLV test system and a laboratory set of primers. Some of the samples were sequenced using the Sanger method and their phylogenetic analysis was performed.

Results. Out of 150 samples, 24 samples were positive for the presence of BLV. In the Untsukul'skiy district, no BLV DNA was detected in any of the 16 samples. In the Karabudakhkentskiy district out of 40 – in 2 (5 %), in Buynak'skiy district – in 1 out of 30 (3.3 %) and in Babayurtov'skiy district – in 21 out of 60 samples BLV was detected (35 %). For 13 BLV-positive samples, fragments of the env gene measuring 1000 bp were obtained and deciphered. According to phylogenetic analysis, 7 samples of BLV belong to the 7th, and 6 – to the 4th genotype of BLV. The BLV genotype 4 isolated in the Babayurtov'skiy district clusters with viruses from Kazakhstan, while viruses of genotype 4 from other farms cluster with Russian BLV. The studied samples of genotype 4 did not form common clusters. For the BLV genotype 7 isolated in farms of the Babayurtov'skiy district, on the contrary, a combination of sequences into one cluster of genetically similar viruses was observed.

Conclusion. Significant differences in the incidence of leukemia virus in livestock on farms in Dagestan were revealed. No patterns were found in the registration of cattle cases with a specific breed of cattle or with the age of the animal. It has been shown that viruses of both genotypes 7 and 4 circulate in the Republic. For BLV 4, it is assumed that there are different ways of its introduction into farms but no associated chains of virus spread have been found. For BLV genotype 7, transmission of BLV has been registered, which indicates the need to strengthen leukemia prevention measures on farms.

Key Words

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

ВВЕДЕНИЕ

Вирус лейкоза крупного рогатого скота – онкогенный вирус, являющийся причиной лимфопролиферативного заболевания крупного рогатого скота по всему миру (ВЛКРС). ВЛКРС относится к роду Deltaretrovirus семейства Retroviridae, включающего таких известных представителей, как Т-лимфотропные вирусы обезьяны и человека. Вирус в естественных условиях поражает только крупный рогатый скот.

Инфекция, вызванная ВЛКРС, наносит серьёзный ущерб животноводству из-за ранней выбраковки высокопроизводительных животных, снижению надоев и понижению качества мясной и молочной продукции [1; 2]. Особенно большую опасность инфекция представляет для племенных хозяйств, так как в связи с введением противозидемических мероприятий и для прекращения инфекции приходится выбраковывать животных с высоким генетическим потенциалом.

Инфицированные ВЛКРС животные могут являться бессимптомными вирусносителями, в 30–70 % инфицирования у крупного рогатого скота развивается стойкий лимфоцитоз, а у 0,1–10 % из них при развитии заболевания регистрируются опухоли [3]. Из-за встройки провируса ВЛКРС в геном хозяина, животное остаётся вирусносителем и является резервуаром и разносчиком данной инфекции.

В большинстве западноевропейских стран, а также в Австралии и Новой Зеландии были реализованы программы по ликвидации ВЛКРС, что привело к значительному снижению пораженности скота [4–6]. В азиатских странах, таких как Китай, Вьетнам и Корея, распространение ВЛКРС остается на высоком уровне [7–9].

ВЛКРС имеет широкое распространение как в Республике Дагестан, так и во всех субъектах Российской Федерации, занимая первое место в причинах смерти крупного рогатого скота [3; 10]. По данным Департамента ветеринарии Министерства сельского хозяйства регионы, имеющие высокие показатели инфицирования: в Новосибирской области – 222 неблагополучных пункта, Челябинской – 127 пунктов, Калужской – 109, Краснодарском крае – 100. В Тюменской, Пензенской областях в последние годы удалось добиться значительного снижения заболеваемости ВЛКРС в 53 ранее неблагополучных пунктах [10].

В Республике Дагестан (РД) по данным на 01.01.2022 г. было официально объявлено о 158 пунктах на всей территории республики, в том числе на сельхозпредприятиях – 36 (из них 5 племхозы), в крестьянских (фермерских) – 18 и личных подсобных хозяйствах – 104. Наибольшее количество неблагополучных по лейкозу пунктов зафиксировано в Кизлярском (18), Тарумовском (17), Бабаюртовском (16), Гунибском (15), Тляртинском (10) районах и г. Махачкале (9). В Бежтинском участке, Буйнакском, Дербентском, Казбековском, Каякентском, Кизилюртовском, Хасавюртовском районах и городах Хасавюрте и Южно-Сухокумске регистрировалось по 1 очагу, в Рутульском, Унцукульском районах – по 2; в Гергебильском, Лакском, Новолакском, Цумадинском – по 3; в Сергокалинском – 4; в Чародинском – 5, в Ахвахском, Дахадаевском, Карабудахкентском – по 6; в Ботлихском, Кумторкалинском и Шамильском районах – по 7 очагов [11].

Инфекция ВЛКРС представляет опасность не только для крупного рогатого скота. Данный вирус может быть онкогеном в ряде онкологических заболеваний женщин. Большим достижением в области лейкологии явилось выявление этиологического фактора при Т-клеточном лейкозе человека – ретровируса типа С, имеющего большое родство с ВЛКРС [12]. Выявление фрагментов генома ВЛКРС у женщин с онкологией в разных источниках также достаточно сильно варьирует: в Бразилии у 72 вовлеченных в исследование женщин с выраженным раком молочной железы ДНК ВЛКРС выявлялась в 13,9 % случаев [13], тогда как по данным из Австралии у 96 женщин в 61,5 % случаев была выявлена ДНК этого вируса, в США, по сообщениям, фрагменты ДНК ВЛКРС были обнаружены в 59 % образцов эпителия молочной железы у американских женщин преимущественно европеоидной расы, больных раком молочной железы, и только в 29 % у нормальных людей из контрольной группы [14].

При сравнительном анализе серологических и молекулярно-генетических методов диагностики бычьего лейкоза установлено преимущество иммуноферментного анализа и полимеразной цепной реакции относительно применяемой в ветеринарной практике реакции иммунодиффузии [15; 16]. ПЦР-диагностика является наиболее точным методом для диагностики хронически зараженных животных, так как выявляет встройку провируса лейкоза коров в геном клетки-хозяина. Кроме того, ПЦР-диагностика является достоверным методом тестирования молодняка на наличие провируса ВЛКРС в клетках крови телят [17].

Целью настоящего исследования являлась оценка пораженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза с помощью ПЦР-диагностики в стадах Республики Дагестан и исследование молекулярно-генетических характеристик циркулирующих вирусов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территориях 4 районов РД – Бабаюртовского, Буйнакского, Унцукульского, Карабудахкентского проведен сбор образцов крови крупного рогатого скота. Образцы собирали от коров широкой возрастной группы от 1 года и до 10 лет. Средний возраст животных, представленных в данном исследовании, составил 4,5 года. В РД преобладает красная степная и калмыкская породы коров, но также встречаются и представители породы сементал и чёрно-белой голштинизированной. Животные для исследования были отобраны на основе желания их владельцев предоставить образцы скота для анализа на наличие ДНК ВЛКРС. Образцы крови коров были собраны сотрудниками управления ветеринарии регионов в строгом соответствии с документом СанПиН 3.3686-21. Забор образцов крови от крупного рогатого скота осуществляли из хвостовой вены с использованием одноразовых стерильных систем в пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА).

Настоящее исследование включало 150 проб крови, взятых июне 2023 года у молочного и мясного скота в хозяйствах Бабаюртовского, Буйнакского, Унцукульского, Карабудахкентского районов. В Бабаюртовском районе было собрано 30 образцов, в Буйнакском – 60, в Унцукульском – 20, в Карабудахкентском – 40.

Для выделения суммарной ДНК из периферической крови крупного рогатого скота использовали фенол-хлороформный метод. Для диагностики наличия ДНК ВЛКРС в пробах применяли ПЦР в реальном времени с использованием набора РеалБест-Вет ДНК вируса лейкоза КРС V-5441 производства ВекторБест, а также ПЦР с лабораторным набором праймеров, выбранных на участок генома 1000 п.н., кодирующий ген env. Для анализа размера и качества продуктов ПЦР использовали метод электрофореза ДНК в агарозном геле (1 %).

Секвенирование проводили с использованием генспецифичных праймеров и коммерческого набора BigDye Terminator v3.1. Образцы наносили в лунки 96-луночного планшета, который затем загружали в автоматический 8-капиллярный секвенатор 3130xl (AppliedBiosystems, США). Полученные последовательности редактировали в программе Sequencher 4.1 и сравнивали с референс-последовательностями различных генотипов ВЛКРС из международной базы данных (Genbank). Филогенетический анализ выполняли с помощью MEGA-X, используя метод объединения ближайших соседей на основе двухпараметрической модели Кимуры. Статистическую значимость топологии филогенетического дерева оценивали с помощью анализа бутстрепов (n=1000).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика хозяйств, вовлеченных в исследование КРС на ВЛКРС

Для анализа распространённости ВЛКРС в РД выбраны районы, территориально находящиеся в разных природных зонах, отличающиеся по рельефу местности, климатическим и гидрологическим характеристикам (рис. 1).

Точки отбора проб:

1. Унцукульский район – с. Унцукуль, с. Бетли
2. Карабудахкентский район – с. Карабудахкент (две точки в разных концах села)
3. Буйнакский район – с. Халимбекаул, с. Чиркей, с. Эрпели
4. Бабаюртовский район – Бабаюрт (СПК Агрокавказ), с. Мужукай, с. Герменчик

Согласно статистическим данным Комитета по ветеринарии РД, основное количество зараженного лейкозом КРС выявляется в племенных и крупных хозяйствах низменной части Республики, в том числе, в хозяйствах Бабаюртовского района.

Бабаюртовский район расположен в низменной части республики. Географически он находится в пределах Терско-Сулакской низменности, через которую протекают 2 транзитные реки (Сулак и Терек), с которыми связана разветвленная сеть каналов и коллекторов. Это благоприятствует распространению на территории района интразонального типа растительности. Благодаря увлажнению почв грунтовыми водами и поливу, здесь широко распространена луговая и лугово-болотная растительность, что крайне благоприятно для развития животноводства. Наличие собственной богатой кормовой базы, транспортная доступность, относительно мягкие климатические условия, равнинный рельеф – это идеальное сочетание благоприятных факторов для развития высокопродуктивного животноводства молочного и мясного направления. На территории района много крупных КФХ с большим

поголовьем КРС. От уровня содержания животных, возможностей обеспечения противозoonотических мероприятий зависит возможность распространения ВЛКРС в хозяйствах. Поэтому в процессе анализа следует изучить пораженность КРС лейкозом в комплексе с анализом факторов, способных оказывать влияние на усугубление ситуации.

Исследуемые нами фермерские хозяйства Бабаюртовского района оснащены всеми необходимым условиями для содержания, выгула и изоляции КРС. Помещения предназначены для содержания дойных коров на 200 голов. В этом же помещении животных содержат в зимний период. Внутри смонтированы кормушки, индивидуальные поилки, кормовые проезды. Рядом со зданием находится выгульный двор. Общее санитарно-гигиеническое состояние помещений хорошее. Все параметры микроклимата поддерживаются в норме.

В Бабаюртовском районе насчитывается 22672 голов КРС (в т.ч. коров 12931). В исследуемых населенных пунктах с. Бабаюрт, с. Мужукай и с. Герменчик зарегистрировано 1420 (в т.ч. коров 830), 791 (в т.ч. коров 412) и 1176 (в т.ч. коров 690) голов КРС соответственно. В исследуемом нами крупном фермерском хозяйстве с. Бабаюрт (СПК Агрокавказ) содержится около 300 голов КРС породы семантал в возрасте от 2 до 3 лет. Хочется отметить высокий уровень соблюдения санитарно-гигиенических требований, оснащённость современным производственно-технологическим оборудованием и хорошими условиями содержания КРС. Для осеменения коров и телок спермой используется ректоцервикальная техника.

В фермерских хозяйствах с. Мужукай и с. Герменчик способы оплодотворения естественные: в основном своими бычками.

Карабудахкентский и Буйнакский районы расположены в предгорной зоне Республики Дагестан. Основная территория районов лежит в высотном диапазоне от 200 до 1000 метров. Природно-климатические условия нижних предгорий (200–500 м) отличаются сухостью и распространением полупустынной и сухостепной растительности. Верхние предгорья (600–1000 м) характеризуются большим увлажнением и преобладанием степной и субальпийской растительности, что говорит о наличии хорошей кормовой базы.

В Карабудахкентском районе поголовье КРС составляет 20728 голов (в т.ч. коров 5883), из которых в исследуемом населенном пункте насчитывается 1288 голов (в т.ч. коров 188). В хозяйствах, где нами был проведен отбор проб, общая численность поголовья составляет 160 и 48 (Фермерское хозяйство 1 и Фермерское хозяйство 2 соответственно), с преобладанием красно-степных, черно-пестрых, калмыцких пород возрастом от 3 месяцев до 6 лет. В Фермерском хозяйстве 1 оплодотворение происходит бычками калмыцкой породы. В Фермерском хозяйстве 2 на протяжении 2–3 лет осеменителем является бык породы швиц (весом около 1 тонны). Данная порода пригодна к стойловому и стойлово-пастбищному содержанию, отличается высокими показателями продуктивности и приспособляемостью к любым климатическим условиям. Хозяйства обеспечены помещениями для содержания, дойки, изоляции КРС, необходимой кормовой базой и квалифицированным

работниками ветеринарной службы района. Завозится КРС в основном из Ставропольского края и Калмыкии. В Буйнакском районе насчитывается КРС в количестве 40274 (в т.ч. коров 11096). В исследуемых нами населённых пунктах Халимбекаул, Чиркей и Эрпели зарегистрировано 361 (в т.ч. коров 135), 4125 (в т.ч. коров 1685) и 2866 (в т.ч. коров 1319) соответственно, возрастом от 5 месяцев до 12 лет. Преобладает КРС калмыцкой породы, но также встречается красно-

степная, кавказская бурая, черно-пестрая и др. В исследуемых нами хозяйствах с. Эрпели содержалось от 2 до 10 голов крупного рогатого скота в возрасте от 1 до 5 лет; в хозяйстве с. Халимбекаул поголовье составило 45 голов; в хозяйстве с. Чиркей – около 300 голов. Способы оплодотворения в исследуемых хозяйствах естественные: своими бычками. Завозится КРС в основном из Калмыкии.



Рисунок 1. Карта мест отбора образцов проб крови крупного рогатого скота на территориях Республики Дагестан для проведения скрининга на вирус лейкоза

Figure 1. Map of locations of collection blood samples from cattle in the Republic of Dagestan for screening for bovine leukosis virus

Унцукульский район расположен в горной части РД. Рельеф характеризуется достаточно сильной пересечённостью и высокой вариабельностью ландшафтов – от нагорно-ксерофитных до альпийских. В верхней более увлажненной части хребтов произрастает альпийская и субальпийская растительность, и на этих территориях в основном располагаются крупные фермерские хозяйства. В засушливых котловинах района содержатся небольшие поголовья КРС для личного пользования.

Всего в Унцукульском районе насчитывается 19082 голов крупного рогатого скота, из которых 9646 коровы. В частных хозяйствах с. Унцукуль, общая численность поголовья составляет 2995 голов крупного рогатого скота (в т.ч. коров 1400). В исследуемых нами хозяйствах содержалось от 5 до 20 голов КРС местной породы в возрасте от 1 до 5 лет. Особенности местной породы является низкорослость и низкий уровень надоев. Способы оплодотворения в исследуемых хозяйствах естественные: в основном своими бычками местной породы. Наличие благоприятных природно-климатических условий горной части республики создает хорошие условия для развития животноводства, в том числе и разведение КРС, в основном, для получения мяса, и лишь небольшая часть используется для получения молока и молочкосодержащей продукции. Финансовой обеспеченность хозяйств находится на среднем уровне. Низкая

продуктивность молочного скота обусловлена рядом факторов, к которым относятся малая численность скота высокопродуктивных пород, недостаточная кормовая база, слабая зоотехническая и селекционно-племенная работа, дефицит квалифицированных кадров, низкий удельный вес ферм с современными технологиями и оборудованием.

Сбор образцов крови КРС и молекулярно-генетический анализ выделенных образцов ВЛКРС

Настоящее исследование включало сбор 150 образцов крови, взятых у молочного и мясного скота в хозяйствах Бабаюртовского района (30 образцов), Буйнакского района (60), Унцукульского (16) и Карабудахкентского районах (40).

С помощью тестирования ПЦР-набором в реальном времени образцы ДНК коров были проанализированы на наличие ДНК вируса лейкоза КРС.

Из 150 проб 24 образца оказались положительными по ПЦР анализу на ВЛКРС. Выявляемость ВЛКРС сильно варьировала в зависимости от района.

В Унцукульском районе исследовано 16 образцов крови от коров красно-степной породы возрастом от 3-х до 7-ми лет (7 образцов), кавказской-бурой (2) 1.5 и 7 лет, черно-пестрой (1) 5-ти лет, калмыкской (6) 2-х лет – ни у одной из 16 коров не была обнаружена ДНК ВЛКРС (табл. 1).

Таблица 1. Данные ПЦР-исследования скота на наличие ДНК ВЛКРС в пробах крови

Table 1. Data from PCR testing of livestock for the presence of BLV DNA in blood samples

Район Карабудахкентский, дата сбора 14.06.2023 г. Karabudakhkentskiy district, collection date 14.06.2023					
Пол Sex	Возраст (диапазон) Age (range)	Порода Breed	Кол-во образцов Sample quantity	ПЦР, кол-во PCR testing quantity	Генотип, кол-во Genotype, quantity
Тёлка Heifer	3 месяца – 6 лет 3 months – 6 years	Красно-степная Red-steppe	26	0	-
	9 месяцев – 5 лет 3 months – 6 years	Калмыкская Kalmik	7	1	4 (RU* 1 образец) 4 (RU* 1 sample)
	9 месяцев – 6 лет 9 months – 6 years	Черно-пёстрая Black-pied	7	0	-
Бык Bull	4 – 5 лет 4 – 5 years	Красно-степная Red-steppe	2	1	4 (RU* 1 образец) 4 (RU* 1 sample)
Районы Буйнакский и Унцукульский, дата сбора 15.06.2023 г. Buynakskiy & Untsukul'skiy districts, collection date 15.06.2023					
Пол Sex	Возраст (диапазон) Age (range)	Порода Breed	Кол-во образцов Sample quantity	ПЦР, кол-во PCR testing quantity	Генотип, кол-во Genotype, quantity
Тёлка Heifer	3 – 11 лет 3 – 11 years	Красно-степная Red-steppe	18	1	4 (RU* 1 образец) 4 (RU* 1 sample)
	1,5 – 4 года 1.5 – 4 years	Кавказская бурая Caucasian brown	2	0	-
	4 месяца – 5 лет 4 months – 5 years	Черно-пёстрая Black-pied	3	0	-
	2 года 2 years	Калмыкская Kalmik	13	0	-
	5 месяцев 5 months	Сементал Semental	2	0	-

Бык Bull	4 месяца	Черно-пёстрая	1	0	-
	4 months	Black-pied			
	2 года	Калмыкская	7	0	-
	2 years	Kalmik			

Район Бабаюртовский, дата сбора 16.06.2023 г.

Babayurtovskiy district, collection date 16.06.2023

Пол Sex	Возраст (диапазон) Age (range)	Порода Breed	Кол-во образцов Sample quantity	ПЦР, кол-во PCR testing quantity	Генотип, кол-во Genotype, quantity
Тёлка Heifer	3 – 7 лет 3 – 7 years	Красно-степная Red-steppe	32	14	4 (KZ** 3 образца), 7 (6 образцов) 4 (KZ** 3 samples), 7 (6 samples)
	3 года 3 years	Калмыкская Kalmik	2	0	-
	3 года 3 years	Сементал Semental	20	5	-
	4 – 10 лет 4 – 10 years	Черно-пёстрая Black-pied	4	2	7 (RU* 1 образец) 7 (RU* 1 sample)

Примечание: RU* – ВЛКРС, выделенный в образце, имеет филогенетическую связь с вирусами, циркулирующими на территориях России; KZ** – ВЛКРС, выделенный в образце, имеет филогенетическую связь с вирусами, циркулирующими на территориях Казахстана

Note: RU* – BLV isolated in the sample having a phylogenetic relationship with viruses circulating in the territories of Russia; KZ** – BLV isolated in the sample having a phylogenetic relationship with viruses circulating in the territories of Kazakhstan

В Карабудахкентском районе из 40 изученных образцов в 2-х случаях (5%), телка 1,5 лет калмыкской породы и бык красно-степной породы 4-х лет был выявлен ВЛКРС (табл. 1).

В Буйнакском районе 1 образец из 30 (3.3%), полученный от коровы 10 лет красно-степной породы, был положительным на ВЛКРС (табл. 1).

В Бабаюртовском районе в 21 образце из 60 исследованных образцов крови коров был обнаружен ВЛКРС (35%). ВЛКРС был выявлен у 9-ти коров 7-ми лет, одной телки 4-х лет и 4-х коров 3-х лет красно-степной породы, 2-х коров 7-ми и 10-ти лет черно-пестрой породы, 5-ти коров 3-х лет породы сементал (табл. 1).

Для 18 из 24 положительных по скрининговому анализу образцов с помощью лабораторного набора праймеров были синтезированы фрагменты гена env ВЛКРС. Для 13 из них были получены и расшифрованы протяженные фрагменты участка гена env ВЛКРС размером 1000 п.н., пригодные для корректного генотипирования и построения филогенетического дерева (рис. 2).

По результатам филогенетического анализа 7 образцов ВЛКРС были отнесены к 7 генотипу и 6 образцов – к 4 генотипу ВЛКРС.

В Карабудахкентском и Буйнакском районах в 3-х ПЦР-положительных пробах (100 % из зарегистрированных случаев) был выявлен ВЛКРС генотипа 4. Согласно выполненному филогенетическому анализу, образцы ВЛКРС, выделенные от коров из Карабудахкентского и Буйнакского районов, генетически близки к вирусам из Новосибирской области России.

В связи с тем, что в России недостаточно исследована молекулярная эпидемиология ВЛКРС, в международных базах данных нуклеотидных последовательностей содержится крайне ограниченное количество расшифрованных последователь-

ностей ВЛКРС, выделенных на разных территориях России. Отсутствие репрезентативной выборки по территориальной циркуляции ВЛКРС в России не позволяет выполнить корректный филогенетический анализ для оценки возможных филогенетических связей распространяющихся вирусов лейкоза коров в регионах страны. Исключение составляет Новосибирская область, где в последние три года проводятся исследования генетической гетерогенности циркулирующих ВЛКРС, расшифрованные последовательности выделенных вирусов депонируются в GenBank [18].

Поэтому факт выявления филогенетической близости ВЛКРС 4 генотипа, выделенных в данных хозяйствах, с вирусами из Новосибирской области, указывает лишь на то, что вирус в хозяйства РД, вероятно, завезен из российских хозяйств.

Из 21 ВЛКРС-положительного образца коров из хозяйств Бабаюртовского района были получены протяженные ПЦР-фрагменты ВЛКРС для 10 случаев. Секвенирование и филогенетический анализ ВЛКРС, выделенных в Бабаюртовском районе, зарегистрировал в хозяйствах как вирусы 4 генотипа (3 образца), так и генотипа 7 (7 образцов).

Интересно отметить, что, согласно филогенетическому анализу, все три образца ВЛКРС 4 генотипа, выделенные в Бабаюртовском районе, кластеризуются с высоким уровнем поддержки с вирусами 4 генотипа ВЛКРС из Казахстана. Возможно, появление в хозяйствах данного района ВЛКРС 4 генотипа связано с закупкой скота в Казахстане.

При этом никакие из изученных образцов 4 генотипа не образовывали общих кластеров, что может говорить о редкой передаче данного генотипа вируса внутри хозяйств.

Для образцов ВЛКРС 7 генотипа, выделенных в хозяйствах Бабаюртовского района, напротив, наблюдалось объединение в один кластер генетически близких вирусов, что указывает на распространение ВЛКРС внутри хозяйства.

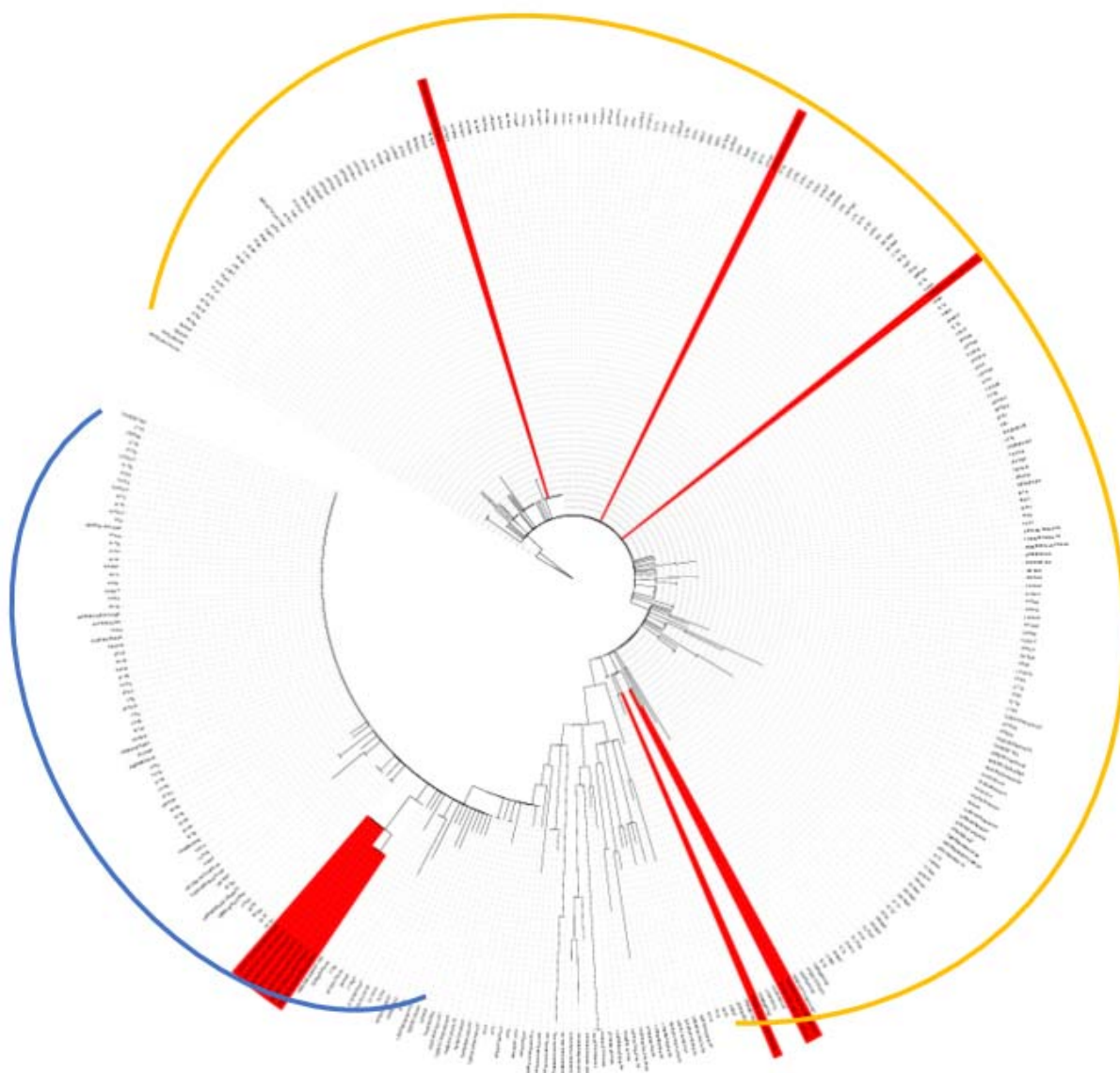


Рисунок 2. Филогенетический анализ, выполненный для последовательности гена env исследованных штаммов ВЛКРС. Синей дугой выделен кластер ВЛКРС генотипа 7, желтой дугой – кластер генотипа 4 ВЛКРС. Красным цветом отмечены образцы ВЛКРС, выделенные в Республике Дагестан. Чёрным шрифтом без выделения цветом обозначены референсные последовательности ВЛКРС из базы данных GeneBank и ранее выделенные нами образцы ВЛКРС в Новосибирской области

Figure 2. Phylogenetic analysis performed for the env gene sequence of the BLV strains studied. The blue arc indicates the cluster of BVL genotype 7 and the yellow arc indicates the cluster of BVL genotype 4. The BVL samples isolated in the Republic of Dagestan are marked in red. In black font without colour highlighting are reference sequences of BVL from the GeneBank database and samples of BVL that we previously isolated in the Novosibirsk region.

ВЫВОДЫ

С целью исследования распространения ВЛКРС на территории Республики Дагестан и изучения генетического разнообразия циркулирующих вариантов вируса был проведён сбор 150 проб крови у молочного и мясного скота в хозяйствах Бабаюртовского, Буйнакского, Унцукульского и Карабудахкентского районов Республики Дагестан. Выполненная ПЦР-диагностика на наличие ДНК ВЛКРС зарегистрировала различную пораженность скота в хозяйствах. В Унцукульский районе в 16 исследованных пробах не было найдено ВЛКРС, в Буйнакском районе ВЛКРС зарегистрирован в 3,3 % случаев, в Карабудахкентском в 5 %.

В Бабаюртовском районе в 35% исследованных образцов крови коров был обнаружен ВЛКРС. Данные ПЦР-диагностики в 3-х хозяйствах показали значительно более высокие цифры пораженности скота в отличие от результатов проводимого скрининга животных на ВЛКРС с использованием ИФА-диагностики или РИД.

Среди рассмотренных случаев инфекции КРС не было обнаружено закономерностей регистрации случаев ВЛКРС с определенной породой КРС или с возрастом животного.

Впервые выполненное генотипирование ВЛКРС, выделенных в Дагестане, позволило заключить, что в Республике циркулируют вирусы 7 и 4 генотипов. При этом для ВЛКРС 4 генотипа зарегистрированы разные пути заноса в Дагестан (вероятно, с территории России

и Казахстана). Необходимо заметить, что из-за крайне ограниченного количества доступных расшифрованных последовательностей ВЛКРС как из России, так и из стран СНГ, невозможно сделать более точные выводы о путях заноса ВЛКРС в Дагестан.

При исследовании образцов ВЛКРС 4 генотипа не было найдено кластеров генетически близких вирусов даже среди ВЛКРС, выделенных от коров одного хозяйства.

Напротив, все ВЛКРС 7 генотипа были найдены только в Бабаюртовском районе и все 7 описанных ВЛКРС объединились в одну группу генетически близких вирусов, что указывает на развитие очага ВЛКРС в хозяйстве. Неправильная стерилизация медицинских инструментов при проведении ветеринарных процедур, татуирования и проколов ушей крупного рогатого скота, совместный выпас здоровых и больных животных может стать причиной распространения ВЛКРС среди животных и развития внутреннего резервуара данного заболевания, о чём говорит кластер в 7 генотипе.

Возможно, факт выявления распространения внутри хозяйства вирусов 7 генотипа ВЛКРС также объясняется более высоким патогенным потенциалом этого генотипа ВЛКРС по сравнению с вирусами генотипа 4, для которых не было зарегистрировано генетически близких ВЛКРС как между близкими хозяйствами, так и внутри одного хозяйства.

В связи с тем, что общее количество зарегистрированных случаев ВЛКРС в хозяйствах Республики оказалось достаточно низким, некорректно на основании исследованных образцов вирусов делать статистически значимые выводы. Планируется продолжить анализ пораженности КРС в Дагестане также в связи с тем, что данные ПЦР-диагностики существенно разнятся с данными РИД, выполняемыми в хозяйствах.

Тем не менее, нельзя не отметить то, что большая пораженность скота ВЛКРС наблюдается в крупных развивающихся хозяйствах, имеющих лучшие условия содержания животных, где проводится работа по формированию племенного фонда. Этот факт указывает на необходимость усиления в хозяйствах всего комплекса мероприятий, направленных на предотвращение распространения инфекции ВЛКРС (стерилизация ветеринарного инструментария, своевременная отбраковка ВЛКРС положительных животных, раздельное содержание подозрительных на ВЛКРС и здоровых животных, абсолютное отсутствие пересечений персонала и инструментария при уходе за здоровыми и инфицированными животными, проведение регулярных дезинфекционных мероприятий).

И, наоборот, в мелких фермерских хозяйствах, экономически и организационно более слабых, но расположенных в географически изолированных территориях, не практикующих пополнение стада за счет сторонних хозяйств, ВЛКРС не регистрируется/регистрируется отдельные случаи заражения.

Полученные нами данные соответствуют данным исследователей из разных территорий мира – для многих стран с высокой пораженностью скота ВЛКРС наблюдается аналогичная закономерность – большая/существенно большая пораженность КРС в крупных хозяйствах по сравнению с индивидуальными подворьями/мелкими фермерскими хозяйствами.

Впервые выполненный молекулярно-генетический анализ ВЛКРС, выделенных в Республике Дагестан, позволил получить новые уникальные последовательности вирусов лейкоза коров, описать различия в циркулирующих геновариантах ВЛКРС, путях заноса и распространения ВЛКРС в хозяйствах Республики, что имеет большую практическую значимость.

Настоящая работа демонстрирует научную новизну, так как вносит вклад в изучение молекулярной эпидемиологии ВЛКРС в России. Накопление знаний по генетическому разнообразию ВЛКРС создает базу для разработки эффективных вакцинных, иммунобиологических препаратов против заболевания ВЛКРС.

БЛАГОДАРНОСТЬ

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

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Vector State Scientific Centre of Virology and Biotechnology of Rospotrebnadzor.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. NAHMS-USDA Bovine Leukosis Virus on U.S. // Dairy Operations. 2007.
2. Enzootic bovine leucosis // World Organisation for Animal Health. URL: <https://www.woah.org/en/disease/enzootic-bovine-leukosis/> (дата обращения: 16.11.2023)
3. Gulyukin M.I., et al. Control and trends in the epizootic situation of bovine leukemia in 2000–2016 // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. V. 71. N 11. P. 530–537. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-11-70>
4. Nuotio L., et al. Eradication of enzootic bovine leukosis from Finland // Preventive Veterinary Medicine. 2003. V. 59. N 1–2. P. 43–49. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00057-6)
5. Thompson K.G., Johnstone A.C., Hilbink F. Enzootic bovine leukosis in New Zealand - a case report and update // New Zealand Veterinary Journal. 1993. V. 41. N 4. P. 190–194. <https://doi.org/10.1080/00480169.1993.35767>
6. Bartlett P.C., et al. Current Developments in the Epidemiology and Control of Enzootic Bovine Leukosis as Caused by Bovine Leukemia Virus // Pathogens. V. 9. Iss. 12. <https://doi.org/10.3390/pathogens9121058>
7. Yang Y., et al. Bovine leukemia virus infection in cattle of China: Association with reduced milk production and increased somatic cell score // Journal of Dairy Science. 2016. V. 99. N 5. P. 3688–3697. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10580>
8. Murakami K., et al. The recent prevalence of bovine leukemia virus (BLV) infection among Japanese cattle // Vet Microbiol. 2011. V. 148. N 1. P. 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.08.001>
9. Lee E., et al. Sequencing and phylogenetic analysis of the gp51 gene from Korean bovine leukemia virus isolates // Virol J. 2015. V. 12. N 1. <https://doi.org/10.1186/S12985-015-0286-4>
10. Kuzmin V., et al. Spread Dynamics of Leucosis in Cattle in Livestock Farms of the Russian Federation for 2000–2018 // KnE Life Sciences. 2019. P. 666–673. <https://doi.org/10.18502/cls.v4i14.5655>
11. Budulov N.R., et al. Bovine leukemia virus occurrence in Dagestan // Veterinary Science Today. 2023. V. 12. N 2. P. 111–118. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-111-118>
12. Gao A., Kouznetsova V.L., Tsigelny I.F. Bovine leukemia virus relation to human breast cancer: Meta-analysis //

- Microb. Pathog. 2020. V. 149. P. 104417. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104417>
13. Schwingel D., et al. Bovine leukemia virus DNA associated with breast cancer in women from South Brazil // *Scientific Reports*. 2019. V. 9. N 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39834-7>
 14. Buehring G.C., et al. Bovine leukemia virus linked to breast cancer in Australian women and identified before breast cancer development // *PLoS One*. 2017. V. 12. N 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179367>
 15. Зиннатов Ф.Ф., Гибадулина И.Р., Хазипов Н.З., Тюрюкова Р.П., Камалов Б.В. Детекция и типизация вируса лейкоза крупного рогатого скота // *Вятский медицинский вестник*. 2007. N 4. С. 48–50.
 16. Крюков В.И., Шалимова О.А., Друшляк Н.Г., Пикунцова А.В. ДНК-диагностика в селекции крупного рогатого скота // *Вестник ОрелГАУ: Научное обеспечение животноводства*. 2012. N 1. С. 62–68.
 17. Чижова Л.Н., Белов Д.Е. Использование полимеразной цепной реакции в диагностике лейкоза КРС // *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2004. Т. 2. N 2–2. С. 65–69.
 18. Бабоско Д.А., Гашникова Н.М., Тотменин А.В., Неведова А.А., Осипова И.П., Екушов В.Е., Рожков О.А., Кузьмин А.И., Флеер М.В. Генетическое разнообразие ВЛКРС, распространенных на территории Коченевского района Новосибирской области // *Ветеринария и кормление*. N 7. С. 51–53. <https://doi.org/10.30917/journal.pone.1814-9588>
 7. Yang Y., et al. Bovine leukemia virus infection in cattle of China: Association with reduced milk production and increased somatic cell score. *Journal of Dairy Science*, 2016, vol. 99, no. 5, pp. 3688–3697. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10580>
 8. Murakami K., et al. The recent prevalence of bovine leukemia virus (BLV) infection among Japanese cattle. *Veterinary Microbiology*, 2011, vol. 148, no. 1, pp. 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.08.001>
 9. Lee E., et al. Sequencing and phylogenetic analysis of the gp51 gene from Korean bovine leukemia virus isolates. *Virology journal*, 2015, vol. 12, no. 1. <https://doi.org/10.1186/S12985-015-0286-4>
 10. Kuzmin V., et al. Spread Dynamics of Leucosis in Cattle in Livestock Farms of the Russian Federation for 2000–2018. *KnE Life Sciences*, 2019, pp. 666–673. <https://doi.org/10.18502/kl.v4i14.5655>
 11. Budulov N.R., et al. Bovine leukemia virus occurrence in Dagestan. *Veterinary Science Today*, 2023, vol. 12, no. 2, pp. 111–118. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-111-118>
 12. Gao A., Kouznetsova V.L., Tsigelny I.F. Bovine leukemia virus relation to human breast cancer: Meta-analysis. *Microbial Pathogenesis*, 2020, vol. 149, p. 104417. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104417>
 13. Schwingel D., et al. Bovine leukemia virus DNA associated with breast cancer in women from South Brazil. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39834-7>
 14. Buehring G.C., et al. Bovine leukemia virus linked to breast cancer in Australian women and identified before breast cancer development. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, no. 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179367>
 15. Zinnatov F.F., Gibadulina I.R., Khazipov N.Z., Tyurikova R.P., Kamalov B.V. Detection and typification of the cattle leukemia virus. *Vyatskii meditsinskii vestnik [Vyatka Medical Bulletin]*. 2007, no. 4, pp. 48–50. (In Russian)
 16. Kryukov V.I., Shalimova O.A., Drushlyak N.G., Pikunova A.V. DNA diagnostics in cattle breeding. *Vestnik OrelGAU: Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva [Bulletin of OrelSAU: Scientific support of livestock breeding]*. 2012, no. 1, pp. 62–68. (In Russian)
 17. Chizhova L.N., Belov D.E. The use of polymerase chain reaction in the diagnosis of bovine leukemia. In: *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva [Collection of scientific works of the Stavropol Research Institute of Livestock and Feed Production]*. 2004, vol. 2, no. 2–2, pp. 65–69. (In Russian)
 18. Baboshko D.A., Gashnikova N.M., Totmenin A.V., Nefedova A.A., Osipova I.P., Ekushov V.E., Rozhkov O.A., Kuzmin A.I., Flyer M.V. Genetic diversity of BLV distributed on the territory of the Kochenevsky district of the Novosibirsk region. *Veterinary and feeding*, no. 7, pp. 51–53. (In Russian) <https://doi.org/10.30917/journal.pone.1814-9588>

REFERENCES

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья М. Гашникова и Мадина Г. Даудова составили концепцию исследования. Мадина Г. Даудова, Халид Г. Койчужев, Хадизжат Ф.-К. Гапизова и Дмитрий А. Бабоско собрали эпидемиологические данные и оказали помощь в сборе образцов. Дмитрий А. Бабоско и Кирилл А. Елфимов выполнили пробоподготовку образцов, провели генотипирование ВЛКРС, проанализировали эпидемиологические данные, выполнили филогенетический анализ. Наталья М. Гашникова руководила проектом. Наталья М. Гашникова и Дмитрий А. Бабоско подготовили рукопись. Все авторы в равной степени

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalya M. Gashnikova and Madina G. Daudova conceptualized the study. Madina G. Daudova, Khalid G. Koychuev, Khadizhat F.-K. Gapizova and Dmitry A. Baboshko collected epidemiological data and assisted with sample collection. Dmitry A. Baboshko and Kirill A. Elfimov performed sample preparation, carried out BLV genotyping, analyzed epidemiological data and performed phylogenetic analysis. Natalya M. Gashnikova led the project. Natalya M. Gashnikova and Dmitry A. Baboshko prepared the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дмитрий А. Бабошко / Dmitry A. Baboshko <https://orcid.org/0009-0003-9052-6427>

Кирилл А. Елфимов / Kirill A. Elfimov <https://orcid.org/0009-0002-6635-2642>

Мадина Г. Даудова / Madina G. Daudova <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

Халид Г. Койчув / Khalid G. Koychuev <https://orcid.org/0009-0004-4723-125X>

Хадижат Ф.-К. Гапизова / Khadizhat F.-K. Gapizova <https://orcid.org/0000-0003-1588-039X>

Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Оригинальная статья / Original article

УДК 616.98:578.828

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-125-133

Вклад рекомбинационной изменчивости ВИЧ в формирование популяции ВИЧ-1, циркулирующих в Приморском крае

Максим Р. Халиков¹, Василий Е. Екушов¹, Алексей В. Тотменин¹, Людмила Г. Готфрид¹,
Лидия Ф. Скляр², Наталья П. Соловьева², Елена Н. Сердцева², Марина И. Шпортова²,
Жанна А. Мартынченко², Светлана Н. Бениова², Светлана А. Ермолицкая²,
Ирина С. Горелова², Наталья М. Гашникова¹

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

²Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Краевая клиническая больница №2», Центр по профилактике и борьбе со СПИД, Владивосток, Приморский край, Россия

Контактное лицо

Наталья М. Гашникова, кандидат биологических наук, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора; 630559 Россия, рп. Кольцово, Новосибирская область.
Тел. +79139405479
Email nmgashnikova@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Формат цитирования

Халиков М.Р., Екушов В.Е., Тотменин А.В., Готфрид Л.Г., Скляр Л.Ф., Соловьева Н.П., Сердцева Е.Н., Шпортова М.И., Мартынченко Ж.А., Бениова С.Н., Ермолицкая С.А., Горелова И.С., Гашникова Н.М. Вклад рекомбинационной изменчивости ВИЧ в формирование популяции ВИЧ-1, циркулирующих в Приморском крае // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 125-133. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-125-133

Получена 22 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 20 ноября 2023 г.

Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Исследовать молекулярно-эпидемиологические особенности территориального распространения ВИЧ-инфекции и влияние рекомбинационной изменчивости на формирование популяции ВИЧ-1 в Приморском крае.

Материалы и методы. Выполнен комплексный анализ молекулярно-генетических характеристик ВИЧ-1 и клинко-эпидемиологических данных 127 ВИЧ-инфицированных жителей Приморского края. Нуклеотидные последовательности области гена *pol*, кодирующей протеазу, обратную транскриптазу и интегразу, ВИЧ-1 получали секвенированием амплифицированных фрагментов вируса. Генотипирование, филогенетический и мутационный анализы проводили с использованием специализированных программных ресурсов.

Результаты. В изученной выборке ВИЧ-1, выделенных в Приморском крае, выявлено доминирование ВИЧ-1 субтипа А6 – 40,9 %. Зарегистрирована высокая по сравнению с другими российскими регионами распространенность вирусов субтипа В – 29,9 %. ВИЧ-1 субтипа С найден в 6,3 % исследованных образцов; циркулирующие рекомбинантные формы CRF63_02A6 – в 6,3 %, CRF02_AG – в 0,8 %. Уникальные вирусы, возникшие в результате рекомбинации ВИЧ субтипов А6 и В, А6 и С, С и В, были найдены в 15,7 % случаев (URF_A6C, URF_CB, URF_BA6). Из 18 описанных URF ВИЧ-1 14 являлись различными вариантами URF_A6C (11 %). Анализ почти полногеномных последовательностей (NFLG) URF_A6C позволил найти и описать новый распространяющийся в Приморье геновариант ВИЧ – CRF157_A6C.

Заключение. Выполненный анализ циркулирующих в Приморском крае ВИЧ-1 подтвердил, что на территории края развивается специфическая молекулярно-эпидемическая ситуация, для которой характерна активная передача вирусов не только субтипа А6, но и субтипов В и С, чего не наблюдается в других регионах России. Впервые на Дальнем Востоке описана высокая частота встречаемости новых возникающих уникальных рекомбинантных форм ВИЧ-1, отдельные варианты которых начинают распространяться среди жителей Приморского края. Увеличение генетической гетерогенности вирусной популяции за счет рекомбинационной изменчивости ВИЧ является негативным прогностическим фактором развития территориальной эпидемии ВИЧ-инфекции на Дальнем Востоке страны.

Ключевые слова

ВИЧ-1, субтипы, филогенетический анализ, рекомбинационная изменчивость, рекомбинантные формы.

The role of recombination variability to the formation of the population the HIV-1 population circulating in the Primorsky Krai, Russia

Maksim R. Halikov¹, Vasily E. Ekushov¹, Alexei V. Totmenin¹, Ludmila G. Gotfrid¹, Lidiya F. Sklyar², Natalia P. Soloveva², Elena N. Serdtseva², Marina I. Shportova², Zhanna A. Martynchenko², Svetlana N. Beniova², Svetlana A. Ermolickaja², Irina S. Gorelova² and Natalya M. Gashnikova¹

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

²Regional Clinical Hospital No 2, Centre for Prevention and Control of AIDS and Infectious Diseases, Vladivostok, Primorsky Krai, Russia

Principal contact

Natalya M. Gashnikova, Ph.D., State Research Center of Virology and Biotechnology, Vector; Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559.

Tel. +79139405479

Email nmgashnikova@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

How to cite this article

Halikov M.R., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gotfrid L.G., Sklyar L.F., Soloveva N.P., Serdtseva E.N., Shportova M.I., Martynchenko Zh.A., Beniova S.N., Ermolickaja S.A., Gorelova I.S., Gashnikova N.M.

The role of recombination variability to the formation of the population the HIV-1 population circulating in the Primorsky Krai, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 125-133. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-125-133

Received 22 October 2023

Revised 20 November 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. To research the molecular epidemiological features of the territorial spread of HIV infection and the influence of recombination variability on the formation of the HIV-1 population in the Primorsky Krai, Russia.

Materials and Methods. A comprehensive analysis of the molecular genetic characteristics of HIV-1 and clinical-epidemiological data of 127 HIV-infected residents of Primorsky Krai was performed. The nucleotide sequences of the pol gene region encoding protease, reverse transcriptase and integrase of HIV-1 were obtained by the sequencing of amplified fragments of the virus. Genotyping, phylogenetic, and mutational analyses were performed using specialised software resources.

Results. In the samples studied of HIV-1 isolated in the Primorsky Krai, the dominance of HIV-1 subtype A6 was detected as 40.9 %. The prevalence of subtype B viruses is high compared to other Russian regions – 29.9 %. The HIV-1 subtype C was found in 6.3 % of the samples studied; circulating recombinant forms CRF63_02A6 – 6.3 %, CRF02_AG – 0.8 %. Unique viruses resulting from the recombination of HIV subtypes A6 and B, A6 and C, C and B were found in 15.7 % of cases (URF_A6C, URF_CB, URF_BA6). Of the 18 HIV-1 URFs described, 14 were variants of URF_A6C (11 %). Analysis of the near full-length genome (NFLG) of URF_A6C made it possible to find and describe a new HIV genovariant spreading in Primorye - CRF157_A6C.

Conclusion. The analysis of HIV-1 circulating in the Primorsky Krai confirmed that a specific molecular epidemic situation is developing in the region, which is characterized by active transmission of viruses not only of subtype A6, but also of subtypes B and C, which is not observed in other regions of Russia. For the first time in the Far East, a high frequency of HIV-1 new unique recombinant forms occurrence has been described, some variants of which are beginning to spread among residents of the Primorsky Krai. An increase in the genetic heterogeneity of the viral population due to recombination variability of HIV is a negative prognostic factor for the territorial epidemic progress of HIV infection in the Far East.

Key Words

HIV-1, subtypes, phylogenetic analysis, recombination variability, recombinant forms.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с современной генотипической классификацией ВИЧ-1 подразделяется на четыре основных группы – М, N, O, P. Абсолютное большинство распространяющихся в мире ВИЧ-1 относится к группе М и дополнительно разделено по степени идентичности их геномов на отдельные субтипы (А-К) и подсубтипы (А1-А7; F1-F2 и др.) [1]. В процессе распространения пандемии ВИЧ-инфекции происходят не только количественные, но и качественные изменения возбудителя. Это означает, что вирусная популяция становится более разнообразной и сложной, поскольку возникают новые варианты вируса, которые могут обладать неизвестными или недостаточно изученными свойствами, осложняя диагностику и терапию ВИЧ-инфекции [2–8].

Генетические варианты ВИЧ-1 имеют различное распространение в отдельных странах мира [7; 9]. На большинстве территорий России масштабная эпидемия ВИЧ-инфекции, начавшаяся в 90-х годах прошлого столетия, была связана с распространением ВИЧ-1 субтипа А подсубтипа А6 [10; 11]. После 2010 года существенные коррективы в молекулярную эпидемиологию ВИЧ-инфекции в России внес возникший и быстро распространившийся рекомбинантный вирус CRF63_02A6 [12].

Географическое положение и специфическая экономико-демографическая ситуация в ДФО оказали влияние на формирование популяции ВИЧ-1, определяющей развитие инфекционного процесса среди жителей края. В 90-е годы параллельно с распространением наркомании на Дальний Восток страны были завезены два специфических для ключевой группы потребителей наркотиков геноварианта ВИЧ-1 – субтипа А (А6) и субтипа В. С начала 2000-х в Приморье регулярно регистрируются случаи инфицирования специфическим геновариантом субтипа С, вероятно, когда-то завезенного морским путем и попавшего в ключевую группу лиц, оказывающих сексуальные услуги [13; 14]. Наличие параллельной циркуляции разных геновариантов ВИЧ-1 не играло существенной роли в развитии эпидпроцесса до тех пор, пока пораженность общего населения края или жителей, входящих в отдельные ключевые группы, не достигала определенных значений.

После 2010 года в регион были завезены рекомбинантные ВИЧ-1, циркулирующие на других территориях России – CRF63_02A6, CRF03_AB и специфический вирус для Республик Средней Азии – CRF02_A6G [15; 16]. В настоящее время на территории ДФО среди рекомбинантных ВИЧ-1 существенно преобладает CRF63_02A6, который быстро распространился в Еврейской автономной области [14]. Периодически среди жителей края регистрируются инфекции, вызванные рекомбинантными формами ВИЧ-1, характерными для других стран мира: CRF07_BC (Китай), CRF01_AE (Юго-Восточная Азия), CRF09_cpx (Западная Африка), CRF11_cpx (Центральная Африка) [13; 14; 17–19].

Приморский край является крупнейшим дальневосточным центром пересечения внутренних и внешних торгово-экономических путей, что обусловлено его удачным расположением как на наземных транспортных маршрутах Европа-Азия, так и на международных морских путях [12–14; 20; 21]. Как следствие, в регионе постоянно изменяется численность населения, естественная убыль и миграция как внутренняя, так и внешняя, происходит активное перемещение иностранных граждан на адми-

нистративные территории края из стран ближнего и дальнего зарубежья [20].

Увеличение концентрации лиц, живущих с ВИЧ, разнонаправленные туристические и трудовые миграционные потоки, сохранение практик поведения, рискованного в отношении инфицирования ВИЧ, одновременная циркуляция разных геновариантов вируса – все эти факторы могут оказывать существенную роль в изменении молекулярной эпидемиологии ВИЧ-инфекции. В связи с этим изучение молекулярно-генетических характеристик ВИЧ-1 как постоянно циркулирующих, так и появляющихся новых его вариантов для Приморского края представляется крайне актуальным.

Целью данной работы было комплексное исследование молекулярно-эпидемиологических особенностей территориального распространения ВИЧ-инфекции в Приморском крае.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Собрано 138 образцов периферической крови ВИЧ-инфицированных пациентов, проживающих на территории Приморского края РФ. Сбор образцов и клинично-эпидемиологических данных проводился «Городской инфекционной клинической больницей № 2» г. Владивосток в 2021 и 2023 гг. От каждого пациента было получено информированное согласие на участие в исследовании с гарантиями анонимного использования полученных данных в соответствии с требованиями этических норм РФ. Клинично-эпидемиологические данные пациентов включали возраст пациента, его пол, дату первого положительного анализа на ВИЧ, вероятный путь заражения, вирусную нагрузку (количество вирусных частиц в 1 мл плазмы), концентрацию клеток CD4+, наличие, схему и продолжительность аниретровирусной терапии (АРТ).

РНК ВИЧ-1 выделяли из плазмы крови с использованием набора «РИБО-золь-С (для первого этапа) и «РИБО-преп» (для второго этапа) («АмплиСенс», Россия) в рамках действующей инструкции. Для получения целевых фрагментов применялась двухстадийная ПЦР. Первая ПЦР была совмещена с реакцией обратной транскрипции, для амплификации был использован лиофилизированный мастер микс и набор лабораторных праймеров. Для второго раунда ПЦР использовался набор HS Taq производства «ООО Биоллабмикс» (Россия). Полученные фрагменты гена pol ВИЧ-1, включают в себя область протеазы и обратной транскриптазы длиной ~1200 п.н. и области интегразы длиной ~900 п.н. Дальнейшее секвенирование амплифицированных фрагментов ДНК выполняли с использованием набора реагентов «BigDye terminator™ v3.1.» на автоматическом секвенаторе 3130xl (Applied Biosystems, США).

Расшифрованные фрагменты гена pol собирались и сравнивались с референсными в программе Sequencher 4.1 (GeneCodes Corporation, Ann Arbor, MI). Собранные фрагменты сопоставляли со стандартными последовательностями разных субтипов и рекомбинантных форм ВИЧ-1 из международной базы данных (Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database) в программе MEGA11 и AliView [22–24].

Множественное выравнивание производилось при помощи сайта RIMD, с использованием алгоритма MAFFT version 7 со стандартными настройками. Для исследуемых последовательностей был проведен филогенетический анализ с использованием метода максимального правдо-

подобия. Филогенетическое дерево было построено при помощи ресурса IQTree v1.6.12. [25] с бутстрепом 1000 повторов на основе модели замещения GTR+I+G, для оценки топологии использовался анализ бутстрепов.

Для рекомбинационного анализа использовались программы RIP, jRNMM и BootScan, а также инструментальный Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) [26–28].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Суммарно скрининг охватил случайную выборку 138 пациентов с диагнозом ВИЧ-1, обратившихся в ЦСПИД Приморского Края в 2021 и в 2023 гг. Для 127 (92,0 %) пациентов были успешно получены вирусные фрагменты, включающие область протеазы, обратной транскриптазы и область интегразы вируса. Среди них 53,5 % мужчины и 46 % женщины со средним возрастом 41 год. Преобладающий путь заражения был половой – 51,9 % (из них 4 человек являлись мужчинами, практикующими секс

с мужчинами (МЧМ) и 2 работника коммерческого секса (РКС)), на втором месте – потребители инъекционных наркотиков – 40,9 % и один случай перинатального заражения 0,8 %. Для 6,3 % пациентов путь заражения выявлен не был. Средняя вирусная нагрузка у пациентов составила 210970 копий РНК/мл, средний показатель клеток CD4 составил 343 кл/мл.

Филогенетический анализ ВИЧ-1, выделенных от инфицированных жителей Приморского края, показал преобладание субтипа А6 40,9 % (n=52), диагноз ВИЧ для 44,2 % (n=23) из этих лиц был поставлен в период с 2011 по 2019 гг. Необходимо отметить, что вирусы данного субтипа достоверно образовывали два отдельных кластера внутри субтипа А6 (5 и 14 образцов, соответственно, отмечены на филогенетическом дереве как А6*), при этом эпидемиологической связи между людьми, у которых выделены данные ВИЧ-1, не было найдено (рис. 1).

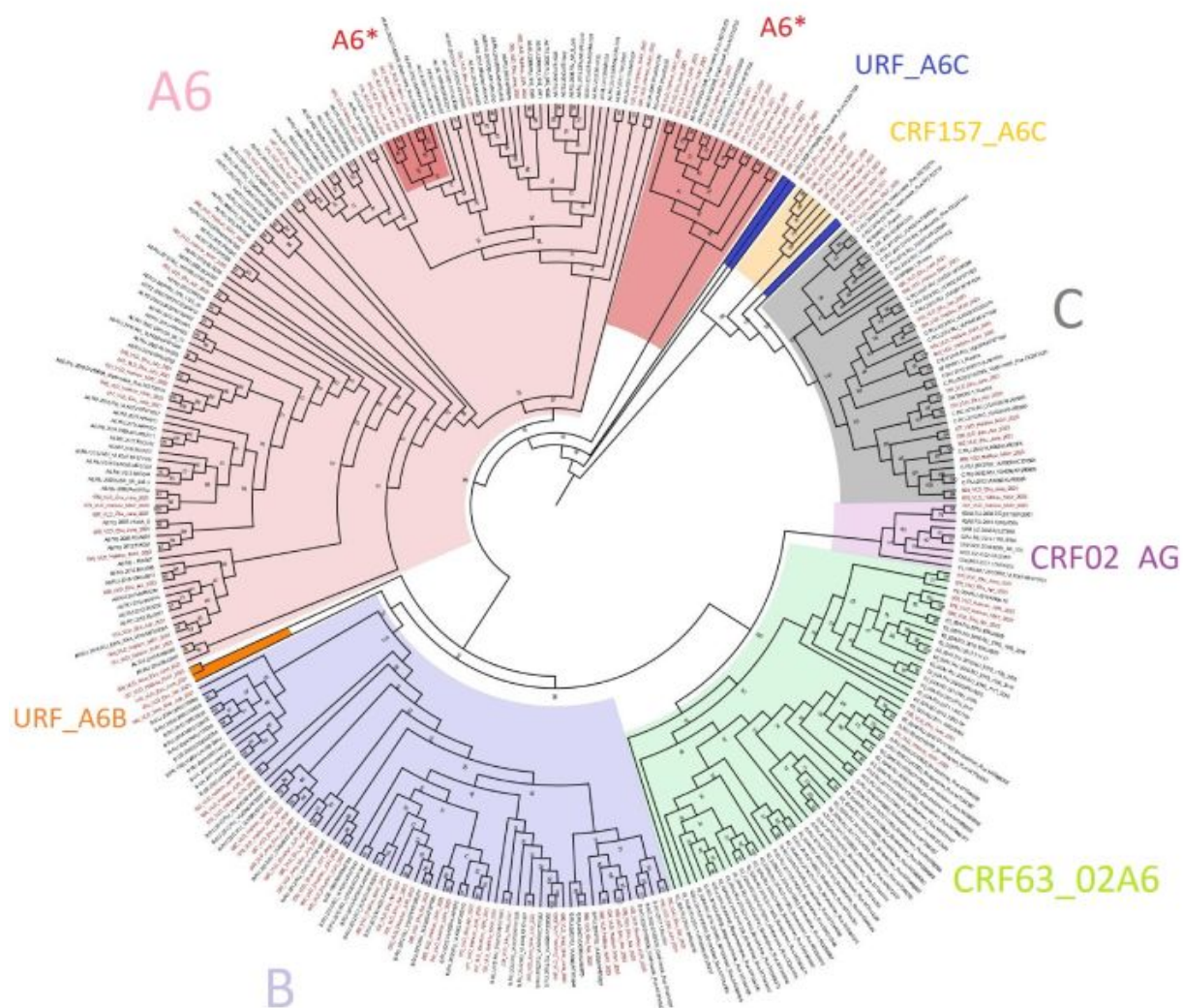


Рисунок 1. Филогенетическое дерево фрагмента гена Pol ВИЧ-1

Проанализированные последовательности ВИЧ-1, выделенные от жителей Приморского края, отмечены красным шрифтом; референсные последовательности обозначены черным шрифтом. Цветом выделены филогенетические кластеры генетически близких ВИЧ-1. Близкородственные кластеры внутри субтипа А6 обозначены как А6* и выделены красным цветом

Figure 1. Phylogenetic tree of the HIV-1 Pol gene fragment

Analyzed HIV-1 sequences isolated from residents of the Primorsky Krai are marked in red; reference sequences are marked in black. Phylogenetic clusters of genetically related HIV-1 are highlighted in colour. Closely related clusters within the A6 subtype are designated A6* and highlighted in red

На втором месте по распространенности был субтип В – 29,9 % (n=38). В 42,1 % (n=16), как и для субтипа А6, заражения данным вирусом происходили в период с 2011 по 2019 гг.

Значительно реже регистрировались инфекции, вызванные ВИЧ субтипа С 6,3 % (n=8), большая часть заражений происходила гетеросексуальным путем и регистрировалась в период с 2011 по 2019 гг. – 62,5 % (n=5).

В 6,3 % (n=8) случаев обнаружена циркулирующая рекомбинантная форма CRF63_02A6 ВИЧ-1, 75 % случаев заражения данным вирусом были зарегистрированы после 2021 г, инфекция в 62,5 % случаев получена при половых контактах и в 37,5 % найдена среди потребителей наркотических препаратов.

ВИЧ-1 среднеазиатского происхождения CRF02_AG 0,8 % выделен у женщины, инфицированной до 2020 года половым путем.

В 15,7 % (n=18) случаев были выявлены уникальные рекомбинантные формы вирусов (URF_A6C, URF_CB, URF_BA6).

Рекомбинантные формы ВИЧ-1 были больше распространены среди мужчин 55,2 % (n=16), чем среди женщин 44,8 % (n=13). Преобладающий путь заражения данными вирусами был при употреблении инъекционных наркотиков 58,6 % (n=17), на втором месте – половой путь передачи 37,9 % (n=11), для одного пациента путь передачи неизвестен (3,5 %). Для 14 вирусов субтипа URF_A6C доминирует путь передачи при употреблении инъекционных наркотиков (57,1 %). Значительная часть из представленных рекомбинантных форм ВИЧ-1 выделена у лиц, диагностированных в период с 2011 по 2019 гг. 41,4 % (n=12).

Среди рекомбинантных ВИЧ-1 нами были выявлены вирусы, имеющие прародительские формы А6 и С (URF_A6C), получившие более широкое распространение на территории области, нежели остальные (14 из 18 представленных URF являлись различными вариантами URF_A6C – 11 %). При этом три варианта URF_A6C ВИЧ-1 образовывали отдельную ветвь филогенетического дерева.

Дополнительно было проанализировано 13 почти полногеномных последовательностей (NFLG) ВИЧ-1 (три варианта URF_A6C ВИЧ-1, два вируса субтипа С и восемь А6 ВИЧ-1), выделенных от жителей Приморского Края, инфицированных гетеросексуальным путем или при потреблении инъекционных наркотических препаратов, между этими людьми не было обнаружено никакой эпидемиологической связи. Последовательности NFLG изученных изолятов URF_A6C, включающие фрагменты от 769 до 9603 п.н. согласно HXB2 геному, были депонированы в GenBank под номерами OR736072, OR736073 и OR736074. Филогенетический анализ последовательностей генома данных вирусов показал, что три штамма URF_A6C ВИЧ-1 группировались вне любого известного подтипа ВИЧ-1 или CRF и образовывали отдельную монофилетическую ветвь со значением бутстрепа 100 %, что указывает на их происхождение от одного предка. У двух пациентов диагноз ВИЧ-инфекция был поставлен в 2022 г., а у одного в 2014 г.

После независимой международной экспертизы было подтверждено, что данные вирусы соответствуют критериям отнесения к новой циркулирующей рекомбинантной форме ВИЧ-1, впоследствии вирусам с

такой структурой генома было присвоено наименование CRF157_A6C [7].

Рекомбинационные структуры вирусов определяли на основе данных анализов RIP, jRnMM и BootScan [26–28]. Результаты показали, что CRF157 ВИЧ-1 является рекомбинантной формой А6С с восемью точками разрыва, разграничивающими пять фрагментов различной протяженности субтипа А6 и четыре коротких фрагмента субтипа С, в соответствии с координатами генома HXB2. Три CRF157_A6C имели идентичные профили рекомбинации. Восемь точек разрыва рекомбинации были расположены в генах gag (1 точка разрыва), pol (3 точки разрыва), vif (2 точки разрыва), vpr (1 точка разрыва) и vpr (1 точка разрыва). Эти точки разрыва рекомбинации были общими для всех трех штаммов.

Далее был проведен субрегиональный филогенетический анализ 9 геномных сегментов для изучения их вероятных родительских линий. Филогенетический анализ субрегионов CRF157_A6C подтвердил их родство с субтипом А6 ВИЧ-1, циркулирующим в России [17]. Субрегионы исследуемых CRF157_A6C кластеризовались со значением бутстрепа 100 между собой и принадлежали к кластеру субтипа С ВИЧ-1. Высокие значения бутстрепа в филогенетических деревьях для каждого из кластеров субрегионов трех образцов CRF157_A6C и образцов ВИЧ-1 субтипа С выделенных у двух жителей Приморского края (мужчина 48 лет, житель Владивостока, MCM, диагностирован в 2021 году и женщина 36 лет, житель Уссурийска, является ПИН, предполагает инфицирование половым путем, диагностирована в 2021 году)

Чтобы понять происхождение российского варианта субтипа С и соответственно CRF157_A6C на основе информации о почти полногеномных последовательностях в сочетании с данными о других близкородственных последовательностях, полученных с помощью анализа Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) и филодинамики, был проведен поиск последнего общего предка и оценен временной период его возникновения (TMRCA). Субтип С ВИЧ-1 на Дальнем Востоке России, вероятно, возник в результате независимого заноса субтипа С ВИЧ-1 из Эфиопии или Швеции. Оценка TMRCA для двух ранее исследуемых образцов субтипа С указывает, что субтип С, относящийся к Эфиопскому кластеру, начал распространяться на Дальнем Востоке России примерно с 1981 года. Известно, что множественные заносы субтипа С, связанного с кластером С ВИЧ-1 из Эфиопии, ответственны за распространение этого геноварианта в Швеции [17; 29].

Субтип С в Приморском крае по данным других авторов выявлялся в основном среди лиц, инфицированных гетеросексуально (ГС) или MCM [20]. Важно отметить, что среди 3 пациентов с CRF157_A6C два являются мужчинами, ПИН, третья – женщина, оказывающая сексуальные услуги за деньги, также имевшая гетеросексуальные контакты с ПИН.

Можно предположить, что субтип С ВИЧ-1 некоторое время распространялся среди жителей Приморского края преимущественно при сексуальных контактах, затем попал и в группу ПИН.

Для общей характеристики инфекционного процесса важно оценивать социально-демографические характеристики вновь выявляемых лиц с ВИЧ.

По состоянию на 01.07.2023 г. кумулятивно (начиная с 1989 года) в Приморском крае выявлено 21 242 ВИЧ-инфицированных лиц. Пораженность населения ВИЧ-инфекцией постепенно продолжает расти, по состоянию на 01.07.2023 г. данный показатель относительно прошлого года вырос на 2,5 % и составил 578,8 на 100 тыс. жителей. На территории Приморского края в структуре ВИЧ-инфицированных, впервые выявленных в текущем году, традиционно преобладают мужчины. В текущем году их удельный вес составил 69,2 % [30]. В Приморье практически на всем на протяжении регистрации ВИЧ-инфекции преобладал наркотический путь инфицирования ВИЧ. В последние годы происходит снижение доли лиц, инфицированных при употреблении наркотиков, но по-прежнему, хоть и незначительно, этот путь заражения ВИЧ преобладает [14].

При анализе путей заражения у пациентов, впервые выявленных в 2023 году, установлено, что на возможность инфицирования при употреблении наркотических веществ указало 43,2 % пациентов (2022 г. – 45,0 %, 2021 г. – 50,9 %, 2020 г. – 46,3 %, 2019 г. – 54,3 %), на половой гетеросексуальный – 39,9 % (2022 г. – 39,9 %, 2021 г. – 33,6 %, 2020 г. – 32,5 %, 2019 г. – 28,8%), на гомосексуальный – 2,2 % (2022 г. – 1,8 %, 2021 г. – 1,1 %, 2020 г. – 1,4 %, 2019 г. – 1,5 %) [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный молекулярно-эпидемиологический анализ ВИЧ-инфекции позволил заключить, что на территории Приморского края продолжает преобладать вирус субтипа А6, незначительно отстает от которого по распространенности субтип В. При этом если ранее данные субтипы ВИЧ преимущественно циркулировали среди потребителей инъекционных наркотиков (ПИН), в последние годы чаще регистрируется передача вирусов субтипа А6 и В при половых контактах.

Напротив, субтип С ранее периодически выявлялся среди жителей края, инфицированных гетеросексуально. В данном исследовании выявлено в 2021 г. 2 случая инфекции субтипом С среди ПИН.

Наиболее значимым результатом является регистрация в Приморском крае новых возникающих вариантов ВИЧ – URF_A6C, URF_CB, URF_BA6. Уникальные рекомбинантные ВИЧ-1 были выявлены в 15,7 % с преобладанием случаев выделения таких вирусов среди ПИН. В группе рекомбинантных вирусов были обнаружены три вируса с идентичной структурой генома, что указывает на то, что возникающие вирусы могут получать дальнейшее распространение.

В результате проведенных исследований впервые было описано возникновение нового ВИЧ-1, получившего номенклатурное наименование CRF157_A6C. Геном данного вируса депонирован в международной базе данных, что позволит исследователям выполнять корректное генотипирование ВИЧ-1 и выявлять близкие по структуре вирусы.

Таким образом, выполненное исследование позволило описать актуальную молекулярно-эпидемиологическую ситуацию по распространению ВИЧ-инфекции в Приморском крае с её уникальными особенностями.

Общий анализ данных дает основание заключить, что в крае наблюдается увеличение вклада рекомбинационной изменчивости ВИЧ-1 в формирование популяции циркулирующих вирусов. Распрост-

ранение рекомбинантных форм ВИЧ-1 преимущественно происходит среди ПИН с регистрацией случаев передачи и при гетеросексуальных контактах.

Учитывая выявленную параллельную циркуляцию генетически отличающихся ВИЧ-1 среди жителей края, в том числе, среди лиц, практикующих поведение высокого риска заражения ВИЧ (ПИН, РКС, МСМ), и, как следствие, приводящее к возникновению новых рекомбинантных вирусов, можно предположить, что вклад рекомбинационной изменчивости ВИЧ-1 на развитие эпидемии в Приморском крае будет расти.

Выполненное исследование демонстрирует разнообразие развивающихся территориальных процессов по распространению ВИЧ и подтверждает важность молекулярно-эпидемиологических исследований для понимания основных факторов развития эпидемии, для разработки эффективных мер борьбы с распространением ВИЧ в России.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the Vector State Research Center of Virology and Biotechnology of Rospotrebnadzor.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Désiré N., Cerutti L., Le Hingrat Q., et al. Characterization update of HIV-1 M subtypes diversity and proposal for subtypes A and D sub-subtypes reclassification // *Retrovirology*. 2018. V. 15. N 80. <https://doi.org/10.1186/s12977-018-0461-y>
2. Burke D.S. Recombination in HIV: an important viral evolutionary strategy // *Emerging infectious diseases*. 1997. V. 3. N 3. P. 253. <https://doi.org/10.3201/eid0303.970301>
3. Robertson D.L., Anderson J.P., Bradac J.A., Carr J.K., Foley B., et al. HIV-1 nomenclature proposal // *Science*. 2000. V. 288. Iss. 5463. P. 55. <https://doi.org/10.1126/science.288.5463.55d>
4. Perrin L., Kaiser L., Yerly S. Travel and the spread of HIV-1 genetic variants // *The Lancet infectious diseases*. 2003. V. 3. N 1. P. 22–27.
5. Wainberg M.A., Brenner B.G. The Impact of HI Genetic Polymorphisms and Subtype Differences on the Occurrence of Resistance to Antiretroviral Drugs // *Molecular Biology International*. 2012. V. 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/256982>
6. Kerina D., Babill S.-P., Muller F. HIV Diversity and Classification, Role in Transmission // *Advances in Infectious Diseases*. 2013. V. 3. N 2. <https://doi.org/10.4236/aid.2013.32022>
7. Vidal N., Peeters M., Mulanga-Kabeya C., Nzilambi N., Robertson D., et al. Unprecedented Degree of Human Immunodeficiency Virus Type 1 (HIV-1) Group M Genetic Diversity in the Democratic Republic of Congo Suggests that the HIV-1 Pandemic Originated in Central Africa // *Journal of Virology*. 2000. V. 74. N 22. <https://doi.org/10.1128/jvi.74.22.10498-10507.2000>
8. Tongo M., Dorfman J.R., Martin D.P. High Degree of HIV-1 Group M (HIV-1M) Genetic Diversity within Circulating Recombinant Forms: Insight into the Early Events of HIV-1M Evolution // *Journal of Virology*. 2016. V. 90. N 5. <https://doi.org/10.1128/jvi.02302-15>
9. Hemelaar J., Elangovan R., Yun J., Dickson-Tetteh L., Fleminger I., et al. Global and regional molecular epidemiology of HIV-1, 1990–2015: a systematic review, global survey, and trend analysis // *The Lancet Infectious Diseases*. 2019. V. 19.

- Iss. 2. P. 143–155. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30647-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30647-9)
10. Abidi S.H., Aibekova L., Davlidova S., et al. Origin and evolution of HIV-1 subtype A6 // *PLoS ONE*. 2021. V. 16. N 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260604>
 11. Schlösser M., Kartashev V., Mikkola V.H., et al. HIV-1 Sub-Subtype A6: Settings for Normalised Identification and Molecular Epidemiology in the Southern Federal District, Russia // *Viruses*. 2020. V. 12. N 4. P. 475. <https://doi.org/10.3390/v12040475>
 12. Baryshev P.B., Bogachev V.V., Gashnikova N.M. HIV-1 genetic diversity in Russia: CRF63_02A1, a new HIV type 1 genetic variant spreading in Siberia // *AIDS Res Hum Retroviruses*. 2014. V. 30. N 6. P. 592–597. <https://doi.org/10.1089/aid.2013.0196>
 13. Таенкова И.О., Троценко О.Е., Балахонцева Л.А., Котова В.О., Базыкина Е.А. Анализ эпидемиологической ситуации распространения ВИЧ-инфекции в Дальневосточном федеральном округе за 2016–2020 // *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. 2022. Т. 41. С. 44–52.
 14. Котова В.О., Балахонцева Л.А., Базыкина Е.А., Троценко О.Е. Циркулирующих рекомбинантных форм ВИЧ-1 на территориях Дальневосточного Федерального Округа // *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. 2021. Т. 40. С. 79–87.
 15. Sivay M.V., Totmenin A.V., Zyryanova D.P., Osipova I.P., Nalimova T.M., et al. Characterization of HIV-1 Epidemic in Kyrgyzstan // *Frontiers in Microbiology*. 2021. V. 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.753675>
 16. Lebedev A., Pasechnik O., Ozhmegova E., Antonova A., Blokh A., et al. Prevalence and spatiotemporal dynamics of HIV-1 Circulating Recombinant Form 03_AB (CRF03_AB) in the Former Soviet Union countries // *PLOS ONE*. 2021. V. 16. N 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247611>
 17. Halikov M.R., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gashnikova N.M., et al. Identification of a novel HIV-1 circulating recombinant form CRF157_A6C in Primorsky Territory, Russia // *Journal of Infection*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2023.11.005>
 18. Котова В.О., Балахонцева Л.А., Базыкина Е.А., Троценко О.Е. Распространение циркулирующих рекомбинантных форм ВИЧ-1 на территориях Дальневосточного Федерального Округа // *Материалы межрегиональной конференции «Молекулярная диагностика и биобезопасность – 2023»*, Москва, 27–28 апреля, 2023. С. 92–93.
 19. Котова В.О., Базыкина Е.А., Балахонцева Л.А., Троценко О.Е. Возможность использования результатов молекулярно-генетического типирования ВИЧ-1 в эпидемиологической практике в Дальневосточном Федеральном Округе Российской Федерации // *Дальневосточный Журнал Инфекционной Патологии*. 2020. Т. 38. С. 69–79.
 20. Котова В.О., Троценко О.Е., Балахонцева Л.А., Базыкина Е.А. Молекулярно-генетическая характеристика вариантов ВИЧ-1, выделенных в субъектах Дальневосточного Федерального Округа // *Вопросы вирусологии*. 2019. Т. 64. N 2. С. 79–89. <http://dx.doi.org/10.18821/0507-4088-2019-64-2-79-89>
 21. Баукова Н.Г., Карпова М.И., Киселева В.Ю., Кривобород Л.Н., Новобрицкая Я.В., Филонова Е.А., Храмова В.А. Социально-экономическое положение Приморского края // *Приморскстат*. 2023. С. 93. URL: <https://25.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D1%8F%D0%B%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8C-%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%202023.pdf> (дата обращения: 04.12.2023)
 22. Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database. URL: <https://www.hiv.lanl.gov/content/sequence/HIV/mainpage.html> (дата обращения: 04.12.2023)
 23. Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11 // *Molecular Biology and Evolution*. 2021. V. 38. Iss. 7. P. 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
 24. Larsson A. AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets // *Bioinformatics*. 2014. V. 30. Iss. 22. P. 3276–3278. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu531>
 25. Nguyen L.T., Schmidt H.A., Von Haeseler A., Minh B.Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies // *Molecular Biology and Evolution*. 2015. V. 32. Iss. 1. P. 268–274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
 26. Siepel A.C., Halpern A.L., Macken C., Korber B.T. A computer program designed to screen rapidly for HIV type 1 intersubtype recombinant sequences // *AIDS Research and Human Retroviruses*. 1995. V. 11. P. 1413–1416. <https://doi.org/10.1089/aid.1995.11.1413>
 27. Schultz A.-K., Zhang M., Bulla I., Leitner T., Korber B., Morgenstern B., Stanke M. jpHMM: Improving the reliability of recombination prediction in HIV-1 // *Nucleic Acids Research*. 2009. V. 37. Iss. 2. P. 647–665. <https://doi.org/10.1093/nar/gkp371>
 28. Martin D.P., Posada D., Crandall K.A., Williamson C. A modified bootscan algorithm for automated identification of recombinant sequences and recombination breakpoints // *AIDS Research and Human Retroviruses*. 2005. V. 21. N 1. P. 98–102. <https://doi.org/10.1089/aid.2005.21.98>
 29. Neogi U., Hagblom A., Santacatterina M., Bratt G., Gisslen M., et al. Temporal Trends in the Swedish HIV-1 Epidemic: Increase in Non-B Subtypes and Recombinant Forms over Three Decades // *PLoS ONE*. 2014. V. 9. N 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099390>
 30. Таенкова И.О., Балахонцева Л.А., Базыкина Е.А., Котова В.О., Троценко О.Е. Эпидемиологическая ситуация по ВИЧ инфекции в дальневосточном федеральном округе на современном этапе (краткий анализ за 2022) // *Дальневосточный Журнал Инфекционной Патологии*. 2023. Т. 44. С. 53–57.

REFERENCES

1. Désiré N., Cerutti L., Le Hingrat Q., et al. Characterization update of HIV-1 M subtypes diversity and proposal for subtypes A and D sub-subtypes reclassification. *Retrovirology*, 2018, vol. 15, no. 80. <https://doi.org/10.1186/s12977-018-0461-y>
2. Burke D. S. Recombination in HIV: an important viral evolutionary strategy. *Emerging infectious diseases*, 1997, vol. 3, no. 3, p. 253. <https://doi.org/10.3201/eid0303.970301>
3. Robertson D.L., Anderson J.P., Bradac J.A., Carr J.K., Foley B., et al. HIV-1 nomenclature proposal. *Science*, 2000, vol. 288, iss. 5463, p. 55. <https://doi.org/10.1126/science.288.5463.55d>
4. Perrin L., Kaiser L., Yerly S. Travel and the spread of HIV-1 genetic variants. *The Lancet infectious diseases*. 2003, vol. 3, no. 1, pp. 22–27.
5. Wainberg M.A., Brenner B.G. The Impact of HIV Genetic Polymorphisms and Subtype Differences on the Occurrence of Resistance to Antiretroviral Drugs. *Molecular Biology International*, 2012, vol. 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/256982>
6. Kerina D., Babill S.-P., Muller F. HIV Diversity and Classification, Role in Transmission. *Advances in Infectious Diseases*, 2013, vol. 3, no. 2. <https://doi.org/10.4236/aid.2013.32022>
7. Vidal N., Peeters M., Mulanga-Kabeya C., Nzilambi N., Robertson D., et al. Unprecedented Degree of Human Immunodeficiency Virus Type 1 (HIV-1) Group M Genetic Diversity in the Democratic Republic of Congo Suggests that the HIV-1 Pandemic Originated in Central Africa. *Journal of Virology*, 2000, vol. 74, no. 22. <https://doi.org/10.1128/jvi.74.22.10498-10507.2000>
8. Tongo M., Dorfman J.R., Martin D.P. High Degree of HIV-1 Group M (HIV-1M) Genetic Diversity within Circulating Recombinant Forms: Insight into the Early Events of HIV-1M

- Evolution. *Journal of Virology*, 2016, vol. 90, no. 5. <https://doi.org/10.1128/jvi.02302-15>
9. Hemelaar J., Elangovan R., Yun J., Dickson-Tetteh L., Fleminger I., et al. Global and regional molecular epidemiology of HIV-1, 1990–2015: a systematic review, global survey, and trend analysis. *The Lancet Infectious Diseases*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 143–155. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30647-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30647-9)
 10. Abidi S.H., Aibekova L., Davlidova S., et al. Origin and evolution of HIV-1 subtype A6. *PLoS ONE*, 2021, vol. 16, no. 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260604>
 11. Schlösser M., Kartashev V., Mikkola V.H., et al. HIV-1 Sub-Type A6: Settings for Normalised Identification and Molecular Epidemiology in the Southern Federal District, Russia. *Viruses*, 2020, vol. 12, no. 4, p. 475. <https://doi.org/10.3390/v12040475>
 12. Baryshev P.B., Bogachev V.V., Gashnikova N.M. HIV-1 genetic diversity in Russia: CRF63_02A1, a new HIV type 1 genetic variant spreading in Siberia. *AIDS Res Hum Retroviruses*, 2014, vol. 30, no. 6, pp. 592–597. <https://doi.org/10.1089/aid.2013.0196>
 13. Taenkova I.O., Trocenko O.E., Balahontseva L.A., Kotova V.O., Bazykina E.A. Analysis of the epidemiological situation of the spread of HIV infection in the Far Eastern Federal District for 2016–2020. *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii* [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]. 2022, vol. 41, pp. 44–52. (In Russian)
 14. Kotova V.O., Balakhontseva L.A., Bazykina E.A., Trotsenko O.E. Circulating recombinant forms of HIV-1 in constituent entities of the Far Eastern Federal District. *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii* [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]. 2021, vol. 40, pp. 79–87. (In Russian)
 15. Sivay M.V., Totmenin A.V., Zyryanova D.P., Osipova I.P., Nalimova T.M., et al. Characterization of HIV-1 Epidemic in Kyrgyzstan. *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.753675>
 16. Lebedev A., Pasechnik O., Ozhmegova E., Antonova A., Blokh A., et al. Prevalence and spatiotemporal dynamics of HIV-1 Circulating Recombinant Form 03_AB (CRF03_AB) in the Former Soviet Union countries. *PLOS ONE*, 2021, vol. 16, no. 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247611>
 17. Halikov M.R., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gashnikova N.M., et al. Identification of a novel HIV-1 circulating recombinant form CRF157_A6C in Primorsky Territory, Russia. *Journal of Infection*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2023.11.005>
 18. Kotova V.O., Balakhontseva L.A., Bazykina E.A., Trotsenko O.E. Rasprostraneniye tsirkuliruyushchikh rekombinantnykh form VICH-1 na territoriyakh Dal'nevostochnogo Federal'nogo Okruga [Distribution of circulation of recombinant forms of HIV-1 in the territories of the Far Eastern Federal District]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Molekulyarnaya diagnostika i biobezopasnost' – 2023»*, Moskva, 27–28 aprelya 2023 [Proceedings of the interregional conference “Molecular diagnostics and biosafety – 2023”, Moscow, 27–28 April 2023]. Moscow, 2023, pp. 92–93. (In Russian)
 19. Kotova V.O., Bazykina E.A., Balakhontseva L.A., Trotsenko O.E. Application of results of HIV-1 molecular-genetic typing in epidemiological practice in the Far Eastern Federal District of the Russian Federation. *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii* [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]. 2020, vol. 38, pp. 69–79. (In Russian)
 20. Kotova V.O., Trotsenko O.E., Balakhontseva L.A., Bazykina E.A. Molecular genetic characteristics of HIV-1 variants isolated in the subjects of the Russian Far East. *Problems of Virology*, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 79–89. (In Russian) DOI: 10.18821/0507-4088-2019-64-2-79-89
 21. Baukova N.G., Karpova M.I., Kiseleva V.Yu., Krivoborod L.N., Novobritskaya Ya.V., Filonova E.A., Khramkova V.A. *Sotsial'no-ekonomicheskoe polozhenie Primorskogo kraya* [Socio-economic situation of Primorsky Krai]. 2023, p. 93. Available at: <https://25.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D1%8F%D0%B D%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8C-%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C %202023.pdf> (accessed 04.12.2023)
 22. *Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database*. Available at: <https://www.hiv.lanl.gov/content/sequence/HIV/mainpage.html> (accessed 04.12.2023)
 23. Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 2021, vol. 38, iss. 7, pp. 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
 24. Larsson A. AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets. *Bioinformatics*, 2014, vol. 30, iss. 22, pp. 3276–3278. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu531>
 25. Nguyen L.T., Schmidt H.A., Von Haeseler A., Minh B.Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 2015, vol. 32, iss. 1, pp. 268–274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
 26. Siepel A.C., Halpern A.L., Macken C., Korber B.T. A computer program designed to screen rapidly for HIV type 1 intersubtype recombinant sequences. *AIDS Research and Human Retroviruses*, 1995, vol. 11, pp. 1413–1416. <https://doi.org/10.1089/aid.1995.11.1413>
 27. Schultz A.-K., Zhang M., Bulla I., Leitner T., Korber B., Morgenstern B., Stanke M. jpHMM: Improving the reliability of recombination prediction in HIV-1. *Nucleic Acids Research*, 2009, vol. 37, iss. 2, pp. 647–665. <https://doi.org/10.1093/nar/gkp371>
 28. Martin D.P., Posada D., Crandall K.A., Williamson C. A modified bootscan algorithm for automated identification of recombinant sequences and recombination breakpoints. *AIDS Research and Human Retroviruses*, 2005, vol. 21, no. 1, pp. 98–102. <https://doi.org/10.1089/aid.2005.21.98>
 29. Neogi U., Hagblom A., Santacatterina M., Bratt G., Gisslen M., et al. Temporal Trends in the Swedish HIV-1 Epidemic: Increase in Non-B Subtypes and Recombinant Forms over Three Decades. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099390>
 30. Taenkova I.O., Balahontseva L.A., Bazykina E.A., Kotova V.O., Trocenko O.E. Epidemiological situation of HIV infection in the Far Eastern Federal District at the present stage (brief analysis for 2022). *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii* [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]. 2023, vol. 44, pp. 53–57. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья М. Гашникова и Светлана Н. Бениова составили концепцию исследования. Лидия Ф. Скляр, Наталья П. Соловьева, Марина И. Шпортова, Жанна А. Мартыненко, Светлана А. Ермолицкая, Ирина С. Горелова и Елена Н. Сердцева собрали эпидемиологические данные и оказали помощь в сборе образцов. Василий Е. Екушов, Алексей В. Тотменин, Максим Р. Халиков и Людмила Г. Готфрид выполнили генотипирование ВИЧ, провели анализ эпидемиологических данных, выполнили

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalya M. Gashnikova and Svetlana N. Beniova composed the research concept. Lidiya P. Sklyar, Natalia P. Soloveva, Elena N. Serdtseva, Marina I. Shportova, Zhanna A. Martynchenko, Svetlana A. Ermolickaja, Irina S. Gorelova and Elena N. Serdtseva collected epidemiological data and assisted with sample collection. Vasily E. Ekushov, Alexei V. Totmenin, Maksim R. Halikov and Ludmila G. Gotfrid performed HIV genotyping, analyzed epidemiological data and performed phylogenetic and

филогенетический и филодинамический анализ. Наталья М. Гашникова руководила проектом и подготовила рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

phylodynamic analysis. Natalya M. Gashnikova supervised the project and prepared the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Максим Р. Халиков / Maksim R. Halikov <https://orcid.org/0009-0007-1765-1909>

Василий Е. Екушов / Vasily E. Ekushov <https://orcid.org/0000-0002-0465-1260>

Алексей В. Тотменин / Alexei V. Totmenin <https://orcid.org/0000-0002-7418-4872>

Людмила Г. Готфрид / Ludmila G. Gotfrid <https://orcid.org/0000-0001-5896-8231>

Лидия Ф. Скляр / Lidiya F. Sklyar <https://orcid.org/0000-0001-8466-2826>

Наталья П. Соловьева / Natalia P. Soloveva <https://orcid.org/0009-0004-4171-5093>

Елена Н. Сердцева / Elena N. Serdtseva <https://orcid.org/0009-0001-8860-2828>

Марина И. Шпортова / Marina I. Shportova <https://orcid.org/0009-0005-8884-8579>

Жанна А. Мартынченко / Zhanna A. Martynchenko <https://orcid.org/0009-0002-0704-4439>

Светлана Н. Бениова / Svetlana N. Beniova <https://orcid.org/0000-0002-8099-1267>

Светлана А. Ермолицкая / Svetlana A. Ermolickaja <https://orcid.org/0009-0001-7445-7252>

Ирина С. Горелова / Irina S. Gorelova <https://orcid.org/0000-0002-4635-4678>

Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Оригинальная статья / Original article

УДК 913:338.483

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-134-144

Факторы и предпосылки формирования трансграничных особо охраняемых природных территорий в Российско-Казахстанском регионе

Александр А. Чибилёв, Наталья Ю. Святоха, Дмитрий А. Грудинин

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Наталья Ю. Святоха, кандидат географических наук, научный сотрудник, отдел социально-экономической географии, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; 460040 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +79878723284
Email osugeo@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/000-0002-5707-2932>

Формат цитирования

Чибилёв А.А., Святоха Н.Ю., Грудинин Д.А.
Факторы и предпосылки формирования трансграничных особо охраняемых природных территорий в Российско-Казахстанском регионе // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 134-144. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-134-144

Получена 5 июля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Провести географический анализ сети особо охраняемых природных территорий в Российско-Казахстанском трансграничном регионе и выявить перспективные направления международного сотрудничества в области охраны и сохранения природных геосистем.

Материал и методы. Исследование построено на основе статистической обработки данных государственной статистики России и Казахстана, геоинформационного анализа открытых данных о численности населения и материалов официальных геоинформационных порталов, содержащих информацию об особо охраняемых природных территориях обеих стран.

Результаты. Авторами установлены и картированы приграничные охраняемые природные территории федерального/республиканского значения Российско-Казахстанского региона. Посредством ГИС-технологий определены «зоны влияния» ключевых природоохранных территорий путём построения центроидов ООПТ и полигонов Тиссена/Варзара. Рассчитана степень заселённости территории в пределах полученных зон. Выявлены перспективные трансграничные особо охраняемые территории. Предложены механизмы привлечения внимания к проблемам охраны природы.

Заключение. Результаты анализа параметров заселённости территории вблизи наиболее значимых ООПТ в приграничной зоне России и Казахстана имеют практическое значение при интеграции особо охраняемых природных территорий в социально-экономическое развитие регионов с использованием опыта и традиций местного населения и с учётом его интересов.

Ключевые слова

Российско-Казахстанский регион, трансграничный регион, особо охраняемые природные территории, туризм.

Factors and prerequisites for the formation of transboundary specially protected natural areas in the Russian-Kazakhstan region

Alexander A. Chibilev, Natalia Yu. Svyatokha and Dmitry A. Grudinin

Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Institution of Science Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact

Natalia Yu. Svyatokha, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, a separate structural unit of Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences;
11 Pioneerskaya St, Orenburg, Russia 460040.
Tel. +79878723284
Email osugeo@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/000-0002-5707-2932>

How to cite this article

Chibilev A.A., Svyatokha N.Yu., Grudin D.A.
Factors and prerequisites for the formation of transboundary specially protected natural areas in the Russian-Kazakhstan region. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 134-144. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-134-144

Received 5 July 2023

Revised 14 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To conduct a geographical analysis of the network of specially protected natural areas in the Russian-Kazakhstan transboundary region and identify promising areas of international cooperation in the field of protection and conservation of natural geosystems.

Material and Methods. The study was built on the basis of statistical processing of state statistics of Russia and Kazakhstan and on geoinformation analysis of open data on population and materials obtained from official geoinformation portals containing information on specially protected natural areas of both countries.

Results. The authors have established and mapped border protected natural areas of federal/republican significance in the Russian-Kazakhstan region. By means of GIS technologies, "zones of influence" of key nature protection areas were determined by constructing centroids of protected areas and Thyssen/Varzar polygons. Population levels of the territories within the obtained zones was calculated. Promising transboundary specially protected territories have been identified. Mechanisms for drawing attention to the problems of nature protection are proposed.

Conclusions. The results of the analysis of the parameters of the population of the territory near the most significant protected areas in the border zone of Russia and Kazakhstan are of practical importance in the integration of specially protected natural areas into the socio-economic development of the regions using the experience and traditions of the local population and taking into account their interests.

Key Words

Russian-Kazakhstan region, transboundary region, specially protected natural areas, tourism.

ВВЕДЕНИЕ

Межгосударственные границы, как неотъемлемый элемент пространственной организации общества, всё чаще привлекают внимание учёных различных областей науки. Трансграничные регионы и межгосударственное трансграничное сотрудничество являются важными объектами изучения физической и общественной географии, представляя собой многомерные явления, требующие комплексного анализа.

Феномен трансграничности широко представлен в тематике зарубежных исследователей. Это касается трансграничной координации и сотрудничества [1; 2], теоретических аспектов изучения границ, экономического эффекта трансграничности, специфики трансграничного туризма [3; 4] и др. Ряд работ посвящён проблеме функционирования трансграничных особо охраняемых территорий [5; 6].

Большое количество фундаментальных исследований выполнено и российскими учёными. Крупные научные школы, для которых трансграничность является одним из основных предметов изучения, сформировались в городах Москва, Владивосток, Иркутск, Улан-Удэ, Барнаул, Калининград, Оренбург. На протяжении многих лет масштабные исследования российского приграничья проводит Институт географии РАН (феномен границ изучается в рамках экономического и геополитического подходов, ряд работ также посвящён поиску методов сохранения и повышения биоразнообразия степных трансграничных регионов) [7]. Анализ трансграничных территориальных структур природопользования в Тихоокеанской России – одно из основных направлений научной деятельности Тихоокеанского института географии ДВО РАН; специалисты института занимаются анализом принципов и подходов комплексной оценки регионального природопользования (в том числе и в трансграничных геосистемах), а также выявлением особенностей управления трансграничными водотоками [8; 9]. Ключевой аспект в деятельности Байкальского института природопользования СО РАН – разработка механизмов рационального использования трансграничных природных экосистем и определение путей эколого-экономического сотрудничества с приграничными государствами (Казахстан, Монголия, Китай). Специалистами института проведён комплексный анализ состояния природно-антропогенной среды трансграничных речных бассейнов в азиатской части России и анализ ландшафтов трансграничных и приграничных территорий, определены особенности природопользования, степень трансформации природных комплексов, изменения в структуре природопользования приграничных районов России и аймаков Монголии, предложены новые инструменты и механизмы трансграничных взаимодействий. Одним из главных достижений российских географов в области изучения приграничных территорий можно считать совместную работу над проблемой представителей ведущих российских научных школ, что отразилось в совместных публикациях (например, [10]).

Проблема изучения феномена трансграничности актуальна для России в силу большой протяжённости её границ. Среди российских трансграничных территорий особо выделяется Российско-Казахстанский регион. Протяжённость государственной границы между Россией и Казахстаном, оформленной относительно недавно – в

конце XX века, составляет более 7,5 тысяч километров, что делает её одной из самых протяжённых в мире. Обширная степная зона, которая никогда не разделяла, а скорее интегрировала проживающие на ней народы, в 1991 году оказалась поделена между несколькими странами.

С одной стороны может показаться, что проведение государственной границы через целостный природный регион, как в случае со степной зоной, не вносит существенных изменений в структуру и функционирование геосистемы. На практике границы между странами являются скорее политическими, а не экологическими. В связи с этим экосистемы могут подвергаться воздействию различной (или даже в ряде случаев конфликтной) практики управления и землепользования.

Географически Российско-Казахстанский трансграничный регион находится в центральной части Северной Евразии между рекой Волга на западе и горами Алтая на востоке. Трансграничный регион включает в себя степи Приуралья, Северного Прикаспия, Зауральского и Тургайского плато, юга Западной Сибири и значительную часть Казахского мелкосопочника. Степная зона региона состоит из трех подзон: северной степи на обыкновенных чернозёмах (типичная умеренно засушливая степь), типичной степи на южных чернозёмах (типичная засушливая степь) и южной степи на темно-каштановых почвах (умеренно сухая степь). На юге к степной зоне примыкает полупустынная зона, которая скорее является пустынеподобной. Территория приграничных регионов вмещает помимо степной зоны и ландшафтные комплексы иных природных зон (лесной, таёжной, подтаёжной и др.).

Природные экосистемы по обе стороны российско-казахстанской границы обладают высоким биологическим разнообразием и уникальными природными ресурсами. Ландшафтное разнообразие Российско-Казахстанского трансграничного региона наряду с зональными пустынными, полупустынными и степными экосистемами образуют типичные для этой территории соляно-купольные, карстовые, бугристо-песчаные и пойменно-речные комплексы. Для региона характерно широкое распространение лесных форпостов и ландшафтных рефугиев. Благодаря уникальному географическому положению флора и фауна этого региона обогащены соответствующими элементами ландшафтов Средиземноморья, Русской равнины, Урала, Турана и Западной Сибири [11].

Приграничные территории России и Казахстана как части трансграничного региона – это участки, непосредственно прилегающие к государственной границе, испытывающие на себе наибольшее влияние соседней страны, но, что важно, обладающие особым, дополнительным потенциалом развития и международного сотрудничества. Общность международных трансграничных территорий усиливается, так как в их основе лежат единые по составу природные системы. Площадь таких территорий, в рассматриваемых в данной статье границах, составляет более 600 тыс. км².

Общая площадь охраняемых природных территорий (ООПТ) в пределах Российско-Казахстанского трансграничного региона продолжает увеличиваться со временем: в 2022 году на территории Западно-Казахстанской области Республики Казахстан в целях сохранения уральской популяции сайгаков было создано

сразу две особо охраняемых территории республиканского значения – Государственный природный резерват «Бокейорда» и Ащизекский государственный природный заказник, а на территории приграничных российских регионов был организован ряд особо охраняемых территорий регионального значения – в Саратовской, Тюменской, Новосибирской областях и Алтайском крае.

С учётом эффекта повышенного ландшафтного и биологического разнообразия приграничных территорий [12], обеим странам перспективно содействовать развитию межгосударственной экологической сети (ECONET), которая включает важнейшие объекты природоохранного каркаса региона. Концепция такой сети была предложена европейскими учёными в 1993 году как один из основных инструментов для борьбы с угрозами биоразнообразию, возникающими в результате фрагментации мест обитания, изменений в землепользовании и утраты мест обитания. Примерно в это же время на другом континенте, в Северной Америке, более 450 партнёрских групп США и Канады объединили свои усилия и начали работу над совместным проектом «Инициатива по сохранению Йеллоустона и Юкона» или «Y2Y» («Yellowstone to Yukon»), целью которого стала защита природных систем региона Йеллоустоун-Юкон протяжённостью порядка 3200 километров; это один из самых амбициозных проектов по созданию «экологического коридора» на Североамериканском континенте. Одну из концепций проекта «две страны – один лес» можно адаптировать и для Российского-Казахстанского трансграничного региона в трактовке «две страны – одна степь».

Учитывая вышесказанное, актуальными становятся вопросы поиска современных форм сохранения природного наследия трансграничного Российско-Казахстанского региона, разработки стратегии сохранения ландшафтного разнообразия на исследуемой территории, оценки проблем и предпосылок трансграничного взаимодействия, определения вектора интеграционных процессов в регионах по обе стороны границы.

Цель данного исследования – провести географический анализ существующей сети особо охраняемых природных территорий в Российско-Казахстанском трансграничном регионе по обе стороны от государственной границы и выявить перспективные направления международного сотрудничества в области охраны и сохранения природных географических систем. Ключевую роль в функционировании трансграничных природных территорий в ряде стран играют местные сообщества, в связи, с чем в работе также даётся оценка освоенности населением территории Российско-Казахстанского трансграничного региона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационной базой данного исследования послужили: официальные статистические данные российской Федеральной службы государственной статистики, в частности Сведения об особо охраняемых природных территориях за 2022 год [13], содержащие данные о количестве и площадях особо охраняемых территорий Российской Федерации различного статуса, а также данные Агентства по стратегическому планиро-

ванию и реформам Республики Казахстан (Бюро национальной статистики) [14]; нормативные акты Республики Казахстан – Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 сентября 2017 года № 593 «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий республиканского значения» [15], в котором представлены общие площади охраняемых территорий и их местонахождение. Данные о населении исследуемого региона были получены из глобальной модели «Kontur Population: плотность населения для 3-километровых шестиугольников НЗ», распространяемой по открытой лицензии [16].

Для подготовки тематических карт были также использованы геоинформационные порталы России и Казахстана, содержащие пространственную и атрибутивную информацию об особо охраняемых природных территориях (в том числе реорганизованных и перспективных) обеих стран – ресурсы «ООПТ России» [17] и «Особо охраняемые территории Республики Казахстан» [18].

Для пространственного анализа и картографирования данных использовались геоинформационные технологии, в частности десктопное приложение QGIS 3.30 – бесплатная геоинформационная система с открытым исходным кодом.

В рамках анализа освоенности приграничной территории первоначально была определена зона интереса – приграничная буферная зона; в качестве такой территории была выбрана зона в 100 км по обе стороны от государственной границы – в сумме шириной 200 км – как оптимальное расстояние для путешествия в соседнюю страну в рамках маршрутов выходного дня. Далее было осуществлено картирование особо охраняемых территорий государственного значения, расположенных в приграничных регионах обеих стран, и, в частности, тех территорий, участки которых расположены в пределах зоны интереса (рис. 1). Посредством инструментария программы QGIS (инструмент «Центроиды» и «Полигоны Вороного») на следующем этапе были рассчитаны центроиды особо охраняемых природных территорий государственного уровня и построены полигоны Вороного/Тиссена так, чтобы вся территория буферной приграничной зоны тяготела к той или иной заповедной территории (рис. 2). В связи с тем, что госзаповедник «Оренбургский» имеет кластерную организацию и состоит из пяти достаточно удалённых друг от друга участков, центроиды были вычислены для каждой его части. Таким образом были установлены «зоны влияния» каждой охраняемой природной территории, а точнее их проксимальные зоны; в результате получились области, в которых любое место внутри зоны находится ближе к своему центроиду, чем к любому соседнему. Затем было произведено обогащение данных путём расчёта средней плотности населения в рамках каждого из полигонов Вороного/Тиссена (рис. 3). Полученные результаты позволяют не только оценить зоны влияния охраняемых природных территорий, но и проанализировать численность и размещение населения в пределах приграничных территорий.

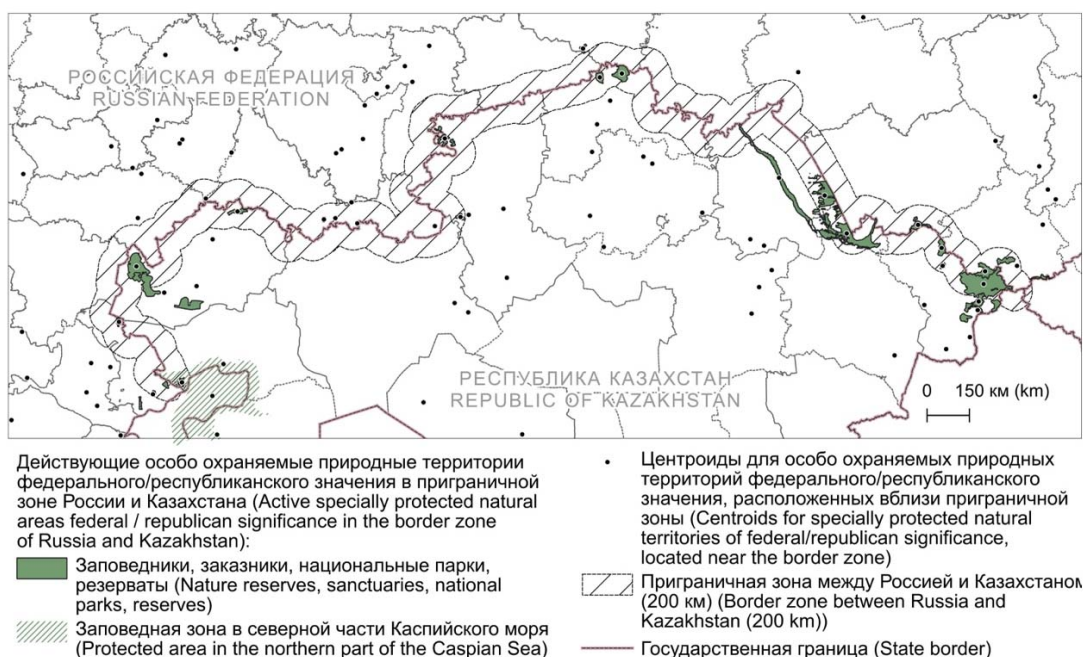


Рисунок 1. Особо охраняемые природные территории федерального/республиканского уровня, расположенные в приграничной 200-километровой зоне России и Казахстана

Figure 1. Specially protected natural areas of federal and republican significance, located in the border 200-kilometre zone of Russia and Kazakhstan

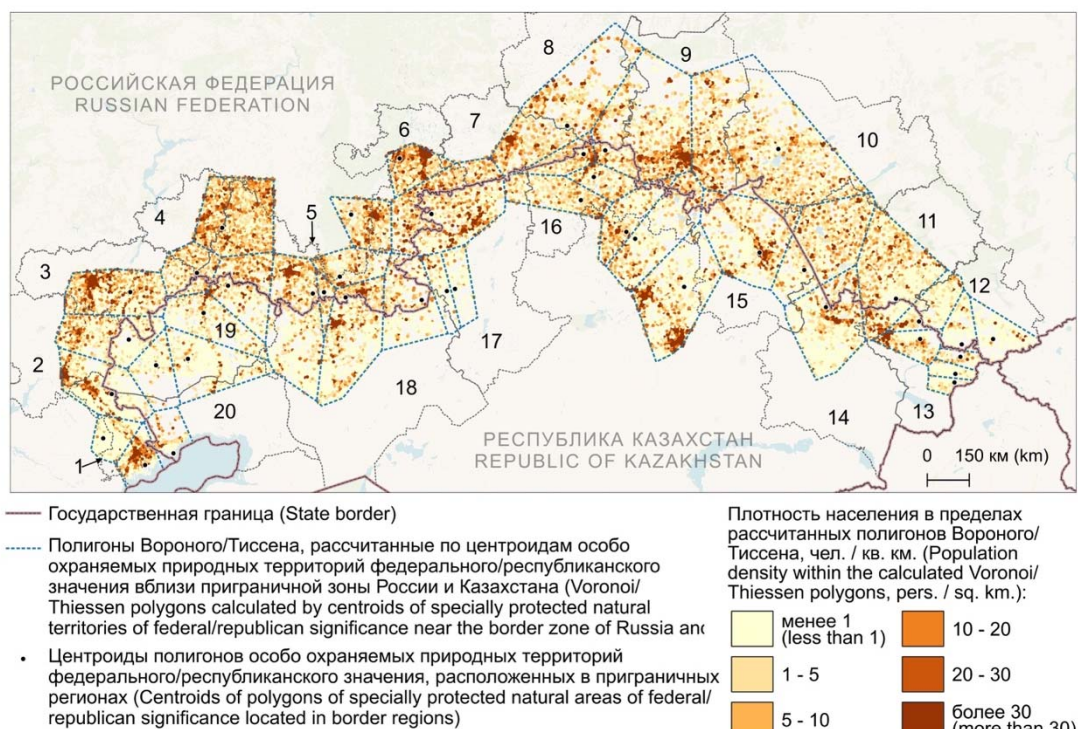


Рисунок 2. Полигоны Вороного/Тиссена как «зоны влияния» особо охраняемых природных территорий федерального/республиканского значения, расположенных вблизи приграничной 200-километровой зоны России и Казахстана

Цифрами на карте обозначены: 1 – Астраханская область, 2 – Волгоградская область, 3 – Саратовская область, 4 – Самарская область, 5 – Оренбургская область, 6 – Челябинская область, 7 – Курганская область, 8 – Тюменская область, 9 – Омская область, 10 – Новосибирская область, 11 – Алтайский край, 12 – Республика Алтай, 13 – Восточно-Казахстанская область, 14 – Абайская область, 15 – Павлодарская область, 16 – Северо-Казахстанская область, 17 – Костанайская область, 18 – Актыбинская область, 19 – Западно-Казахстанская область, 20 – Атырауская область

Figure 2. The Voronoi/Thiessen polygons as "zones of influence" of specially protected natural areas of federal and republican significance, located near the 200-kilometre border zone of Russia and Kazakhstan

The numbers on the map indicate: 1 – Astrakhan region, 2 – Volgograd region, 3 – Saratov region, 4 – Samara region, 5 – Orenburg region, 6 – Chelyabinsk region, 7 – Kurgan region, 8 – Tyumen region, 9 – Omsk region, 10 – Novosibirsk region, 11 – Altai Territory, 12 – Republic of Altai, 13 – East Kazakhstan region, 14 – Abay region, 15 – Pavlodar region, 16 – North Kazakhstan region, 17 – Kostanay region, 18 – Aktope region, 19 – West Kazakhstan region, 20 – Atyrau region

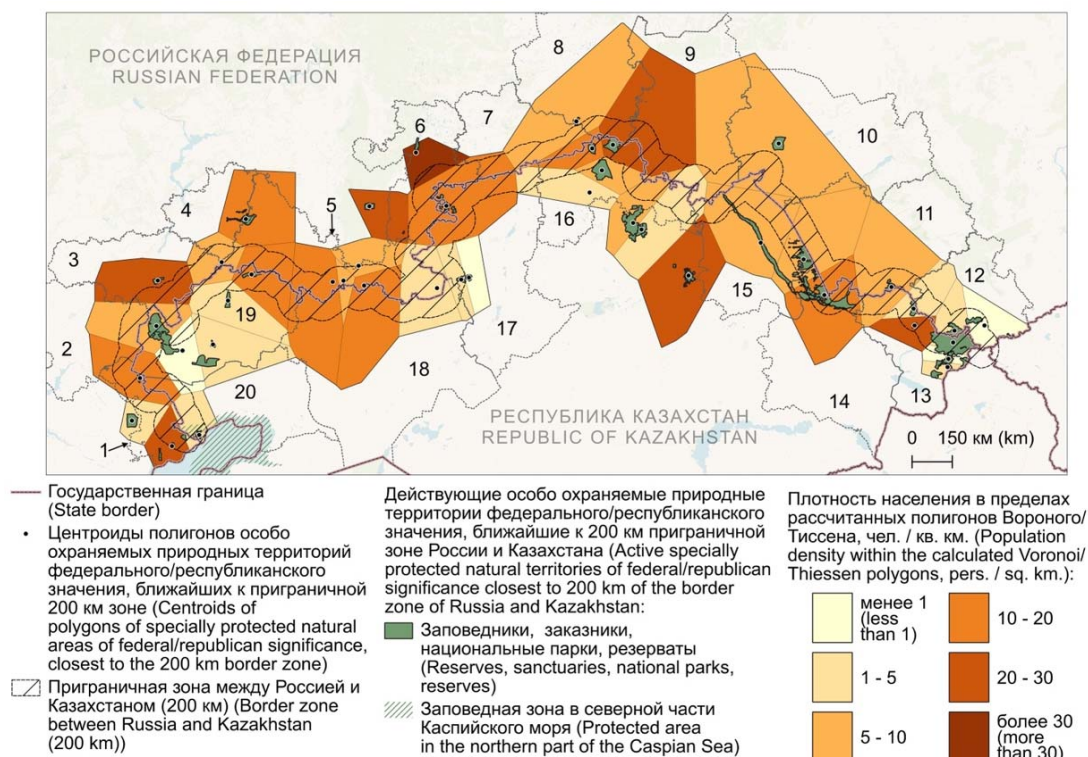


Рисунок 3. Средняя плотность населения в пределах полигонов Вороного/Тиссена, определяемых как «зоны влияния» особо охраняемых природных территорий федерального/республиканского значения, расположенных вблизи приграничной 200-километровой зоны России и Казахстана

Цифрами на карте обозначены: 1 – Астраханская область, 2 – Волгоградская область, 3 – Саратовская область, 4 – Самарская область, 5 – Оренбургская область, 6 – Челябинская область, 7 – Курганская область, 8 – Тюменская область, 9 – Омская область, 10 – Новосибирская область, 11 – Алтайский край, 12 – Республика Алтай, 13 – Восточно-Казахстанская область, 14 – Абайская область, 15 – Павлодарская область, 16 – Северо-Казахстанская область, 17 – Костанайская область, 18 – Актыбинская область, 19 – Западно-Казахстанская область, 20 – Атырауская область

Figure 3. Average population density within the Voronoi/Thyssen ranges, defined as “zones of influence” of specially protected natural areas of federal and republican significance, located near the 200-kilometer border zone of Russia and Kazakhstan

The numbers on the map indicate: 1 – Astrakhan region, 2 – Volgograd region, 3 – Saratov region, 4 – Samara region, 5 – Orenburg region, 6 – Chelyabinsk region, 7 – Kurgan region, 8 – Tyumen region, 9 – Omsk region, 10 – Novosibirsk region, 11 – Altai Territory, 12 – Republic of Altai, 13 – East Kazakhstan region, 14 – Abay region, 15 – Pavlodar region, 16 – North Kazakhstan region, 17 – Kostanay region, 18 – Aktoke region, 19 – West Kazakhstan region, 20 – Atyrau region

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По состоянию на конец 2022 года в приграничных регионах России расположено 35 особо охраняемых природных территорий федерального значения (рис. 4), в приграничных с Россией областях Казахстана расположено 48 охраняемых природных территорий республиканского значения. Преобладающий вид таких территорий в приграничных регионах обеих стран – государственные природные заказники и памятники природы (24 и 20 объектов соответственно), но памятники природы представляют собой локальные объекты и занимают сравнительно небольшие площади. Их ценность и статус определяются не столько их экологической ролью, сколько уникальностью.

Анализ доли площади особо охраняемых природных территорий государственного значения (рис. 5), расположенных в приграничных регионах России и Казахстана, от общей площади региона, показал, что лидерами по данному показателю являются преимущественно регионы Казахстана (Восточно-Казахстанская, Атырауская области), среди российских регионов выделяется Республика Алтай. Однако следует иметь в виду, что система ООПТ

Казахстана представлена в основном республиканским и местным уровнем, в то время как по российскому законодательству ООПТ подразделяются на территории федерального, регионального и местного значения. Доля региональных ООПТ во многих российских регионах, в частности во всех приграничных с Казахстаном (кроме Самарской области), сопоставима и даже превышает площадь охраняемых природных территорий федерального значения.

В Казахстане в целом по стране удельный вес земель особо охраняемых природных территорий составляет 3 %, в России площадь особо охраняемых территорий всех уровней составляет 14 % от площади страны. Такой разрыв в значениях, вероятно, связан с тем, что не все ООПТ Казахстана имеют статус юридического лица и управляются природоохранными организациями; согласно другим источникам [19], особо охраняемые природные территории занимают более 10 % поверхности суши Казахстана. Вопрос о том, какой должна быть доля особо охраняемых природных территорий от площади региона, вызывает дискуссии, существуют разные точки зрения среди исследователей, экологов и законодателей в разных странах. Так, например, стратегический план сохранения

биоразнообразия на 2011–2020 годы, который был принят под эгидой Конвенции о биологическом разнообразии Организации Объединённых Наций устанавливал, чтобы к 2020 году не менее 17 % наземных и внутренних водных районов, имеющих особо важное значение для сохранения биоразнообразия и экосистемных услуг, сохранились за счёт эффективно управляемых, экологически репрезентативных и хорошо связанных систем охраняемых районов. В рекомендациях четвёртого Всемирного

конгресса по национальным паркам и охраняемым территориям (Каракас, 1992 г.) был установлен целевой показатель, предусматривающий выделение 10 % территории под ООПТ для каждого биома. И Россия, и Казахстан не достигли ни одного из этих показателей, однако, что подтверждают многие исследователи, доля ООПТ все же должна быть зависима от экологических особенностей региона, таких как богатство биологического разнообразия, угрозы для природных ресурсов и наличие уникальных экосистем.

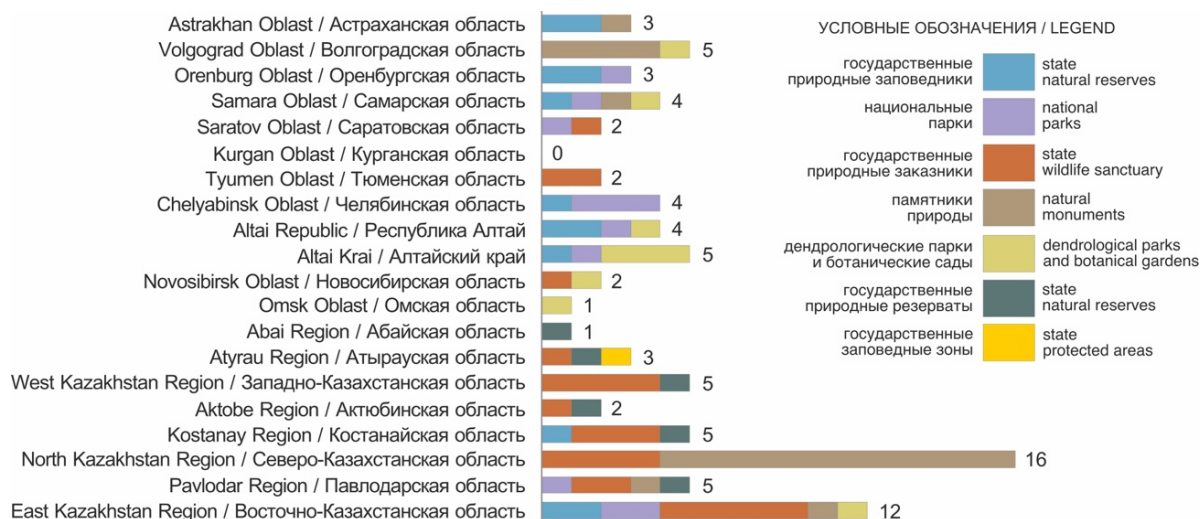


Рисунок 4. Количество и видовая структура особо охраняемых природных территорий федерального/республиканского значения, расположенных в приграничных регионах России и Казахстана
Figure 4. Number and species structure of specially protected natural areas of federal and republican significance, located in the border regions of Russia and Kazakhstan

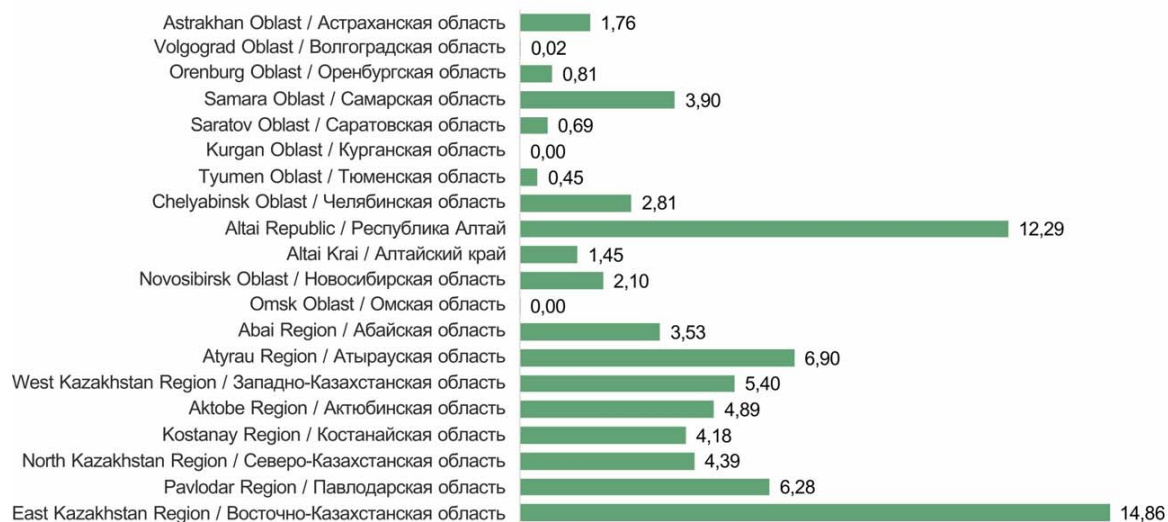


Рисунок 5. Доля площади особо охраняемых природных территорий государственного значения, расположенных в приграничных регионах России и Казахстана, в процентах от общей площади региона, %
Figure 5. Proportion of areas of specially protected natural areas of state importance, located in the border regions of Russia and Kazakhstan, as a percentage of the total area of the region, %

Анализ «зон влияния» ООПТ федерального/республиканского значения в пределах 200-километровой трансграничной зоны России и Казахстана позволил сделать ряд выводов. В общей сложности 42 охраняемые природные территории федерального/республиканского значения своей зоной влияния охватывают приграничную территорию. Самая большая зона влияния у Кирзинского заказника (создан в целях обеспечения сохранности типичного лесостеп-

ного ландшафта), Новосибирская область России, площадь этой зоны составляет 144 тыс. км², на втором месте по этому показателю – Согровский государственный природный заказник (цель создания – акклиматизация и реакклиматизация бобров), Северо-Казахстанская область Республики Казахстан, с площадью зоны влияния 81 тыс. км². Другими словами эти объекты являются ближайшими ООПТ федерального/республиканского значения для жителей столь

обширных территорий. Медианная площадь зон влияния ООПТ в трансграничной 200-километровой зоне составляет 26 тыс км².

Наибольшее пространственное сосредоточение ООПТ федерального / республиканского значения можно отметить на стыке Северо-Казахстанской и Тюменской областей, а также на границе Республики Алтай, Алтайского края и Восточно-Казахстанской, Павлодарской областей.

Плотность населения в рамках вычисленных зон влияния ООПТ федерального/республиканского значения различна от объекта к объекту. Так, например, минимальная плотность населения, которая составляет всего 0,5 человека на 1 км², – вокруг Жарсор-Уркашского государственного природного заказника (цель его создания – сохранение редких и глобально угрожаемых видов птиц и, в более широком контексте, биоразнообразия природных комплексов подзоны сухих степей); зона влияния заказника расположена полностью в пределах Республики Казахстан (Костанайская область). Также низкая плотность населения (до 1 человека на 1 км²) – вокруг государственного природного резервата «Бокейорда» (Западно-Казахстанская область) и Маркакольского государственного природного заповедника (Восточно-Казахстанская область). Зона влияния резервата «Бокейорда» распространяется и на значительную территорию Волгоградской области России.

Наиболее заселена и освоена территория вокруг Ильменского государственного заповедника (изначально причиной его создания была угроза расхищения минералогических ценностей) в Челябинской области. Плотность населения в пределах его зоны влияния составляет порядка 70 человек на 1 км². Высока (39 человек на 1 км²) плотность населения и вокруг Астраханского государственного природного биосферного заповедника. Медианная плотность населения в рамках зон влияния ООПТ федерального/республиканского значения, расположенных в пределах 200-километровой трансграничной зоны России и Казахстана, составляет 7,4 человек на 1 км².

Практическое значение полученных результатов заключается в оценке степени заселённости изучаемого региона, трансграничной территории между Россией и Казахстаном, которую необходимо учитывать при формировании стратегии развития сети особо охраняемых природных территорий. Так, оценка плотности населения помогает выявить регионы с высоким уровнем антропогенной нагрузки на ландшафты. Высокая плотность населения может привести к негативным последствиям, таким как загрязнение, вырубка лесов, изменение землепользования и деградация экосистем. При оценке плотности населения можно определить уязвимые экосистемы, которые нуждаются в особой защите и внимании. Оценка степени заселённости территории играет важную роль в управлении развитием сети особо охраняемых природных территорий. Она помогает прогнозировать конфликты (между природоохранной и экономической деятельностью, например), определять приоритетные области для охраны, учитывать потребности местного населения и оценивать эффективность мер по охране природы. Это позволяет разработать эффективные стратегии управления, направленные на баланс между сохранением природы и удовлетворением потребностей человека,

способствуя устойчивому развитию и сохранению биоразнообразия.

В непосредственной близости от государственной границы с Россией расположены следующие ООПТ Казахстана: Кирсановский государственный природный заказник (комплексный), Михайловский государственный природный заказник (зоологический), Мамлютский государственный природный заказник (зоологический), Согровский государственный природный заказник (зоологический), государственный природный заказник «Пойма реки Иртыш» (комплексный), государственный лесной природный резерват «Ертис орманы», государственный лесной природный резерват «Семей орманы», Западно-Алтайский государственный природный заповедник, Катон-Карагайский государственный национальный природный парк.

С российской стороны вблизи границы с Казахстаном расположены: Астраханский государственный природный биосферный заповедник, Богдинско-Баскунчакский государственный природный заповедник, государственный природный заповедник «Оренбургский», государственный природный заповедник «Тигирекский», Катунский биосферный заповедник, национальный парк «Сайлюгемский».

На границе Республик Алтай и Восточно-Казахстанской области (на базе Катунского биосферного заповедника и Катон-Карагайского национального парка) в 2017 г., после почти 20 лет планирования и обсуждений, был создан трансграничный биосферный резерват (ТБР) «Большой Алтай», уникальная для России и Казахстана охраняемая природная территория высокого международного статуса, в которой совместными усилиями сохраняется природа Большого Алтая. Общая площадь ТБР составляет 1,5 млн га. Несмотря на разработанную совместную стратегию работы, как отмечают исследователи, запланированные пункты выполняются разрозненно из-за несогласованности законодательства стран-участниц. Несмотря на это, сотрудничество между странами расширяется, к нему присоединились Дирекция ООПТ Монгольского Алтая и государственный заповедник «Каратал-Жапырык» (Кыргызская Республика) [20].

Потенциально ещё один крупный трансграничный биосферный заповедник может появиться в результате реализации проекта по объединению расположенного в Волгоградской области биосферного заповедника «озеро Эльтон» и государственного природного резервата «Бокейорда», цель которого – сохранение степных экосистем и путей миграции сайгака. Идея об объединении ООПТ была озвучена главами государств на пленарном заседании Форума межрегионального сотрудничества России и Казахстана в сентябре 2021 г.

Помимо вышеперечисленных ООПТ федерального/республиканского значения на границе двух стран, России и Казахстана, расположен ряд ООПТ регионального (со стороны России) и местного (со стороны и России и Казахстана) уровней. Так, например, ООПТ местного значения заказник «Эбита» (Республика Казахстан) расположен на левом берегу р. Урал, на границе с Оренбургской областью, северный его участок через реку Урал примыкает к заказнику областного значения «Губерлинские горы», а северо-западный – к участку «Айтуарская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский»,

образуя в сопряжении единую охраняемую территорию, общей площадью более 190 тыс. га.

Эффект повышенного ландшафтного и биологического разнообразия, формирующийся за счёт снижения хозяйственной деятельности вдоль государственной границы в связи с её специфическим правовым статусом и действием принципа социально-экономической поляризации ландшафта, позволяет рассматривать трансграничную территорию как перспективную, с точки зрения расширения сети степных ООПТ на постцелинном пространстве России и Казахстана. В начале первого десятилетия XXI века на различных уровнях были высказаны идеи по организации целого ряда ООПТ. К таким территориям можно отнести степной заповедник «Курумбельская степь» на границе Омской и Новосибирской областей России и Павлодарской области Казахстана. Потенциально общая площадь заповедника превышает 400 тыс. га. Крупные заказники предлагалось создать в Оренбургской области: «Озерно-степной», на границе с Актюбинской областью Казахстана; «Чибендино-Троицко-Хобдинский», на границе с Актюбинской и Западно-Казахстанской областью; «Общий Сырт», расположенный также на территориях Самарской и Саратовской областей России и Западно-Казахстанской области.

Особое значение приграничные и трансграничные ООПТ приобретают в качестве своеобразных «брендовых ландшафтных объектов» в местах пересечения границ международными автомагистралями. С целью привлечения внимания к проблемам охраны первозданной природы такие объекты должны быть обозначены не только указателями, но и наглядной информацией, полезной для посещения туристами национальных и природных парков, или, наоборот, запрещающие заезд в заповедник. В любом случае приграничные ООПТ имеют большое информационное значение для идентификации наиболее уникальных и ценных природных объектов, в данном случае, России и Казахстана. Применительно к российско-казахстанскому приграничью к таким объектам можно отнести Гору Белуху, Катон-Карагайский национальный парк, «Рубцовскую» и «Курумбельскую» степи (заказник «Степной» в Омской области), озера Медвежье и Эбейты, ленточные сосновые боры в Абайской, Павлодарской областях и Алтайском крае, скалу Верблюд в верховьях реки Тобол, пойменные леса вдоль реки Урал, солёные озера Эльтон и Баскунчак, гору Большое Богдо и многие другие объекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охрана и управление трансграничными природными охраняемыми территориями являются сложной задачей, так как требует согласованных действий между несколькими странами. Одной из главных проблем является различие в законодательстве и правилах охраны природы в разных странах. Кроме того, часто возникают проблемы с финансированием и координацией действий между различными управляющими органами.

Стратегия сохранения ландшафтного и биологического разнообразия приграничных территорий России и Казахстана должна предусматривать модернизацию территориальной организации сети

особо охраняемых природных территорий обеих стран; оптимизацию режимов природопользования по обе стороны границы; совершенствование и расширение функциональных задач, стоящих перед заповедными территориями; внедрение новых (в том числе трансграничных) форм заповедных резерватов; экологическую реставрацию нарушенных экосистем. Учитывая результаты анализа параметров заселённости территории вблизи наиболее значимых (федеральных и республиканских) ООПТ в приграничной 200-километровой зоне России и Казахстана, особое внимание следует уделять интеграции особо охраняемых природных территорий в социально-экономическое развитие регионов с использованием опыта и традиций местного населения и с учётом его интересов, ведь, как показывает международный опыт, местные сообщества могут играть ключевую роль в повышении эффективности функционирования сети ООПТ.

Успешное решение этих задач возможно осуществить на основе принятия совместных российско-казахстанских научно-технических программ. При этом не исключается создание совместных как научных учреждений, так и общественных и бизнес-структур. Для мониторинга изменений природных комплексов под воздействием антропогенных и глобальных климатических факторов, для изучения новых природно-динамических процессов требуется формирование сети международных трансграничных ООПТ. Планирование и создание новых трансграничных особо охраняемых природных территорий будет способствовать эффективному сохранению природного разнообразия как основы поддержания экологического равновесия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-17-00069 «Географические основы пространственного развития земледельческих постцелинных регионов Урала и Сибири».

ACKNOWLEDGMENTS

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation project No. 20-17-00069 «The geographical basis of a spatial development in the agricultural post-virgin regions in Ural and Siberia».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hataley T., Leuprecht Ch. Determinants of Cross-Border Cooperation // *Journal of Borderlands Studies*. 2018. V. 33. Iss. 3. P. 317–328. DOI: 10.1080/08865655.2018.1482776
2. Noferini A., Berzi M., Camonita F., Durà A. Cross-border cooperation in the EU: Euroregions amid multilevel governance and re-territorialization // *European Planning Studies*. 2020. V. 28. Iss. 1. P. 35–56. DOI: 10.1080/09654313.2019.1623973
3. Kozak M., Buhalis D. Cross-border tourism destination marketing: Prerequisites and critical success factors // *Journal of Destination Marketing & Management*. 2019. V. 14. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2019.100392>.
4. Gao J., Ryan C., Cave J., Zhang Ch. Tourism border-making: A political economy of China's border tourism // *Annals of Tourism Research*. 2019. V. 76. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.02.010>
5. Mayer M., Zbaraszewski W., Pieńkowski D., et al. Cross-Border Tourism in Protected Areas. Potentials, Pitfalls and Perspectives // Springer. 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3->

030-05961-3

6. Coronato M., Prezioso M. The Network of Protected Areas (NPA) as an Instrument to Implement Cross-Border Public Services // *Urban Science*. 2019. V. 3. N 3. P. 97. <https://doi.org/10.3390/urbansci3030097>
7. Колосов В.А., Вендина О.И., Зотова М.В. и др. Российское пограничье: вызовы соседства. Москва: ИП Матушкина И.И., 2018. 562 с.
8. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Приграничные и трансграничные территории как объект географических исследований // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2004. N 4. С. 27–34.
9. Бакланов П.Я., Винокуров Ю.И., Чибилев А.А. Трансграничные речные бассейны Азиатской России: эколого-географические основы межрегионального и международного сотрудничества // *Материалы Всероссийского научного семинара «Гео- и экосистемы трансграничных речных бассейнов на востоке России: проблемы и перспективы устойчивого развития»*, Новосибирск, 25–28 августа, 2014. С. 3–8.
10. Бакланов П.Я., Тулохонов А.К. Приграничные и трансграничные территории Азиатской России и сопредельных стран (проблемы и предпосылки устойчивого развития). Новосибирск: СО РАН. 2010. 610 с.
11. Чибилев А.А. Российско-Казахстанский трансграничный регион: история, геоэкология и устойчивое развитие. Екатеринбург: УрО РАН. 2011. 216 с.
12. Чибилев А.А. Стратегия сохранения природного разнообразия в Российско-Казахстанском приграничном регионе // *Аридные экосистемы*. 1999. Т. 5. N 10. С. 28–35.
13. Сведения об особо охраняемых природных территориях за 2022 год // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 15.05.2023)
14. Статистические данные об ООПТ Казахстана // Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан Бюро национальной статистики. URL: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 15.05.2023)
15. Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий республиканского значения // Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 сентября 2017 года № 593. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000593> (дата обращения: 15.05.2023)
16. Глобальная плотность населения для 3-километровых шестиугольников НЗ // Kontur Population. URL: <https://data.humdata.org/dataset/kontur-population-dataset-3km> (дата обращения: 15.05.2023)
17. ИАС «ООПТ РФ» // Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России». URL: <http://www.oopt.aari.ru/> (дата обращения: 15.05.2023)
18. ООПТ // База данных «Особо охраняемые территории Республики Казахстан». URL: <https://www.oopt.kz/> (дата обращения: 15.05.2023)
19. Информация по ООПТ // Комитет лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/9030?lang=ru> (дата обращения: 15.05.2023)
20. Яшина Т.В., Крыкбаева Р.Н. Трансграничный биосферный резерват «Большой Алтай»: от идеи к модели устойчивого развития приграничных регионов // *Вопросы географии*. 2021. N 152. С. 458–475. DOI 10.24057/probl.geogr.152.17.

REFERENCES

1. Hataley T., Leuprecht Ch. Determinants of Cross-Border Cooperation. *Journal of Borderlands Studies*, vol. 33, iss. 3, pp.

- 317–328. DOI: 10.1080/08865655.2018.1482776
2. Noferini A., Berzi M., Camonita F., Durà A. Cross-border cooperation in the EU: Euroregions amid multilevel governance and re-territorialization. *European Planning Studies*, 2020, vol. 28, iss. 1, pp. 35–56. DOI: 10.1080/09654313.2019.1623973
3. Kozak M., Buhalis D. Cross-border tourism destination marketing: Prerequisites and critical success factors. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2019, vol. 14. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2019.100392>.
4. Gao J., Ryan C., Cave J., Zhang Ch. Tourism border-making: A political economy of China's border tourism. *Annals of Tourism Research*, 2019, vol. 76, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.02.010>
5. Mayer M., Zbaraszewski W., Pierkowski D. et al. Cross-Border Tourism in Protected Areas. Potentials, Pitfalls and Perspectives. *Springer*, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05961-3>
6. Coronato M., Prezioso M. The Network of Protected Areas (NPA) as an Instrument to Implement Cross-Border Public Services. *Urban Science*, 2019, no. 3, p. 97. <https://doi.org/10.3390/urbansci3030097>
7. Kolosov V.A., Vendina O.I., Zotova M.V. et al. *Rossiiskoe pogranič'je: vyzovy sosedstva* [Russian borderlands: challenges of the neighborhood]. Moscow, IP Matushina I.I. Publ., 2018, 562 p. (In Russian)
8. Baklanov P.Ya., Ganzey S.S. Border and trans-border territories as an object of geographical research. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series]. 2004, no. 4, pp. 27–34. (In Russian)
9. Baklanov P.Ja., Vinokurov Ju.I., Chibilev A.A. *Transgraničnyye rechnyye basseiny Aziatskoi Rossii: ekologo-geograficheskie osnovy mezhhregional'nogo i mezhdunarodnogo sotrudnichestva* [Transboundary river basins of Asian Russia: ecological and geographical bases of interregional and international cooperation]. *Materialy Vserossiiskogo nauchnogo seminar «Geo- i ekosistemy transgraničnykh rechnykh basseynov na vostoке Rossii: problemy i perspektivy ustoychivogo razvitiya»*, Novosibirsk, 25–28 avgusta 2014 [Proceedings of the All-Russian Scientific Seminar "Geo-and Ecosystems of Transboundary River Basins in the East of Russia: Problems and Prospects for Sustainable Development", Novosibirsk, 25–28 August 2014] Novosibirsk, 2014, pp. 3–8. (In Russian)
10. Baklanov P.Ya., Tulokhonov A.K. *Prigraničnyye i transgraničnyye territorii Aziatskoi Rossii i sopredel'nykh stran (problemy i predposylki ustoychivogo razvitiya)* [Border and transboundary territories of Asian Russia and neighboring countries (problems and prerequisites for sustainable development)]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2010, 610 p. (In Russian)
11. Chibilev A.A. *Rossiisko-Kazahstanskii transgraničnyi region: istoriya, geoekologiya i ustoychivoe razvitie* [Russian-Kazakhstan transboundary region: history, geoecology and sustainable development]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2011, 216 p. (In Russian)
12. Chibilev A.A. The strategy of conservation of natural diversity in the Russian-Kazakhstan border region. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems]. 1999, vol. 5, no. 10, pp. 28–35. (In Russian)
13. Svedeniya ob osobo ohranyaemykh prirodnkh territoriyah za 2022 god [Information on specially protected areas for 2022]. *Federal'naia sluzhba gosudarstvennoi statistiki* [Information on specially protected natural areas for 2022. Federal State Statistics Service.] Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (accessed 15.05.2023)
14. Statisticheskie dannye ob OOPT Kazahstana [Statistical

data on protected areas in Kazakhstan]. *Agentstvo po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. Byuro nacional'noi statistiki* [Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National Statistics] Available at: <https://stat.gov.kz/ru/> (accessed 15.05.2023)

15. Ob utverzhdenii perechnya osobo ohranyaemykh prirodnkh territorii respublikanskogo znacheniya [On approval of the list of specially protected natural areas of republican significance]. *Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 26 sentyabrya 2017 goda № 593* [Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated September 26, 2017 No. 593]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000593> (accessed 15.05.2023)

16. *Global'najya plotnost' naseleniya dlya 3-kilometrovyyh shestiyugol'nikov H3 Kontur Population* [Global population density for 3 km H3 hexagons]. Available at: <https://data.humdata.org/dataset/kontur-population-dataset-3km> (accessed 15.05.2023)

17. IAS «ООПТ РФ». *Informacionno-analiticheskaya sistema «Osobo ohranyaemye prirodnye territorii Rossii»* [Information-

analytical system "Specially protected natural territories of Russia"]. Available at: <http://www.oopt.aari.ru/> (accessed 15.05.2023)

18. ООПТ. *Baza dannyh «Osobo ohranyaemye territorii Respubliki Kazakhstan»* [Database "Specially Protected Territories of the Republic of Kazakhstan"] Available at: <https://www.oopt.kz/> (accessed 15.05.2023)

19. Informaciya po ООПТ [Information on protected areas]. *Komitet lesnogo hozyaystva i zhivotnogo mira Ministerstva ekologii i prirodnkh resursov Respubliki Kazakhstan* [Information about protected areas of the Committee for Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan] Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/9030?lang=ru> (accessed 15.05.2023)

20. Yashina T.V., Krykbaeva R.N. Transboundary biosphere reserve "Greater Altai": from an idea to a model of sustainable development of border regions. *Questions of Geography*, 2021, no. 152, pp. 458–475. (In Russian) DOI: 10.24057/probl.geogr.152.17

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр А. Чибилёв руководил научным исследованием, составил план работы и корректировал материал. Наталья Ю. Святоха провела статистический и геоинформационный анализ, подготовила картографический и инфографический материал. Дмитрий А. Грудинин проанализировал теоретические источники и данные полевых исследований. 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

Alexander A. Chibilev undertook the scientific management of the research, drew up the work plan and checked the materials. Natalia Yu. Svyatokha undertook statistical and geoinformational analysis, mapping and production of infographics. Dmitry A. Grudinin undertook analysis of theoretical sources and of field research 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

Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilev <http://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Наталья Ю. Святоха / Natalia Yu. Svyatokha <https://orcid.org/0000-0002-5707-2932>

Дмитрий А. Грудинин / Dmitry A. Grudinin <https://orcid.org/0000-0002-1762-1116>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.4

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-145-160

Агроэкологическая оценка залежных почв северо-запада Республики Башкортостан

Айдар Ф. Гумеров¹, Тимур И. Низамутдинов¹, Евгений В. Абакумов¹, Руслан Р. Сулейманов^{2,3}¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия²Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия³Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Контактное лицо

Айдар Ф. Гумеров, аспирант 3-го курса, кафедра прикладной экологии, Санкт-Петербургский государственный университет; 199178 Россия, г. Санкт-Петербург, В.О., 16 линия, 29.
Тел. +79373301310

Email aidargumerov1997@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-8494-8314>

Формат цитирования

Гумеров А.Ф., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В., Сулейманов Р.Р. Агроэкологическая оценка залежных почв северо-запада Республики Башкортостан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 145-160. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-145-160

Получена 25 января 2023 г.

Прошла рецензирование 24 марта 2023 г.

Принята 5 июня 2023 г.

Резюме

Цель. Провести анализ образцов залежных почв северо-запада Республики Башкортостан с целью выявления основных характеристик, свойств почвенного покрова.

Материал и методы. Полевые исследования были проведены в ноябре 2021-го года и в августе 2022-го года. Был выбран ключевой участок, заброшенное сельскохозяйственное угодье, на территории Нижнекарышевского сельсовета Балтачевского района. Во время работ было отобрано 45 почвенных образцов, с горизонта РУ (глубина 10–20 см). Также для исследуемого ключевого участка было проведено морфологическое описание почвы. Во время лабораторных исследований были изучены следующие свойства: актуальная кислотность, потенциальная кислотность, содержание органического вещества, базальное дыхание почвы.

Результаты. Полученные результаты показали пространственную неоднородность распределения свойств почвенного покрова (актуальной и потенциальной кислотности, базального дыхания, содержания углерода и гумуса) на исследуемом участке. Такая неоднородность складывается под воздействием комплекса физико-географических факторов.

Заключение. В дальнейшем наши исследования также будут посвящены изучению залежных земель на серых лесных почвах. Необходимо сделать упор на изучении взаимосвязи свойств почвенного покрова с растительными сообществами и геолого-геоморфологическими условиями. Изучение различных физико-географических факторов, влияющих на почвенный покров, позволит более детально описать весь механизм, эволюцию почв заброшенных сельскохозяйственных земель.

Ключевые слова

Залежные почвы, сельскохозяйственные земли, химическая характеристика, Южное Предуралье, продовольственная безопасность, агроэкосистема.

Agroecological assessment of fallow soils in the north-west of the Republic of Bashkortostan

Aidar F. Gumerov¹, Timur I. Nizamutdinov¹, Evgeny V. Abakumov¹ and Ruslan R. Suleymanov^{2,3}

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

³Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Principal contact

Aidar F. Gumerov, 3rd year postgraduate student, Department of Applied Ecology, St. Petersburg State University; 29 V.O., line 16, St. Petersburg, Russia 199178.

Tel. +79373301310

Email aidargumerov1997@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8494-8314>

How to cite this article

Gumerov A.F., Nizamutdinov T.I., Abakumov E.V., Suleymanov R.R. Agroecological assessment of fallow soils in the north-west of the Republic of Bashkortostan. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 145-160. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-145-160

Received 25 January 2023

Revised 24 March 2023

Accepted 5 June 2023

Abstract

Aim. To analyse samples of fallow soils in the north-west of the Republic of Bashkortostan in order to identify the main characteristics and properties of the soil cover.

Material and Methods. Field studies were carried out in November 2021 and August 2022. A key site was chosen, an abandoned agricultural land in the territory of the Nizhnokaryshevsky village council of the Baltachevsky district. During the work, 45 soil samples were taken from the PY horizon (depth 10–20 cm). A morphological description of the soil was also carried out for the key area studied. During laboratory studies, the following properties were investigated: actual acidity, potential acidity, organic matter content, basal soil respiration.

Results. The results obtained showed the spatial heterogeneity of the distribution of soil cover properties (actual and potential acidity, basal respiration, carbon and humus content) in the study area. Such heterogeneity is formed under the influence of a complex of physical and geographical factors.

Conclusion. In the future, our research will also be devoted to the study of fallow lands on grey forest soils. Emphasis should be placed on studying the relationship between soil cover properties and plant communities and geological and geomorphological conditions. The study of various physical and geographical factors affecting the soil cover will make it possible to describe in more detail the entire mechanism and evolution of soils of abandoned agricultural lands.

Key Words

Fallow soils, agricultural lands, chemical characteristics, Southern Cis-Urals, food security, agroecosystem.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире наблюдается острая фаза мирового продовольственного кризиса. Данный кризис связан нестабильной геополитической обстановкой в мире, пандемией COVID-19, инфляцией, а также влиянием глобального изменения климата [1; 2]. Разрушаются цепочки поставок продовольствия и налаженные ранее экономические связи. Из-за засухи, наводнений, пожаров создается угроза ведению сельского хозяйства. В условиях меняющегося климата особенно важно учитывать степень изменений климатических условий каждого региона, где осуществляется сельскохозяйственная деятельность [3].

Вся совокупность вышеперечисленных факторов только усугубляет мировой продовольственный кризис. Для преодоления кризиса, недопущения дефицита продовольствия, голода как в масштабе отдельно взятой страны, так и в целом мире необходимо принять ряд срочных мер, основанных на строгой научной базе [4]. Одним из таких мер является увеличение площади земель для возделывания различных сельскохозяйственных культур [5]. Увеличению площади сельскохозяйственных земель может помочь возвращение обратно в оборот заброшенных земель. Проблема заброшенных сельскохозяйственных земель особенно

актуальна для стран бывшего СССР [6] (рис. 1). Конкретно в Российской Федерации, с целью решения задачи возвращения залежных земель обратно в сельскохозяйственный оборот запущена федеральная программа «Вторая целина». Реализация этой программы может способствовать возвращению 13 с лишним миллион гектаров заброшенных сельскохозяйственных угодий [7].

Стоит вкратце отметить причины возникновения залежей. Упразднение колхозно-совхозной системы 1990-е годы в Российской Федерации, в результате перехода от плановой системы к рыночной экономике, привели к отчуждению сельскохозяйственных земель [8]. По некоторым оценкам площадь этих земель составляет около 40 млн. га [9]. Судьба заброшенных сельскохозяйственных земель оставалась неопределенной, в государственном кадастре эти земли оставались землями сельскохозяйственного назначения. На практике, эти угодья не использовались в сельскохозяйственных целях, тем самым они переходили в состояние залежи [10]. Залежными считаются те сельскохозяйственные угодья, которые ранее использовались как пашня, но не используемые после этого больше года (отсчет идет, начиная с осени) [11].

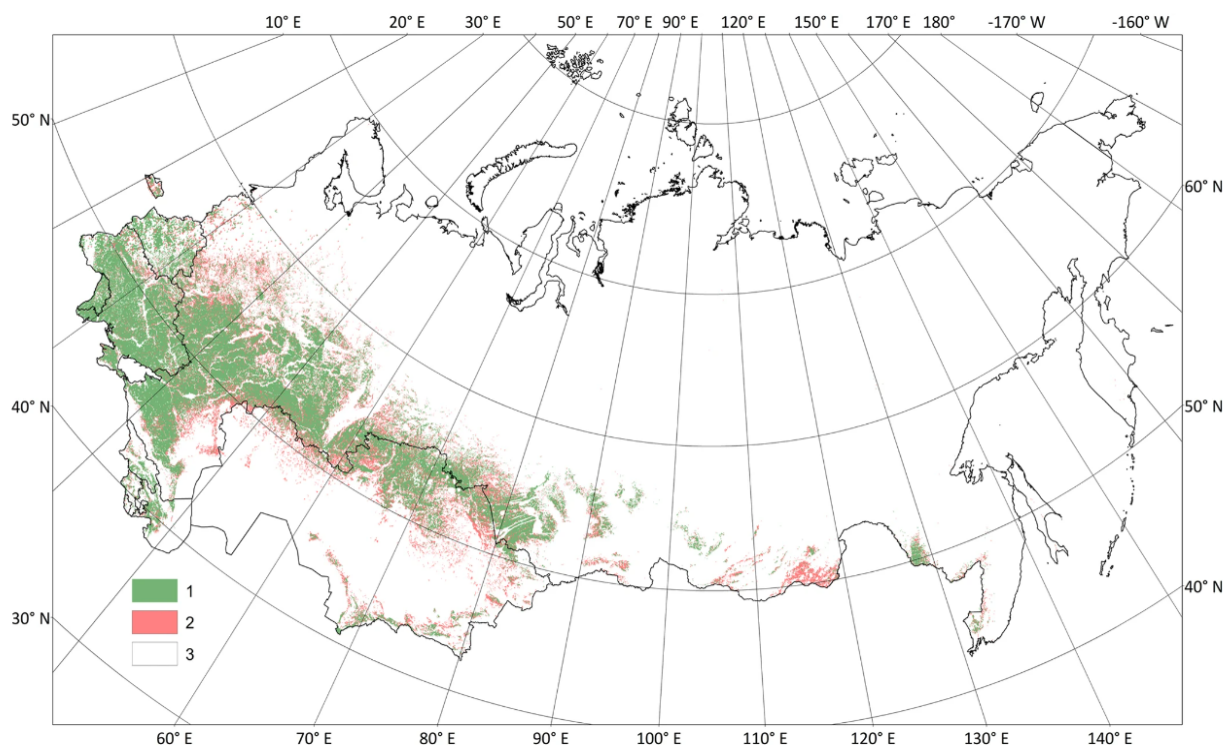


Рисунок 1. Пространственное распределение пахотных и заброшенных сельскохозяйственных угодий в странах бывшего СССР (1 – пахотные земли, 2 – заброшенные сельскохозяйственные земли, 3 – другие категории земель) [6]

Figure 1. Spatial distribution of arable and abandoned agricultural land in the countries of the former USSR

(1 – arable land, 2 – abandoned agricultural land, 3 – other categories of land) [6]

Вопросы заброшенных сельскохозяйственных земель не являются исключением и для территории Республики Башкортостан, особенно для Южного Предуралья, где традиционно наиболее активно ведется сельскохозяйственная деятельность [9]. Современное состояние агроэкосистем данной территории определяется своеобразными природно-климатическими условиями, которые обусловлены

такими факторами как расположение на стыке Восточно-Европейской равнины и Уральских гор, климатическим влиянием барьерного эффекта хребтов Южного Урала, изменяющимися во времени интенсивностью антропогенного воздействия на данные ландшафты [9].

На данный момент стоит задача возвращения этих земель обратно в сельскохозяйственный оборот.

Но этот переход (из залежного состояния в пашню) должен произойти путем научного обоснования. Изучение агрохимических и агрофизических параметров позволяет определить нынешнее состояние почвенного покрова, с целью принятия дальнейших мер. Это может быть внесение удобрений, известкование, мелиорация почв и т.д. [12].

Изученный нами ключевой участок расположен в Балтачевском районе Республики Башкортостан, на северо-западе республики. Климат данной территории семигумидный, природные почвы – серые лесные. Район всегда отличался высокой степенью сельскохозяйственной освоенности, растениеводством в частности. Реформы в сельском хозяйстве в 1990-е повлияли также и на эту территорию, часть сельскохозяйственных угодий оказалась не востребована. В результате этого на данных землях начались процессы самовосстановления, как почв, так и растительного покрова [9].

Как уже было указано выше, для изучаемой территории характерны серые лесные почвы. Серые лесные почвы формируются на данной территории под влиянием уникальных природных условий лесостепной зоны [13]. Серые лесные почвы Северной лесостепной зоны Республики Башкортостан отличительны тем, что для этой природной зоны характерно значительное количество получаемого тепла (величина суммарной солнечной радиации за год составляет от 3600 до 4000 МДж/м²) и влаги (годовое количество осадков составляет от 500 до 600 мм) [12]. Ещё одной особенностью серых лесных является их умеренно кислая среда (это фактор вынуждает применять мероприятия по известкованию при сельскохозяйственной деятельности). Также для серых лесных почв характерна относительно низкая водопроницаемость [12].

Вопросы происхождения серых лесных почв являются одним из самых дискуссионных. Во многом это связано с тем, что данные почвы распространены на стыке двух природных зон и возникают противоречивые взгляды при рассмотрении взаимоотношения леса и степи [12]. Серые лесные почвы Северной лесостепи Республики Башкортостан являются продуктом комбинации целого ряда факторов, различной силы и направленности. Данные факторы существовали вместе или же сменяли друг друга с течением времени. Развитие серых лесных почв определяется следующими процессами: аккумуляцией, лессиважем, выщелачиванием, оглиниванием, разрушением минеральной части [12]. При условиях периодического промывного режима, часть подвижных элементов питания выносятся за пределы профиля, поскольку почвы развиваются по элювиальному типу.

Серые лесные почвы, благодаря достаточно высокому плодородию, активно используются в сельском хозяйстве [12]. Территории на серых лесных почвах используются при возделывании зерновых, кормовых и плодовоовощных культур [11]. Несмотря на свое высокое плодородие, серые лесные почвы при ведении сельского хозяйства нуждаются в внесении органических и минеральных удобрений [12].

Отчуждение земель сельскохозяйственного назначения приводит к тому, что в этих землях начинаются процессы восстановления почвенного покрова. Данный процесс сопровождается трансформацией физических, химических и биологических

свойств почвенного покрова [14]. Интенсивность данных процессов определяется целым рядом физико-географических факторов (климатические, геоморфологические, гидротермические и иные условия), а также свойствами самой залежной почвы. В данной работе рассмотрены такие параметры и свойства почвенного покрова как: актуальная и потенциальная кислотность, содержание органического углерода, содержание гумуса и базальное дыхание почвы. Каждый из перечисленных факторов имеет огромную роль в формировании плодородия, продуктивности почвенного покрова, что важно для ведения сельского хозяйства, выгодного с экономической точки зрения. Далее более подробно рассмотрим эти факторы.

На развитие сельскохозяйственных культур, большое влияние оказывает кислотность почв (pH). Кислыми считаются те почвы, у которых значение pH ниже 7 [15]. Кислая реакция почв является одним из главных препятствий для получения с полей высокого урожая сельскохозяйственных культур. Практически все основные сельскохозяйственные культуры, выращиваемые в умеренном поясе, дают наибольший урожай при произрастании в почвах с слабокислой или же нейтральной средой (значение pH в данном случае составляет от 6 до 7). Когда среда имеет низкие значения pH, то происходит замедление разложения растительных остатков, а также снижение активности микроорганизмов. При кислой реакции происходит увеличение концентрации Al и Mn, что негативным образом влияет на растения. Высокое содержание Al способствует ухудшению качества получаемой продукции. Это выражается, например, в снижении содержания крахмала в картофеле, сахара в сахарной свекле, белка в бобовых культурах. Также происходит подавление образования хлорофилла [15].

Одним из самых ключевых компонентов почвы является, органическое вещество. Оно оказывает огромное влияние на физические, химические и биологические процессы в почвах. Высокое содержание органического вещества почвы является одним из главных факторов, способствующих получению высокого урожая с сельскохозяйственных угодий [16]. Почвенное органическое вещество (ПОВ) является залогом не только высокого уровня плодородия почв (данный фактор соответственно способствует и обеспечению продовольственной безопасности), но и положительным образом влияет на структуру почвы, препятствует эрозии. Составляющими почвенного органического вещества являются почвенные микробы, грибы, бактерии и продукты разложения наземной и подземной биомассы. ПОВ может находиться абсолютно в разных состояниях, от начавшего процесс разложения свежего растительного остатка до гумуса. Органические соединения ПОВ сильно обогащены углеродом. Содержание углерода в почве напрямую связано с количеством органического вещества [16].

Показателем, отражающим интенсивность минерализации почвенного органического вещества, является базальное дыхание почвы [17]. Базальное дыхание почв, это продуцирование CO₂. Эмиссия CO₂, обеспечивается дыхательными процессами корней растений и почвенной микрофлоры. Данный показатель является очень важным, так как позволяет понять процессы, связанные с функционированием почвенной биоты. Дыхание почвенных организмов, процессы минерализации в почве обеспечивают большой поток

CO₂ в атмосферу, а изучение данного процесса особенно актуально в свете глобального изменения климата [17]. Очень важное значение это имеет и для сельского хозяйства, так как одним из главных факторов, обеспечивающих высокое плодородие почв, является почвенная биота, соответственно изучение процессов, связанных с флорой и фауной почвенного покрова является необходимым [17].

Вопросам изучения почв заброшенных сельскохозяйственных угодий, постагрогенной трансформации почв посвящены статьи, диссертации, книги. Рассматриваются практически все параметры и свойства почвенного покрова. И.С. Урушевская с соавторами [18] изучали причину уменьшения органического вещества в серых лесных почвах, вследствие сокращения поступления растительных остатков в почву, а также включением в состав пахотного горизонта почвенной массы малогумусовых горизонтов. На глубокие коренные изменения в природном процессе почвообразования в результате вовлечения почв в сельскохозяйственный оборот указывает Ю.Г. Чендев [19; 20].

Ю.Н. Денисовым [11] дана агроэкологическая оценка залежных почв лесостепной зоны Челябинской области на основе многолетних исследований. Автор изучает залежные почвы данной территории с целью определения возможности возврата залежных земель обратно в сельскохозяйственный оборот. В работе исследовались черноземы выщелоченные и черноземы оподзоленные. Автор статьи в результате своих исследований делает следующие выводы: длительное пребывание почв в состоянии залежи (в данном случае черноземов обыкновенных и выщелоченных) приводит к изменениям видового состава растительного покрова, к возрастанию биологической активности почв, а также способствует накоплению органического углерода [11].

В.В. Токавчуком [21] проведена работа по оценке свойств серых почв на залежных землях лесостепной зоны Красноярского края, в условиях восстановления леса. Работа имеет комплексный характер, рассмотрено большинство почвенных свойств и параметров. В контексте нашей работы интересны следующие выводы: под влиянием восстанавливающегося леса в серых почвах автором отмечено уменьшение содержания гумуса, снижение насыщенности основаниями и содержания элементов питания, увеличения всех форм кислотности.

А.В. Сахаров и В.В. Мищенко рассматривали вопрос изменения серых лесных почв Западной Сибири (а именно подтаёжной зоны Зауралья) в результате смены агроценоза на биоценоз [22]. Исследователи отмечают тот факт, что перевод пашни в залежное состояние приводит к значительным изменениям почвенного покрова. Авторы указывают на тот факт, что с возрастом на залежи происходит смена травянистой растительности на древесную и данный факт напрямую влияет на содержание гумуса в залежных серых лесных почвах. При зарастании лесом происходит уменьшение гумуса. Так, в травянистой залежи содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 4,2 %, под березовым лесом происходит уменьшение этого показателя до 3,7 %, а под смешанным хвойно-лиственным лесом количество гумуса равно 3,4 %.

Приведенные выше обзоры научных статей показывают, что переход сельскохозяйственных угодий

в состояние залежи сопровождается изменением физических, химических и биологических свойств почв.

Данная исследовательская работа является актуальной, так как Правительством РФ поставлена задача возвращения залежных земель обратно в сельскохозяйственный оборот. Целью данной работы является анализ образцов почв из ключевого участка, находящийся на залежном поле, и на основе результатов анализа дать оценку нынешнего состояния агроэкосистемы. Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: отбор образцов почв на ключевом участке, морфологическое описание почвы исследуемого участка, проведение лабораторных анализов образцов почв.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемый участок находится на территории Балтачевского района Республики Башкортостан (рис. 3). Данная территория расположена в северо-восточной части Прибельской увалисто-волнистой равнины [23]. Климат района семигумидный, в незначительной степени засушливый [24]. Среднегодовая температура воздуха составляет +1,5°C (табл. 1). Среднегодовое количество осадков составляет 507 мм в год. Территория сложена глинами, мергелями уфимского яруса. Растительность представлена широколиственно-темнохвойными лесами, на серых лесных почвах. Район исследования относится к Северной лесостепной зоне Республики Башкортостан.

На исследуемом участке встречаются следующие виды растительности: клевер луговой (*Trifolium pratense*), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum*), безвкусица щирцевая (*Axyris amaranthoides*), иван-чай узколистный (*Epilobium angustifolium*), бедренец чужеземный (*Pimpinella peregrina*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), а также берёза повислая (*Betula pendula*) (рис. 2).

Почвообразующими породами для серых лесных почв являются преимущественно делювиальные отложения тяжелоглинистого гранулометрического состава [12].

Свойства делювиальных отложений играют одну из определяющих ролей при формировании серых лесных почв, которые по своему гранулометрическому составу глинистые и тяжелосуглинистые. Для них характерно значительное содержание ила, повышенное содержание крупной пыли при очень малом содержании песчаных фракций [12].

Полевые исследования были проведены в ноябре 2021-го года, в августе и октябре 2022 года. Был выбран ключевой участок, заброшенное сельскохозяйственное угодье, на территории Нижнекарышевского сельсовета Балтачевского района (рис. 6). Возраст залежи составляет приблизительно 5–10 лет. Данный участок представлен агросерыми почвами. Во время работ было отобрано 45 почвенных образцов (рис. 5), с горизонта РУ (глубина 10–20 см). Также для исследуемого ключевого участка было проведено морфологическое описание почвы. Мощность разреза составила 95 см (рис. 4). Выделяется 4 горизонта: АУра, АЕЛ, БЕЛ, ВТ, С. Результаты описания представлены в таблице 2.

После отбора, почвенные образцы были отправлены в г. Санкт-Петербург, для лабораторных исследований на кафедре прикладной экологии СПбГУ. Образцы были высушены при комнатной температуре, после этого была проведена работа по измельчению и просеиванию через сито, с размером отверстий 2 мм.

Далее были проведены лабораторные анализы образцов, с целью определения химических свойств

залежных почв исследуемого участка. Были исследованы следующие параметры:

- актуальная кислотность;
- потенциальная кислотность;
- базальное дыхание почвы;
- содержание органического вещества.

Таблица 1. Климатические данные по месяцам [25; 26]

Table 1. Climatic data by month [25; 26]

	Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October	Ноябрь November	Декабрь December
Средняя температура (°C) Average temperature (°C)	-12,3	-11	-4,2	3,8	12,4	17,2	19,8	17,8	11,8	4,1	-3,7	-10
Норма осадков (мм) Precipitation rate (mm)	52	44	49	42	60	74	69	68	66	77	65	56
Влажность (%) Humidity (%)	82	80	80	72	63	66	65	68	73	77	82	83



а



б



в



г

Рисунок 2. Некоторые виды из представителей растительного сообщества на ключевом участке:

а) вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), б) пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), в) клевер луговой (*Trifolium pratense*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*)

Figure 2. Some species from representatives of the plant community in the key area:

а) ground reed grass (*Calamagrostis epigejos*); б) common tansy (*Tanacetum vulgare*); в) red clover (*Trifolium pratense*); wild watercress (*Cirsium arvense*)

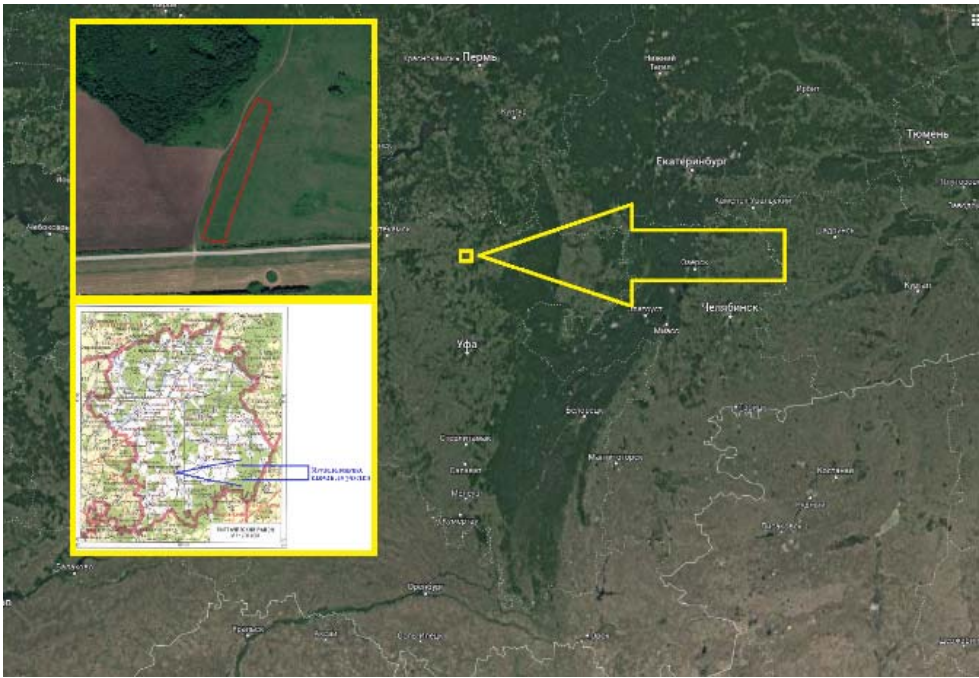


Рисунок 3. Географическое положение исследуемого участка
Figure 3. Geographical location of the study area

Таблица 2. Морфологическое описание почвы на ключевом участке
Table 2. Morphological description of the soil at the key site

Горизонты Horizons	Мощность Thickness	Цвет Colour	Гранулометрический состав Granulometric composition	Структура почвы Soil structure	Плотность почвы Soil density	Сложение почвы (по характеру пор) Soil composition (according to nature of the pores)	Сложение почвы (по характеру трещин) Soil composition (according to nature of cracks)	Химические новообразования Chemical neoplasms
АУра	0–20 см 0–20 cm	Серый Grey	Легкий суглинок Light loam	Орехо- ватая, зернистая Nutty, grainy	Уплот- ненная Compacted	Пористая Porous	Трещино- ватое Fissured	-
АЕL	20–30 см 20–30 cm	Серый, светло- бурый Grey, light brown	Легкий суглинок Light loam	Плитчатая Slab	Уплот- ненная Compacted	Ноздреватое Spongy	Трещино- ватое Fissured	-
ВЕL	30–42 см 30–42 cm	Светло- бурый Light brown	Легкий суглинок Light loam	Плитчатая Slab	Уплот- ненная Compacted	Ноздреватое Spongy	Трещино- ватое Fissured	-
ВТ	42–70 см 42–70 cm	Светло- бурый Light brown	Легкий суглинок Light loam	Плитчатая Slab	Плотная Dense	Тонкопористое Finely porous	Тонкотре- щинчатое Finely fissured	Светлые и белесоватые налеты Light and whitish deposits
С	70–95 см 70–95 cm	БурыйBr own	Средний суглинок Medium loam	Плитчатая Slab	Слитая Condensed	Тонкопористое Finely porous	Тонкотре- щинчатое Finely fissured	-

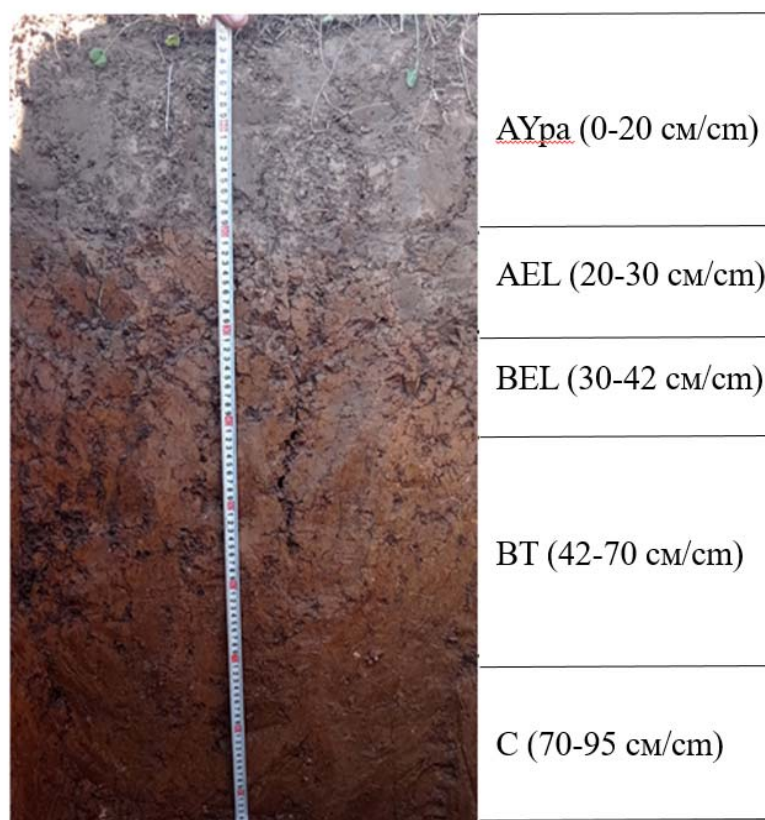


Рисунок 4. Почвенный разрез на ключевом участке

Figure 4. Soil section at the key site



Рисунок 5. Точки отбора проб почв на ключевом участке

Figure 5. Soil sampling points at the key site



Рисунок 6. Ключевой участок (заброшенное сельскохозяйственное угодье)

Figure 6. Key site (abandoned agricultural land)

Значения кислотности (рН), как актуальной, так и потенциальной, определялись измерением почвенной вытяжки с помощью рН-метра. При измерении рН рН-метром электрод прибора погружается в почвенный раствор. Полученные данные измерения записываются с точностью до 0,01 единицы кислотности. Для проведения данного вида измерений были приготовлены почвенные растворы для каждого образца. Растворы готовились в соотношении 1:2,5.

Значения эмиссии почвой CO_2 в лабораторных условиях определялась путем титрования [17]. Инкубация CO_2 проводилась в герметичных, пластиковых контейнерах, в которые были помещены почвы, смоченные с дистиллированной водой и раствор щелочи.

Для определения содержания углерода в почвенных образцах был использован метод Тюрина. Суть данного метода заключается в окислении углерода органического вещества почвы дихроматом калия. После этого дихромат калия оттитровывается раствором соли Мора.

Карты параметров, свойств почвы ключевого участка были составлены в геоинформационной системе QGIS.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во время полевого этапа исследований были отобраны образцы почв, был заложен почвенный разрез, для морфологического описания почвы изучаемого ключевого участка. Были выделены 4 горизонта (рис. 4). Вкратце опишем каждый из горизонтов. Для горизонта АУра характерен серый цвет, ореховатая и зернистая структура. Данный горизонт уплотнен, сложение почвы пористое, трещиноватое. Мощность горизонта составляет 15 см. Далее следует переходные от АУра к ВТ горизонты АЕI и ВЕI. Почва в данных горизонтах имеют оттенки серого и светло-бурого цвета. Структура плитчатая, почва уплотненная, по своему сложению ноздреватое, трещиноватое. Почвы горизонта ВТ плотные, для них характерна плитчатая структура, светло-серый цвет,

тонкопористое и тонкотрещиноватое сложение. Горизонт С также по своей структуре плитчатая, почва слитая, цвет бурый. По своему сложению тонкопористая и тонкотрещиноватая.

Практически для всего профиля также характерно наличие перегнойного вещества, кутан.

В результате лабораторных исследований, на основе полученных результатов были составлены карты. На картах можно увидеть пространственную неоднородность свойств почвенного покрова заброшенного сельскохозяйственного угодья.

Более подробно рассмотрим и проанализируем карты почвенных параметров. При анализе карты актуальной кислотности можно увидеть, что практически на всем ключевом участке почвы слабокислые (рис. 7). Несмотря на это, значения рН на изучаемой территории неоднородны и варьируются от 5,7 до 6,3. Значения потенциальной кислотности практически полностью коррелируются со значениями актуальной кислотности (рис. 8; табл. 3).

При анализе пространственного распределения содержания органического углерода и гумуса мы можем увидеть, что самое высокое содержание углерода наблюдается в юго-восточной части ключевого участка и составляет от 2 % до 3,25 %. Остальная территория участка имеет более низкие значения органического вещества (рис. 9).

Такой параметр как базальное дыхание почвы тоже распределено неоднородно на всем ключевом участке. Прослеживается определенная взаимосвязь с содержанием органического вещества в почвах, где выше его содержание, там же выше показатель дыхания почвы (рис. 10; табл. 3).

Как видно на рисунках, значения показателей неодинаковы, для них характерна пространственная неоднородность. Это обусловлено различными физико-географическими условиями, на уровне данной экосистемы [28].



Рисунок 7. Величины актуальной кислотности
Figure 7. Actual acidity values



Рисунок 8. Величины потенциальной кислотности
Figure 8. Potential acidity values



Рисунок 9. Значения содержания органического углерода в почве
Figure 9. Soil organic carbon values

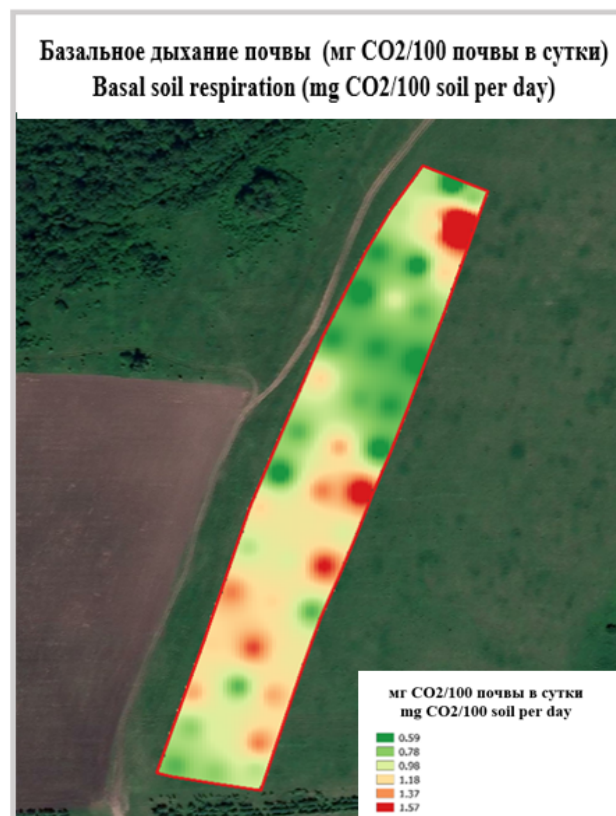


Рисунок 10. Значения базального дыхания почвы
Figure 10. Values of basal soil respiration

Таблица 3. Корреляционная связь свойств почвенного покрова ключевого участка
Table 3. Correlation between the properties of the soil cover in the key area

Корреляционная связь Correlation	рН актуальный pH of aqueous solution	рН потенциальный pH of saline solution	Базальное дыхание Basal respiration	Содержание углерода Carbon content	Содержание гумуса Humus content
рН актуальный pH of aqueous solution	1	0,61	-0,05	-0,16	-0,16
рН потенциальный pH of saline solution		1	0,06	0,06	0,06
Базальное дыхание Basal respiration			1	0,08	0,08
Содержание углерода Carbon content				1	1,00
Содержание гумуса Humus content					1

Рассмотрим для примера такой фактор как растительный покров. Для данного залежного участка характерно наличие берёз (берёзы повислой), возраста 5–10 лет (рис. 11) Как было рассмотрено выше, в своих научных работах В.В. Токачук [21], А.В. Сахаров и

В.В. Мищенко [22] отмечают тот факт, что с постепенной сменой травянистой растительности на древесную растительность, происходит уменьшение процентного содержания гумуса и происходит увеличение кислотности почв.



Рисунок 11. Берёза повислая (*Bétula péndula*) на заброшенном сельскохозяйственном угодье
Figure 11. Silver birch (*Bétula péndula*) on abandoned farmland

На рисунке 12 показана взаимосвязь показателя кислотности почв с пространственным распределением древесной растительности (в нашем случае берёзы). Темно-фиолетовые и светло-фиолетовые области соответствуют значениям pH от 6 до 6,5 (слабокислые, близкие к нейтральным), оранжевые и светло-оранжевые 5,5 до 6 (слабокислые). Деревья были выделены в результате дешифрирования в геоинформационной системе QGIS базовой спутниковой карты Google. При анализе карты сопоставления пространственной дифференциации значений кислотности почв с распространением берёз можно увидеть, что древесная растительность, как правило, распространена в тех местах, в которых значение pH ниже. Данное явление не имеет повсеместного характера при рассмотрении ключевого участка, однако можно отметить эту взаимосвязь. Действительно, учеными отмечается [29] факт влияния древесной растительности на кислотность почвенного покрова. Известно, что корневые выделения деревьев существенным образом влияют на изменение кислотности почв. Увеличение кислотности почв происходит также благодаря процессам обмена веществ почвенных микроорганизмов [30]. Наибольшая концентрация почвенной микрофлоры наблюдается

вблизи корневой системы деревьев [21]. Свою роль играет и тип подстилки [30].

При рассмотрении взаимосвязи содержания органического углерода с древесной растительностью (рис. 13), растущей в залежном поле, наблюдается следующая картина: в красных и оранжевых областях (где содержание углерода составляет от 2,3 до 3,5) берёзы не встречаются, а там, где значения органического углерода ниже, древесная растительность распространена больше. В какой-то степени подтверждается тезис из работы Токавчука [21], в котором утверждается, что с появлением древесной растительности на залежных почвах после продолжительного увеличения содержания углерода, гумуса (благодаря травостой), происходит уменьшение органического углерода в почвах. Прослеживается связь также и с тезисами работы Ф.Х. Хазиева и авторов [12], в которых подробно рассмотрена эволюция серых лесных почв. Там утверждается, что в ходе почвообразования наступление леса в значительной степени влияет на физические, химические, биологические свойства почвы. Безусловно, на содержание органического углерода этот процесс также оказывает огромное влияние.

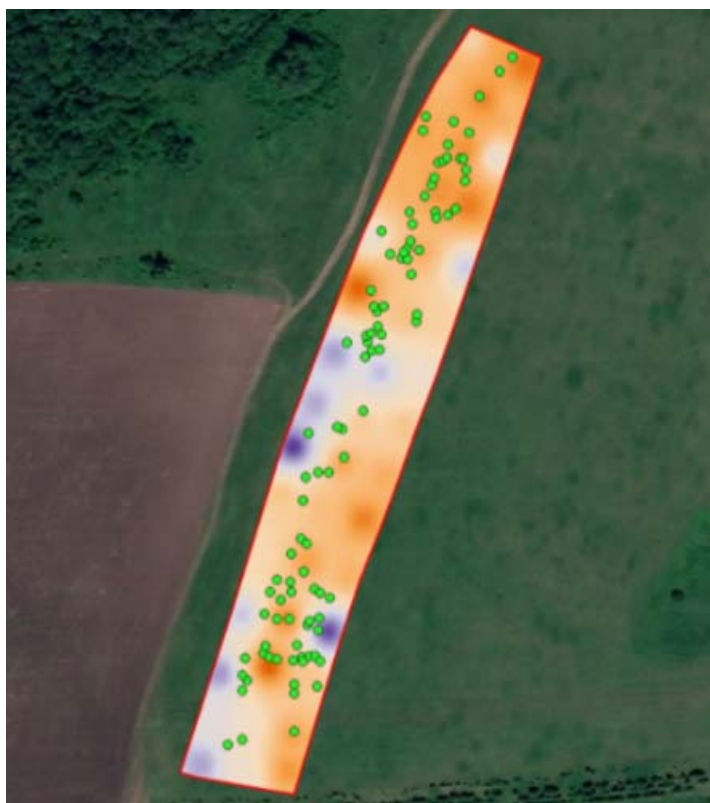


Рисунок 12. Связь пространственного распределения древесной растительности с кислотностью почв

Figure 12. Relationship between the spatial distribution of woody vegetation and soil acidity

На основе полученных в результате лабораторного анализа данных был проведен статистический анализ (табл. 4). В таблице указаны минимальные (Min), максимальные (Max), среднеарифметические (Mean) значения, а также коэффициенты вариации (CV) и стандартные отклонения (SD) данных.

Также был проведен кластерный анализ полученных данных (рис. 14). Метод кластерного



Рисунок 13. Связь древесной растительности с содержанием углерода в почве

Figure 13. Relationship of woody vegetation to soil carbon content

анализа заключается в разбиении множества предметов, объектов, на несколько однородных групп. В нашем случае количество объектов (почвенных проб) равно 45. В результате анализа были выделены три крупных кластера, близкие по определяющим критериям.

Таблица 4. Результаты статистического анализа полученных данных
Table 4. Results of statistical analysis of the data obtained

Значения Values	рН актуальный (водный) pH of aqueous solution	рН потенциальный (солевой) pH of saline solution	Базальное дыхание (мг CO ₂ /100 почвы в сутки) Basal respiration (mg CO ₂ /100 soil per day)	Содержание почвенного органического вещества (ПОВ) (%) Soil organic matter (SOM) content (%)
Min	5,74	4,71	0,40	0,01
Max	6,34	5,65	3,00	3,87
Mean	5,96	4,93	1,00	1,76
CV	0,03	0,03	0,46	0,66
SD	0,15	0,17	0,46	1,16

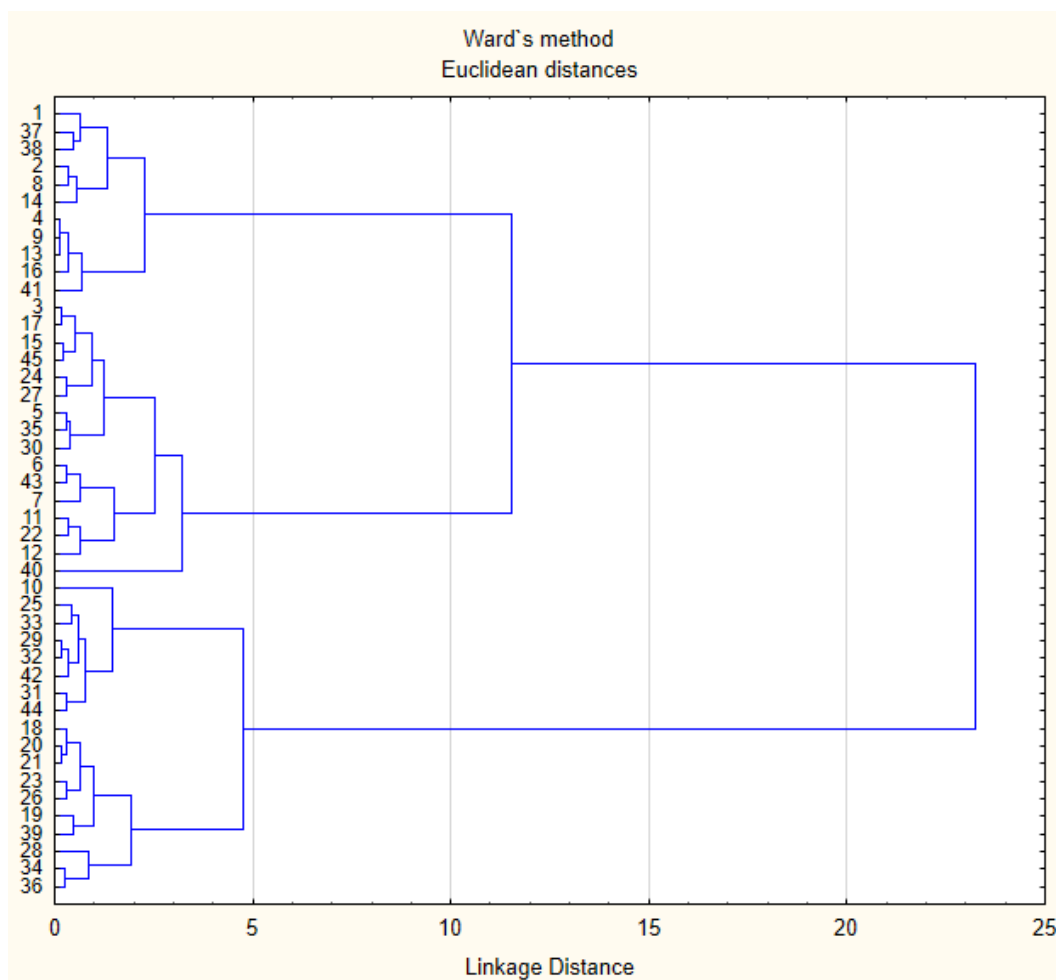


Рисунок 14. Кластерный анализ данных
Figure 14. Cluster analysis of data

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной научной статье были приведены результаты анализов проб залежных почв Республики Башкортостан. Всего на ключевом участке было отобрано и проанализировано 45 почвенных образцов, а также был заложен почвенный профиль, для морфологического описания почвы ключевого участка исследования. Участок представлен агросерыми почвами. Полученные результаты показали пространственную неоднородность распределения свойств почвенного покрова (актуальной и потенциальной кислотности, базального дыхания, содержания углерода и гумуса) на исследуемом участке. Такая неоднородность складывается под воздействием комплекса физико-географических факторов. Резуль-

таты корреляционного анализа показывают прямую связь значений актуальной кислотности с потенциальной кислотностью и взаимосвязь базального дыхания с содержанием органического вещества.

В дальнейшем наши исследования также будут посвящены изучению залежных земель на серых лесных почвах. Необходимо сделать упор на изучении взаимосвязи свойств почвенного покрова с растительными сообществами и геолого-геоморфологическими условиями. Изучение различных физико-географических факторов, влияющих на почвенный покров, позволит более детально описать весь механизм, эволюцию почв заброшенных сельскохозяйственных земель.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование проводилось при поддержке НЦМУ «Агротехнологии будущего» договор № 075-15-2022-322 от 22.04.2022.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with the support of the World-class Scientific Center «Agrotechnologies for the Future», agreement No. 075-15-2022-322 dated 22.04.2022.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ahammad H., Heyhoe E., Nelson G., Sands R., Fujimori S., Hasegawa T., van der Mensbrugghe D., Blanc E., Havlík P., Valin H., Kyle P., Mason d' croz D., van Meijl H., Schmita C., Lotze-Campen H., von Lampe M., Tabeau A. The role of international trade under a changing climate: insights from global economic modelling. In: Elbehri A., ed. Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade. Rome, FAO. 2015. P. 293–312.
2. Rosenzweig M.R., Binswanger H.P. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments // *Economic Journal*. 1993. P. 56–78.
3. Гулянов Ю.А. Изменение региональных климатических условий и продуктивность озимой пшеницы в степной зоне Европейской России // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. N 4(28). С. 58–68. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-58-68.
4. Продовольственный кризис. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-and-wfp-warn-of-looming-widespread-food-crisis-as-hunger-threatens-stability-in-dozens-of-countries/ru> (дата обращения: 15.10.2022)
5. Kamp J. Weighing up reuse of Soviet croplands. *Nature*. 2014. V. 505. <https://doi.org/10.1038/505483d>.
6. Lesiv M., Schepaschenko D., Moltchanova E., et al. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries // *Scientific Data*. 2018. Article ID: 180056. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.56>
7. Федеральная программа «Вторая целина». URL: <http://government.ru/news/45073/> (дата обращения: 15.10.2022)
8. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe // *Environmental Research Letters*. 2012. N 7(2). Article ID: 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021
9. Япаров И.М., Вильданов И.Р., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю. Состояние и особенности динамики заброшенных сельскохозяйственных ландшафтов лесостепей Башкирского Предуралья // *Вестн. Забайкал. гос. ун-та*. 2017. Т. 23. N 11. С. 28–36.
10. Некрич А.С., Люри Д.И. Изменения динамики аграрных угодий России в 1990–2014 // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2019. N 3. С. 64–77.
11. Денисов Ю.Н. Агроэкологическая оценка залежных почв Челябинской области // *Агрохимический вестник*. 2016. N 5. С. 6–9.
12. Хазиев Ф.Х., Рамазанов Р.Я., Кольцова Г.А., Багаутдинов Ф.Я., Хабиров И.К., Агафарова Я.М., Габбасова И.М. Воспроизводство плодородия серых лесных почв. Уфа: Гилем, 1999. 158 с.
13. Иванов И.В., Александровский А.Л., Макеев А.О., Булгаков Д.С., Абакумов Е.В. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 915 с.

14. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Васенев В.И., Саржанов Д.А. Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях // *Агрофизика*. 2016. N 4. С. 17–23.
15. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Изд. 2-е, испр. и доп. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.
16. Основы почвоведения и географии почв / Под ред. С. П. Кулижского и А. Н. Рудого. Томск: Изд-во ТГПУ, 2004. 384 с.
17. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Zhmurin V.A., Kudeyarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of Current Climate Trends // *Eurasian Soil Science*. 2020. V. 53. N 10. P. 1421–1436. DOI: 10.1134/S1064229320100117
18. Урусевская И.С., Мешалкина Ю.Л., Хохлова О.С. Географо-генетические особенности гумусного состояния серых лесных почв // *Почвоведение*. 2000. N 11. С. 1377–1390.
19. Чендев Ю.Г. Агротехногенное изменение темно-серых лесных почв Центральной лесостепи за последние 200 лет // *Почвоведение*. 1997. N 1. С. 10–21.
20. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части среднерусской возвышенности // *Почвоведение*. 2011. N 1. С. 3–15.
21. Токачук В.В. Оценка свойств серых почв при восстановлении леса на залежных землях лесостепной зоны. URL: <https://www.dissercat.com/content/otsenka-svoistv-serykh-pochv-pri-vostanovlenii-lesa-na-zaleznykh-zemlyakh-lesostepnoi-zony/read> (дата обращения: 15.06.2022)
22. Сахаров А.В., Мищенко В.В. Изменение серых лесных почв Западной Сибири в результате смены агроценоза на биоценоз. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46142939> (дата обращения: 16.06.2022)
23. Атлас Республики Башкортостан. Под ред. Япарова И.М. Уфа: Китап, 2005. 419 с.
24. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 460 с.
25. Метеорологические данные (NOAA). URL: <https://www.nci.noaa.gov/maps/monthly-summaries/> (дата обращения: 21.10.2022)
26. Метеорологические данные (NASA POWER Data Access Viewer). URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 22.10.2022)
27. Palm C., Sanchez P., Ahamed S., Awiti A. Soils: A contemporary perspective // *Annual Review of Environment and Resources*. 2007. N 32. P. 99–129.
28. Developments in Soil Science. URL: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-soil-science> (дата обращения: 17.10.2022)
29. Паркина И.Н. Особенности биологической активности почвы в фитогенном поле березы повислой. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biologicheskoy-aktivnosti-pochvy-v-fitogenom-pole-berezy-povisloy/viewer> (дата обращения: 05.07.2022)
30. Environmental Soil Chemistry. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780126564464/environmental-soil-chemistry> (дата обращения: 16.10.2022)

REFERENCES

1. Ahammad H., Heyhoe E., Nelson G., Sands R., Fujimori S., Hasegawa T., van der Mensbrugghe D., Blanc E., Havlík P., Valin H., Kyle P., Mason d' croz D., van Meijl H., Schmita C.,

- Lotze-Campen H., von Lampe M., Tabeau A. The role of international trade under a changing climate: insights from global economic modeling. In: [Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade]. Rome, FAO Publ., 2015, pp. 293–312.
2. Rosenzweig M.R., Binswanger H.P. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments. *Economic Journal*. 1993, pp. 56–78.
 3. Gulyanov Yu.A. Changes in regional climatic conditions and productivity of winter wheat in the steppe zone of European Russia. *Tauride Bulletin of Agrarian Science*, 2021, no. 4(28), pp. 58–68. (In Russian)
<https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-4-28-58-68>.
 4. *Prodovol'stvennyi krizis* [Food crisis]. Available at: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-and-wfp-warn-of-looming-widespread-food-crisis-as-hunger-threatens-stability-in-dozens-of-countries/> ru (accessed 15.10.2022)
 5. Kamp J. Weighing up reuse of Soviet croplands. *Nature*, 2014, vol. 505. <https://doi.org/10.1038/505483d>.
 6. Lesiv M., Schepaschenko D., Moltchanova E., et al. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. *Scientific Data*, 2018, article id: 180056. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.56>
 7. *Federal'naya programma «Vtoraya tselina»* [Federal program «Second Virgin Land»]. Available at: <http://government.ru/news/45073/> (accessed 15.10.2022)
 8. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post- Soviet Eastern Europe. *Environmental Research Letters*, 2012, no. 7(2), Article ID: 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021
 9. Yaparov I.M., Vildanov I.R., Suleimanov R.R., Saifullin I.Yu. State and features of the dynamics of abandoned agricultural landscapes of the forest-steppes of the Bashkir Cis-Urals. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University]. 2017, vol. 23, no. 11, pp. 28–36. (In Russian)
 10. Nekrich A.S., Lyuri D.I. Changes in the dynamics of agricultural land in Russia in 1990–2014. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya* [Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya]. 2019, no. 3, pp. 64–77. (In Russian)
 11. Denisov Yu.N. Agroecological assessment of fallow soils in the Chelyabinsk region. [Agrochemical Bulletin]. 2016, no. 5, pp. 6–9. (In Russian)
 12. Khaziev F.Kh., Ramazanov R.Ya., Koltsova G.A., Bagautdinov F.Ya., Khabirov I.K., Agafarova Ya.M., Gabbasova I.M. *Vosproizvodstvo plodorodiya serykh lesnykh pochv* [Reproduction of fertility of gray forest soils]. Ufa, Gilem, 1999, 158 p. (In Russian)
 13. Ivanov I.V., Aleksandrovskii A.L., Makeev A.O., Bulgakov D.S., Abakumov E.V. *Evolutsiya pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochv* [Evolution of soils and soil cover. Theory, diversity of natural evolution and anthropogenic soil transformations]. Moscow, GEOS Publ., 2015, 915 p. (In Russian)
 14. Sushko S.V., Anan'eva N.D., Ivaschenko K.V., Vasenev V.I., Sarzhanov D.A. Microbial respiration of soil in field and laboratory conditions. *Agrofizika* [Agrophysics]. 2016, no. 4, pp. 17–23. (In Russian)
 15. Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Trofimov S.Ya. *Pochvennaya kislotnost'. Kislotno-osnovnaya bufernost' pochv. Soedineniya alyuminiya v tverdoi faze pochvy i v pochvennom rastvore* [Soil acidity. Acid-base buffer capacity of soils. Aluminum compounds in the solid phase of the soil and in the soil solution]. Tula, Grif i K Publ., 2012, 2nd ed., 124 p. (In Russian)
 16. Kulizhskii S.P., Rudogo A.N., eds. *Osnovy pochvovedeniya i geografii pochv* [Fundamentals of Soil Science and Soil Geography]. Tomsk, TSPU Press Publ., 2004, 384 p. (In Russian)
 17. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Zhmurin V.A., Kudayarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Priksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of current climate trends. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 10, pp. 1421–1436. (In Russian)
<https://doi.org/10.1134/S1064229320100117>
 18. Urusevskaya I.S., Meshalkina Yu.L., Khokhlova O.S. Geographic and genetic features of the humus state of gray forest soils. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 2000, no. 11, pp. 1377–1390. (In Russian)
 19. Chendev Yu.G. Agrotechnogenic change in dark gray forest soils of the Central Forest-Steppe over the past 200 years. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1997, no. 1, pp. 10–21. (In Russian)
 20. Chendev Yu.G., Aleksandrovskii A.L., Khokhlova O.S., Smirnova L.G., Novykh L.L., Dolgikh A.V. Anthropogenic evolution of gray forest-steppe soils in the southern part of the Central Russian Upland. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 2011, no. 1, pp. 3–15. (In Russian)
 21. Tokavchuk V.V. *Otsenka svoistv serykh pochv pri vosstanovlenii lesa na zaleznykh zemlyakh lesostepnoi zony* [Evaluation of the properties of gray soils during the restoration of forests on fallow lands of the forest-steppe zone]. Available at: <https://www.disscat.com/content/otsenka-svoistv-serykh-pochv-pri-vosstanovlenii-lesa-na-zaleznykh-zemlyakh-lesostepnoi-zony/read> (accessed 15.06.2022)
 22. Sakharov A.V., Mishchenko V.V. *Izmenenie serykh lesnykh pochv Zapadnoi Sibiri v rezul'tate smeny agrotsenoza na biotsenoz* [Changes in the gray forest soils of Western Siberia as a result of the change from agrocenosis to biocenosis]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46142939> (accessed 16.06.2022)
 23. Yaparov I.M. ed. *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Kitap Publ., 2005, 419 p. (In Russian)
 24. Dobrovolskii G.V., Urusevskaya I.S. *Geografiya pochv* [Soil geography]. Moscow, Moscow university Publ., 2004, 460 p. (In Russian)
 25. *Meteorological Data (NOAA)*. Available at: <https://www.ncei.noaa.gov/maps/monthly-summaries/> (accessed 21.10.2022)
 26. *Meteorological data (NASA POWER Data Access Viewer)*. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 22.10.2022)
 27. Palm C., Sanchez P., Ahamed S., Awiti A. Soils: A contemporary perspective. *Annual Review of Environment and Resources*. 2007, no. 32, pp. 99–129.
 28. *Developments in Soil Science*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-soil-science> (accessed 17.10.2022)
 29. Parkina I.N. *Osobennosti biologicheskoi aktivnosti pochvy v fitogennom pole berezy povislloi* [Features of the biological activity of the soil in the phytogenic field of silver birch]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biologicheskoy-aktivnosti-pochvy-v-fitogennom-pole-berezy-povislloi/viewer> (accessed 05.07.2022)
 30. *Environmental Soil Chemistry*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780126564464/envir-onmental-soil-chemistry> (accessed 16.10.20)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Айдар Ф. Гумеров участвовал в полевых исследованиях, в анализе данных, написал рукопись. Тимур И. Низамутдинов и Евгений В. Абакумов участвовали в анализе данных, корректировали рукопись. Руслан Р. Сулейманов участвовал в полевых исследованиях, корректировал 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

Aidar F. Gumerov participated in field research and data analysis and wrote the manuscript. Timur I. Nizamutdinov and Evgeny V. Abakumov participated in data analysis and proofreading of the manuscript. Ruslan R. Suleymanov participated in field research and proofreading of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Айдар Ф. Гумеров / Aidar F. Gumerov <https://orcid.org/0000-0001-8494-8314>
Тимур И. Низамутдинов / Timur I. Nizamutdinov <https://orcid.org/0000-0003-2600-5494>
Евгений В. Абакумов / Evgeny V. Abakumov <https://orcid.org/0000-0002-5248-9018>
Руслан Р. Сулейманов / Ruslan R. Suleymanov <https://orcid.org/0000-0002-7754-0406>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 632.4.01/.08

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза

Галина В. Волкова, Ольга А. Кудинова, Олеся О. Игнатьева, Валерия Д. Агапова,
Екатерина В. Гладкова, Ольга Ф. Ваганова, Ирина П. Матвеева

Федеральный научный центр биологической защиты растений (ФГБНУ ФНЦБЗР), Краснодар, Россия

Контактное лицо

Ольга А. Кудинова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350040 Россия, г. Краснодар, ул. ВНИИБЗР, 1.

Тел. +79649031234

Email alosa@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>

Формат цитирования

Волкова Г.В., Кудинова О.А., Игнатьева О.О., Агапова В.Д., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Матвеева И.П. Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 161-172. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Получена 4 августа 2023 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале из коллекции ВИР и селекционных центров юга России в разные фазы онтогенеза и выявить новые источники с групповой устойчивостью.

Материал и методы. Проанализирована устойчивость 158 образцов пшеницы и тритикале из коллекции ВИР и южных селекционных центров к популяциям бурой, стеблевой и желтой ржавчины в разные фазы онтогенеза в течение 2016–2019 гг. В ювенильной фазе изучаемые образцы в условиях камеры искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР инокулировали популяциями ржавчинных грибов и отмечали тип реакции растений на поражение, в полевых условиях образцы оценивали по методике CIMMYT на искусственном инфекционном фоне.

Результаты. В фазу взрослых растений в условиях поля было выявлено 79 образцов пшеницы и тритикале с групповой устойчивостью к трем ржавчинам, в ювенильную фазу – 26 образцов. 22 образца обладают устойчивостью к трем ржавчинам и в обе фазы онтогенеза. Из них 5 образцов принадлежат коллекции ВИР, 3 сорта озимой тритикале (Дозор, Князь, Сват) и сорт пшеницы Кавалерка селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», 9 линий от ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБНУ ФРАНЦ и 4 сорта озимой тритикале (Атаман Платов, Зимогор, Капрал, Легион) селекции ФГБНУ ФРАНЦ.

Заключение. Выявленные образцы пшеницы и тритикале, обладающие групповой устойчивостью, являются перспективными для использования в селекции на иммунитет к ржавчинным болезням.

Ключевые слова

Пшеница, тритикале, бурая ржавчина, желтая ржавчина, стеблевая ржавчина, *Puccinia triticae*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia graminis*, устойчивость, популяция.

Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages

Galina V. Volkova, Olga A. Kudinova, Olesya O. Ignatieva, Valeriya D. Agapova,
Ekaterina V. Gladkova, Olga F. Vaganova and Irina P. Matveeva

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Olga A. Kudinova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; 1 VNIIBZR St, Krasnodar, Russia 350040.

Tel. +79649031234

Email alosa@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>

How to cite this article

Volkova G.V., Kudinova O.A., Ignatieva O.O., Agapova V.D., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Matveeva I.P. Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 161-172. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Received 4 August 2023

Revised 14 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To study resistance to leaf, yellow and stem rusts of winter and spring wheat and winter triticale samples from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and breeding centres of southern Russia in different phases of ontogenesis and to identify new sources with group resistance.

Material and Methods. The resistance of 158 wheat and triticale samples from the VIR collection and southern breeding centres to populations of leaf, stem and yellow rusts in different plant growth stages was analysed. In the juvenile phase the samples studied were inoculated with populations of rust fungi in climate chambers of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection and the type of plant reaction to lesions was noted. In field conditions the samples were evaluated according to the CIMMYT scale on an artificial infectious background.

Results. In the adult plant stage under field conditions 79 wheat and triticale samples with group resistance to leaf, yellow and stem rusts were identified, and in the juvenile stage 26 samples. 22 samples showed resistance to three rusts in both phases of ontogenesis. Of these, 5 samples belong to the VIR collection, 3 winter triticale varieties (Dozor, Knyaz, Svat) and the Kavalierka wheat variety selection of the P.P. Lukyanenko National Grain Centre, 9 lines from the Donskoy Agrarian Research Centre and the Federal Rostov Agrarian Research Centre, and 4 winter triticale varieties (Ataman Platov, Zimogor, Kapral, Legion) of selections of the Federal Rostov Agrarian Research Centre.

Conclusion. The samples of wheat and winter triticale with group resistance which have been identified are promising for use in breeding for immunity to rust diseases.

Key Words

Wheat, triticale, leaf rust, stripe rust, stem rust, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia graminis*, resistance, population.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница – одна из наиболее широко возделываемых зерновых культур в мире, годовой объем производства которой составляет около 761 млн тонн [1]. Южный регион, имеющий наиболее благоприятные климатические условия, является основным поставщиком зерна в России. Тритикале – искусственный амфиплоидный гибрид, полученный в результате скрещивания женской родительской гексаплоидной или тетраплоидной пшеницы (*Triticum* sp.) и ржи мужского пола (*Secale cereale* L.) [2]. Хотя 90 % посевных площадей тритикале находится в Европе [3], для России тритикале также является перспективной культурой [4]. Её преимуществом является высокая урожайность зерна и экологическая пластичность [5]. При этом тритикале, подобно пшенице, поражается различными грибными болезнями. Ржавчины пшеницы, среди которых желтая (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), бурая (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*) и стеблевая (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), широко распространены и считаются самыми вредоносными патогенами пшеницы и тритикале в мире [6]. Ржавчины вызывают серьезные потери урожая, угрожая продовольственной безопасности [7; 8].

Стеблевая ржавчина (*P. graminis*) исторически является наиболее опасным заболеванием пшеницы [9], она единственная из всех ржавчин способна вызвать гибель растения [10]. Ежегодные потери урожая могут достигать 30–40 % и более [11]. Современные средства позволяют эффективно контролировать патоген, однако с обнаружением угандийской расы *Ug99*, вирулентной к *Sr31*, болезнь вновь стала серьезной угрозой, поскольку гены устойчивости к стеблевой ржавчине теряют свою эффективность [12; 13]. Более 80 % пшеницы в мире является восприимчивой к *Ug99* [14].

В России стеблевая ржавчина не имела экономического значения в южном и центральном регионах России, но начиная с 2010 года в центральном регионе периодически отмечаются вспышки заболевания [15]. В Уральском и Сибирском регионах, начиная с 2008 года, болезнь регистрируется ежегодно [16].

Желтая ржавчина пшеницы (*P. striiformis*) также является экономически важным заболеванием, приводящем к существенным производственным потерям урожая [1; 17; 18]. Наиболее благоприятным для развития заболевания является прохладный климат, однако желтая ржавчина распространена на всех континентах и встречается во всех зерносеющих регионах мира [19; 20]. По данным Beddow с соавторами [21], более 80 % мирового производства зерна находится под угрозой заражения желтой ржавчиной, а ежегодный ущерб от данного заболевания оценивается более чем в один млрд. долларов США. В России патоген исторически регистрировался в основном на Северном Кавказе [22].

Бурая ржавчина (*P. triticina*) представляет собой потенциальный риск для производства пшеницы во всем мире [23]. Появление новых рас с повышенной вирулентностью представляет дополнительный риск для производства пшеницы. Известны различные расы этого патогена, вызывающие серьезные потери урожая [24]. В Азии потенциальные площади поражения бурой и желтой ржавчиной могут составлять 60 (63 %) и 43 (46 %) миллионов гектаров соответственно, при выращивании восприимчивых сортов [25]. Потери

урожая при благоприятных условиях и высокой степени развития заболевания составляют более 40 % [26].

Использование устойчивых сортов является самым экономически выгодным и экологически безопасным методом борьбы с ржавчиной. Для эффективной селекции сортов, устойчивых к ржавчинным заболеваниям, большое значение имеют источники устойчивости, обеспечивающие эффективную и длительную защиту культуры от патогенов [1; 27]. Вавилов Н.И. в своих исследованиях говорил о том, что наиболее надежными источниками следует считать диких сородичей культурных растений. Дикорастущие виды пшеницы часто обладают устойчивостью к ржавчинам и другим болезням и служат своего рода «банком» генетического разнообразия [28]. Коллекция генетических ресурсов пшеницы ВИР является ценнейшим пулом для селекции культуры по различным признакам [29]. Исследования коллекционных образцов с целью выявления устойчивости к ржавчинам для дальнейшего использования в селекции проводится во многих регионах. Например, в Омске изучили 103 образца пшеницы из 13 стран на предмет устойчивости к бурой ржавчине с целью дальнейшего использования полученных линий для селекции в Западно-Сибирском регионе [30]. Устойчивость к четырем болезням (бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз и гельминтоспориоз) была изучена у 174 образцов пшеницы четырех видов [31].

Цель наших исследований – изучить устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале из коллекции ВИР и различных селекционных центров юга России в разные фазы онтогенеза и выявить новые источники с групповой устойчивостью к фитопатогенам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Погодные условия. Погодные условия вегетационных сезонов 2016–2019 гг. (по данным метеостанции ФГБНУ ФНЦБЗР) представлены на рисунке 1.

Частые дожди и пониженный температурный режим в июне 2016 г. задерживали созревание озимых зерновых культур и создавали благоприятные условия для развития фитопатогенов. В июне 2017 и с апреля по июнь 2018 гг. отмечен недобор осадков. Сочетание высоких температур со значительным недостатком влаги в почве привело к ускоренному созреванию озимых и снижению развития ржавчинных болезней на естественном фоне. В 2019 году погодные условия сложились благоприятно для развития фитопатогенов на сельскохозяйственных культурах.

Материалом исследования являлись северокавказские популяции возбудителей желтой, бурой и стеблевой ржавчины, полученные путем сбора пораженных листьев во время ежегодных маршрутных обследований производственных и селекционных посевов озимой пшеницы на территории Краснодарского края, Ставропольского края и Ростовской области. Смесь пораженных листьев каждой из ржавчин приживлялась на восприимчивом сорте. Для бурой ржавчины использовали сорт Мичиган Амбер, для желтой ржавчины – сорт Kaw, для стеблевой ржавчины – сорт Гелиос. Объектом исследования являлись 158 сортообразцов пшеницы и тритикале из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова и селекционных центров России, в том числе 57 образцов из Федераль-

ного государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), 46 сортов и линий от Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»), 14 сортов озимой пшеницы и 6 сортов озимой тритикале селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»), 15 сортов и линий селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-

Кавказский федеральный научный аграрный центр» (ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»), 2 сорта озимой пшеницы, 5 линий и 10 сортов озимой тритикале селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ). Сортообразцы пшеницы и тритикале в полевых условиях были оценены на устойчивость к трем ржавчинам в течение 2016–2019 гг. на искусственном инфекционном фоне. Отобранные в результате скрининга на устойчивость в полевых условиях образцы были оценены на устойчивость к ржавчинам в ювенильную фазу.

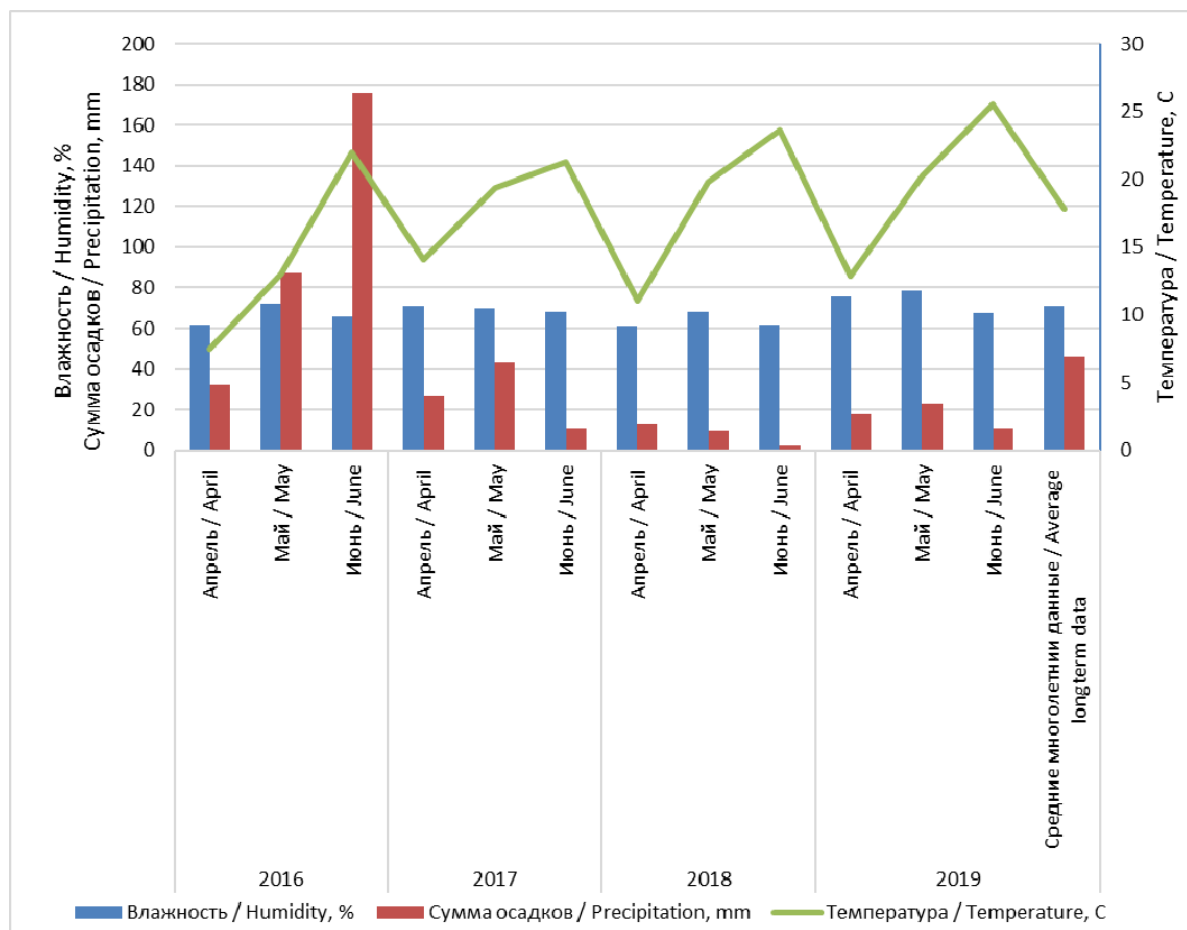


Рисунок 1. Погодные условия вегетационных сезонов 2016–2019 гг. (по данным метеостанции ФГБНУ ФНЦБЗР)

Figure 1. Weather conditions of the growing seasons 2016–2019 (according to the weather station of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection)

Оценка устойчивости к ржавчинам во взрослом состоянии проводилась на полевом стационаре ФГБНУ ФНЦБЗР в условиях искусственного инфекционного фона. Исследуемые сортообразцы высевали на делянках площадью 1 м². Через каждые 10 делянок высевали восприимчивый сорт, служивший накопителем инфекции. Восприимчивые сорта для каждого патогена смотрите выше. Инокуляцию растений проводили весной в фазы GS32–GS37 по Задоксу [32] при температуре 10–15°C (для желтой ржавчины), +18 +20°C (для бурой ржавчины) и +20 +25°C (для стеблевой ржавчины). Для внедрения патогена продолжительность влажного периода составляла не менее 6 часов. Для создания инфекционного фона ржавчин пшеницы в полевых условиях использовали смесь урединиоспор с тальком в соотношении 1:100

при нагрузке 10 мг спор/м² и 5 мг спор/м² для стеблевой ржавчины [33]. Участок инфекционного фона каждого патогена находился в необходимой для проведения исследования пространственной изоляции.

Иммунологическую оценку сортов проводили в период максимального развития болезни, в конце мая – начале июня в фазы развития пшеницы GS71–GS77. Тип поражения и степень развития патогенов проводили по методике, разработанной СИММУТ [34]. При этом для бурой и стеблевой ржавчин использовали следующую шкалу: 0 – заболевание отсутствует; R – мелкие урединии с некрозом; MR – умеренный размер урединий с некрозом; MS – умеренный размер урединий с хлорозом; S – крупные урединии. Для желтой ржавчины использовали общепринятую четырех балльную шкалу [35].

Оценка устойчивости к ржавчинам в ювенильной стадии. Инфекционный материал каждого патогена размножали в условиях тепличного комплекса ФГБНУ ФНЦБЗР на восприимчивых сортах (Мичиган Амбер – бурая ржавчина, Kaw – желтая ржавчина и Гелиос – стеблевая ржавчина) в необходимом количестве.

Семена каждого образца предварительно замачивали в течение 24 часов, затем высевали по 5 растений в 25 мл вазон на гидропонике. Растения в фазе одного листа инокулировали смесью спор популяций каждого патогена. Зараженные растения помещали во влажную камеру на 12–16 часов, при температуре 13–16°C для желтой и 16–18°C для бурой и стеблевой ржавчин. Затем образцы выращивали в климатических камерах BINDER KBF 720. Для желтой ржавчины была установлена температура в пределах 15–18°C, для бурой ржавчины пшеницы – 18–20°C, для стеблевой – 20–25°C, влажность для всех патогенов составляла 60–80 %, интенсивность освещения – 15 тыс. лк. [36]. На 10–14-й день фиксировали инфекционные типы для каждого патогена в соответствии с их шкалами. Для желтой ржавчины использовали шкалу Гасснера и Штрайба [37], для бурой – Майнса и

Джексона [38] и для стеблевой Стекмана и Левина [39]. Сорта с типом реакций I, 0, 1 и 2 балла, считали устойчивыми, а 3 и 4 – восприимчивыми.

В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://ckp-rf.ru/usu/671925/>) и объекты БРК ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях поля и камеры искусственного климата на искусственном инфекционном фоне к трем ржавчинам было оценено 158 образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале различной селекции. В полевых условиях к бурой ржавчине большинство образцов (151) показали устойчивую реакцию, хотя восприимчивый сорт Michigan amber был поражен на 80 %. К желтой и стеблевой ржавчинам найдено 110 и 113 устойчивых образцов соответственно. На рисунке 2 показаны сводные данные по групповой устойчивости сортообразцов к трем ржавчинам в полевых условиях.

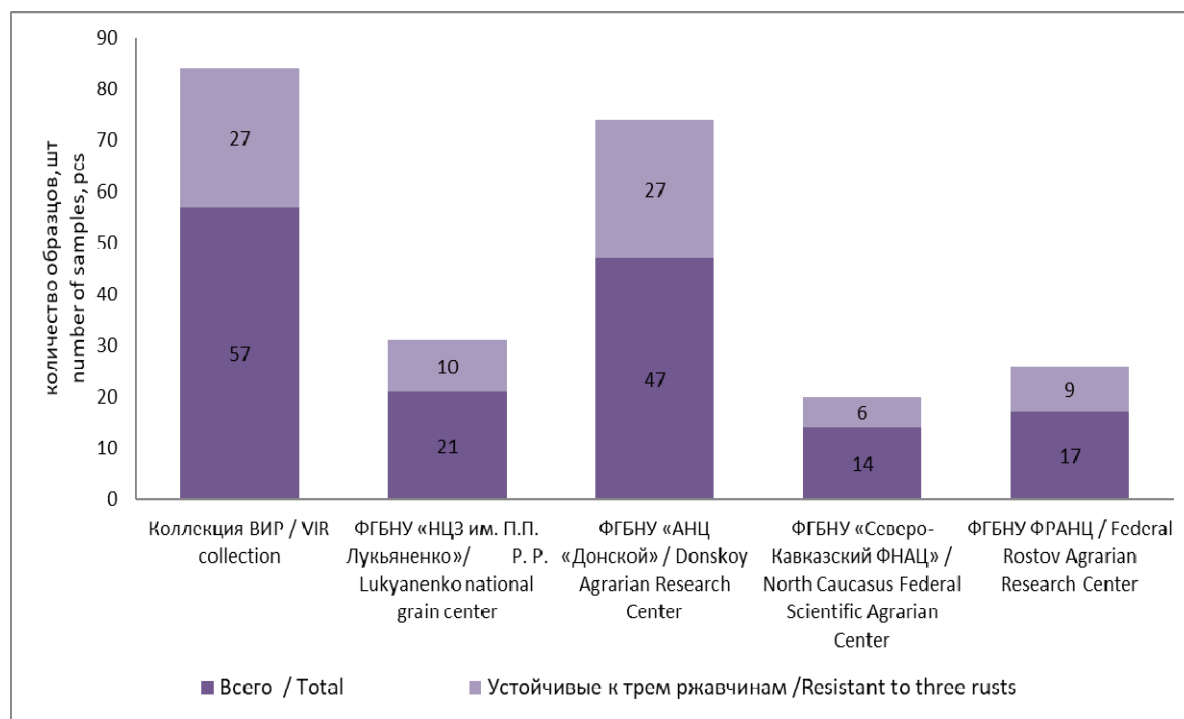


Рисунок 2. Количество устойчивых образцов пшеницы и тритикале во взрослую фазу к *P. tritricina*, *P. striiformis* и *P. graminis* (полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, 2016–2019 гг.)

Figure 2. Number of wheat and triticale samples in the adult stage resistant to *P. tritricina*, *P. striiformis* and *P. graminis* (field site of the FRSBPP, 2016–2019)

Основное количество образцов с групповой устойчивостью к трем ржавчинам в полевых условиях принадлежит линиям из коллекции ВИР и ФГБНУ «АНЦ «Донской», за исключением двух сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Находка, Краса Дона). Из десяти сортов с групповой устойчивостью селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», пять относятся к озимой тритикале (Дозор, Жнец, Князь, Сват, Хлебоборб), пять – сорта озимой мягкой пшеницы (Баграт, Еремеевна, Кавалерка, Ласка, Морозко, Ольхон). Из 14 образцов селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», групповой устойчивостью обладают шесть: четыре линии (19281, 19207, 101/09, 136/09) и

два сорта (Анисимовка и Одиссея). Из 17 образцов селекции ФГБНУ ФРАНЦ групповая устойчивость отмечена у девяти, семь из которых – озимая тритикале (сорта Атаман Платов, Донслав, Зимогор, Капрал, Корнет, Легион, Сколот), а также две линии (896/14, 2866/13). По данным Е. И. Гультевой [40], сорт Баграт содержит гены *Lr26*, *Lr10*, *Lr1*; сорт Ольхон – *Lr26*, Краса Дона – *Lr1*, Находка – *Lr34*. По данным фитотеста [41], в сорте Ольхон также постулированы гены *Lr18* и *Lr2b*, а в сорте Еремеевна – *Lr10* и *Lr26*. Гены *Lr26*, *Lr10*, *Lr1* являются неэффективными для северокавказской популяции *P. tritricina*, а частота вирулентных изолятов к *Lr18* в последние годы существенно возросла [42]. В

коллекционных образцах Фируза 40, Омская Юбилейная присутствует ген возрастной устойчивости *Lr34*, распространенный в российских сортах [40]. В сорте Лебедушка, показавшем устойчивость в фазу взрослых растений к бурой и желтой ржавчине, идентифицирован ген *Sr25* [43], неэффективный против северокавказской популяции стеблевой ржавчины.

В результате изучения устойчивости в ювенильную фазу установлено, что большинство образцов пшеницы и тритикале устойчивы к бурой и стеблевой ржавчинам (102 и 111 устойчивых образцов соответственно). Что касается желтой ржавчины, то из 158 изучаемых образцов устойчивыми оказалось только 44. Групповая устойчивость в ювенильную фазу ко всем

патогенам установлена у 26 образцов (табл. 1). Следует отметить, что источники с групповой устойчивостью в ювенильную фазу – в основном образцы из коллекции ВИР, линии из ФГБНУ «АНЦ «Донской» и сорта озимой тритикале. Исключением является сорт Кавалерка селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко». По данным литературы, в сорте Кавалерка с помощью молекулярных маркеров идентифицированы неэффективные гены ювенильной устойчивости *Lr1*, *Lr10* [44]. Данный сорт является перспективным источником групповой устойчивости к ржавчинам, и нуждается в дополнительном изучении с расширенным набором маркеров.

Таблица 1. Устойчивость образцов пшеницы и тритикале к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам (камера искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР, 2019 г.)

Table 1. Resistance of wheat and triticale samples to leaf, yellow and stem rusts

(climate chamber of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection, 2019)

Сорт, линия Variety, line	Оригинатор Originator	Тип реакции растений, балл Type of plant response		
		Бурая ржавчина Leaf rust	Стеблевая ржавчина Stem rust	Желтая ржавчина Yellow rust
Samgau (к-65823)	Коллекция генетических ресурсов ВИР VIR genetic resources collection	0	2	0
Тулайковская Надежда (к-65827) Tulajkovskaya Nadezhda (к-65827)		0	2	0
Проза (к-65070) Proza (к-65070)		0	0	0
KS 91 WGRC11 (к-65615)		1	1	0
PHRSV-03 (к-65152)		0	0;	2
Кавалерка Kavalerka	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» P.P. Lukyanenko National Grain Centre	2+	0	0
Дозор (тритикале) Dozor (triticale)		2	2	0
Князь (тритикале) Knyaz (triticale)		2	0	0
Сват (тритикале) Svat (triticale)		0;	0	0
110/11	ФГБНУ «АНЦ «Донской» Donskoy Agrarian Research Centre	0	0	2
386/13		1	0	2
876 (Кэпхорн) 876 (Kephorn)		1	1	0
874 (Самурай) 874 (Samuraj)		1	0	0
3554/14		0;	1	0
3354/13		0	1	0
658/15		0;	1	0
2969/13		2	2	0

Атаман Платов (тритикале) Ataman Platov (triticale)	1	1	0
2866/13	2	0	0
Капрал (тритикале) Kapral (triticale)	0;	2	0
Легион (тритикале) Legion (triticale)	0	1	0
Зимогор (тритикале) Zimogor (triticale)	ФГБНУ ФРАНЦ Federal Rostov Agrarian Research Centre		0
2913/13	1	1	0
31209/12	0;	1	0
Алмаз (тритикале) Almaz (triticale)	0	2	0
Ацтек (тритикале) Actec (triticale)	0	1	0

Групповая устойчивость к трем ржавчинам в обе фазы выявлена у 22 образцов пшеницы и тритикале (табл. 2). Это пять образцов коллекции ВИР, три сорта озимой тритикале (Дозор, Князь, Сват) селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», сорт озимой пшеницы Кавалерка того же оригинатора, девять линий от ФГБНУ «АНЦ

«Донской» и ФГБНУ ФРАНЦ, и четыре сорта озимой тритикале (Атаман Платов, Зимогор, Капрал, Легион) селекции ФГБНУ ФРАНЦ. Данные линии и сорта пшеницы и тритикале являются перспективными источниками групповой устойчивости рекомендованы для селекции [45].

Таблица 2. Устойчивость образцов пшеницы и тритикале к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам в разные фазы онтогенеза (полевой стационар, камера искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР, 2016–2019 гг.)

Table 2. Resistance of wheat and triticale samples to leaf, yellow and stem rusts in different plant growth stages (field site, greenhouse of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection, 2016–2019)

Сорт, линия Variety, line	Оригинатор Originator	Бурая ржавчина Leaf rust		Стеблевая ржавчина Stem rust		Желтая ржавчина Yellow rust	
		Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)	Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)	Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)
Проза (к-65070) Proza (к-65070)		0	0	0	0	0	1R
PHRSV-03 (к-65152)		0	1R	0;	1R	2	5R
KS 91 WGRC11 (к-65615)	Коллекция генетических ресурсов ВИР VIR genetic resources collection	1	0	1	5MR	0	10MR
Samgau (к-65823)		0	0	2	0	0	0
Тулайковская Надежда (к-65827) Tulajkovskaya Nadezhda (к-65827)		0	10MR	2	0	0	1R
Кавалерка	ФГБНУ НЦЗ	2+	5MR	0	10MR	0	10MR

Кавалерка Дозор (тритикале) Dozor (triticale)	имени П.П. Лукьяненко Р.Р. Lukyanenko National Grain Centre	3	5R	2	1R	0	0
Князь (тритикале) Knyaz (triticale)		2	1R	0	5R	0	0
Сват (тритикале) Svat (triticale)		0;	1R	0	5R	0	0
110/11		0	1MR	0	1R	2	1R
386/13		1	5MR	0	1R	2	1R
876 (Кэпхорн) 876 (Kerhorn)	ФГБНУ АНЦ «Донской» Donskoy	1	5R	1	5R	0	0
874 (Самурай) 874 (Samuraj)	Agrarian Research Centre	1	5R	0	1R	0	1R
3554/14		0;	0	1	1R	0	1R
3354/13		0	0	1	0	0	1R
658/15		0;	0	1	10R	0	1R
2969/13		2	5R	2	10MR	0	1R
2866/13		2	5R	0	5R	0	1R
Атаман Платов (тритикале) Ataman Platov (triticale)		1	0	1	1R	0	0
Капрал (тритикале) Kaprал (triticale)	ФГБНУ ФРАНЦ Federal Rostov	0;	0	2	1R	0	0
Легион (тритикале) Legion (triticale)	Agrarian Research Centre	0	0	1	10R	0	0
Зимогор (тритикале) Zimogor (triticale)		0	0	1	1R	0	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 2016–2019 гг. в ювенильную фазу и фазу взрослых растений были изучены 158 образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале различной селекции на устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам. Выявлено, что в фазу взрослых растений большинство образцов проявляют устойчивость к трем патогенам (151 образец был устойчив к бурой ржавчине, 113 – к стеблевой ржавчине и 110 – к желтой ржавчине). Из них 79 образцов проявили групповую устойчивость к трем ржавчинам. В ювенильную фазу наибольшее количество образцов проявили устойчивость к бурой (102 образца) и стеблевой (111 образцов) ржавчинам, к желтой ржавчине устойчивыми были 44 образца. Групповая устойчивость к трем ржавчинам в ювенильную фазу была выявлена у 26 образцов. У 22 образцов установлена устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам в обе фазы онтогенеза. Большинство из них представлено образцами из

коллекции ВИР, линиями селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» и сортами озимой тритикале селекции ФГБНУ «НЦЗ имени П.П. Лукьяненко» и ФГБНУ ФРАНЦ. Данные образцы рекомендованы как источники групповой устойчивости для селекции на иммунитет к ржавчинам.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко», Федерального государственного бюджетного научного

учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» за предоставление семенного материала.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the scientists of the Federal State Budgetary Scientific Institution, N.L. Vavilov Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; the Federal State Budgetary Scientific Institution Donskoy Agrarian Scientific Centre; the Federal State Budgetary Scientific Institution PP. Lukyanenko National Grain Centre; the Federal State Budgetary Scientific Institution North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre; and the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Rostov Federal Agrarian Scientific Centre for providing seed material.

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No FGRN-2022-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jambuthenne D.T., Riaz A., Athiyannan N., Alahmad S., Ng W.L., Ziems L., Afanasenko O., Periyannan S.K., Aitken E., Platz G., Godwin I. Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. V. 135. N 4. P. 1355–1373. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04037-8>
- Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A.E.A., Naraghi S.M., Pirseyedi S., Alamri M.S., AbuHamad W. Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Breeding // *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. 2019. V. 5. P. 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
- Kwiatek M.T., Noweiska A., Bobrowska K., Czapiewska A., Aygün M., Munyamahoro F.D.A., Mikołajczyk S., Tomkowiak A., Kurasia-Popowska D., Poślednik P. Novel Tetraploid Triticale (Einkorn Wheat × Rye) – A Source of Stem Rust Resistance // *Plants*. 2023. V. 12(2). P. 278. <https://doi.org/10.3390/plants12020278>
- Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ким Ю.С., Агапова В.Д., Ваганова О.Ф. Иммунологическая оценка сортов озимой тритикале к *Pyrenophora tritici-repentis* и *Puccinia triticina* в условиях юга России // *Достижение науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. N 5. С. 39–44. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_5_0
- Калмыш А.П., Ковтуненко В.Я., Панченко В.В. Роль озимой тритикале в сохранении и улучшении экологического состояния агрофитоценозов и снижении пестицидной нагрузки на здоровье человека (обзор) // *Аграрная Россия*. 2023. N 2. С. 8–15. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-2-8-15>
- Матвеева И.П., Ким Ю.С., Ваганова О.Ф., Мирошниченко О.О., Кремнева О.Ю., Волкова Г.В. Устойчивость широко районированных сортов озимой пшеницы различной селекции к эпифитотийно опасным заболеваниям: бурой, желтой, стеблевой ржавчине и желтой пятнистости листьев пшеницы в Краснодарском крае // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018. N 12–2(78). С. 40–44. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>
- Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats // *Euphytica*. 2011. V. 179(1). P. 129–141. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y>
- Айнура М.К. Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Азербайджанского происхождения // *Аграрный научный журнал*. 2023. N 5. С. 16–23. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp16-23>
- Prank M., Kenale S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease // *Environmental Research Letters*. 2019. V. 14. N 12. Article ID: 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
- Soko T., Bender C.M., Pretorius Z.A. Yield Loss Associated with Different Levels of Stem Rust Resistance in Bread Wheat // *Plant Disease*. 2018. N 102(12). P. 2531–2538. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0307-RE>
- Жуковский А.Г., Крупенько Н.А. Изменение фитопатологической ситуации в посевах зерновых культур // *Наше сельское хозяйство*. 2020. N 5. С. 60–65.
- Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Пожерикува В.Е., Трущенко А.Ю., Чурсин А.С., Моргунов А.И. Оценка линий синтетической пшеницы (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) по вегетационному периоду и устойчивости к болезням // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. Т. 21. N 3. С. 347–353. <https://doi.org/10.18699/VJ17.252>
- Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Конькова Э.А. Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация Sr-генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. N 1. С. 177–186. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-177-186>
- Беспалова Л.А., Аблова И.Б., Худокормова Ж.Н., Пузырная О.Ю., Набоков Г.Д., Агаева Е.В. Тархов А.С. Генетическая защищенность сортов озимой пшеницы от ржавчинных болезней // *Рисоводство*. 2019. N 4. С. 30–37.
- Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.О., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. N 6. С. 676–684. <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>
- Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Salina E.A., Skolotneva E.S., Hodson D., Hovmøller M., Patpour M., Morgounov A.I. Stem rust in Western Siberia – race composition and effective resistance genes // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. N 24. P. 131–138. <https://doi.org/10.18699/VJ20.608>
- Rahmatov M., Rouse M.N., Steffenson B.J., Andersson S.C., Wanyera R., Pretorius Z.A., Houben A., Kumarse N., Bhavani S., Johansson E. Sources of stem rust resistance in wheat-alien introgression lines // *Plant Disease*. 2016. V. 100(6). P. 1101–1109. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1448-RE>
- Ali S., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Sørensen C.K., Hansen J.G., Lassen P., Nazari K., Hodson D.P., Justesen A.F., Hovmøller M.S. Yellow rust epidemics worldwide were caused by pathogen races from divergent genetic lineages // *Frontiers in Plant Science*. 2017. N 8. P. 1057. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01057>
- Hubbard A., Lewis C.M., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R.H., de Vallavieille-Pope C., Thomas J., Kamoun S., Bayles R., Uauy C., Saunders D.G. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population // *Genome biology*. 2015. N 16. P. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0590-8>
- Матвеева И.П., Волкова Г.В. Желтая ржавчина пшеницы. Распространение, вредоносность, меры борьбы (обзор) // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. N 2(46). С. 102–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-102-116
- Beddow J.M., Pardey P.G., Chai Y., Hurley T.M., Kriticos D.J., Braun H.J., Park R.F., Cuddy W.S., Yonow T. Research investment

- implications of shifts in the global geography of wheat stripe rust // *Nature Plants*. 2015. V. 1(10). P. 1–5.
<https://doi.org/10.1038/nplants.2015.132>
22. Volkova G.V., Kudina O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathologia Mediterranea*. 2021. V. 60(1). P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396.
23. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // *Frontiers in Genetics*. 2022. N 13. Article ID: 816057.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
24. Hussain M., Khan M.A., Hussain M., Javed N., Khaliq I. Monitoring of rust virulence pattern through avirulence/virulence formula // *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2016. N 48. P. 421–433.
<https://doi.org/10.1080/03235408.2014.893635>
25. Ali Y., Khan M.A., Aatif H.M., Ijaz M., Atiq M., Bashair M., Mansha M.Z., Khan A.A., Hussain M. Quantification of leaf rust resistance source in wheat germplasm in relation to epidemiological factors // *Arab Journal of Plant Protection*. 2020. V. 38. N 4. P. 344–353. DOI:10.22268/AJPP-038.4.344353
26. Khan M.H., Bukhari A., Dar Z.A., Rizvi S.M., Status and strategies in breeding for rust resistance in wheat // *Agricultural Sciences*. 2013. V. 4(06). P. 292.
<http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.46042>
27. Манукян И.Р., Абиева Т.С., Догужева Н.Н. Скрининг сортов озимой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции на устойчивость к бурой ржавчине в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный научный журнал*. 2022. N 10. С. 55–61.
<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-4>
28. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Кирьякова М.Н., Мешкова Л.В., Пахотина И.В. Глушаков Д.А. Перспективные генетические источники для селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26. N 7. С. 609–621.
<https://doi.org/10.18699/VJGB-22-75>
29. Митрофанова О.П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014. Т. 16. N 1. С. 10–20.
30. Кашуба Ю.Н., Мешкова Л.В., Плотникова Л.Я. Источники устойчивости к бурой ржавчине озимой мягкой пшеницы из коллекции ВИР для Западной Сибири // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2019. N 7(148). С. 17–23.
31. Tyryshkin L.G., Lysenko N.S., Kolesova M.A. Effective Resistance to Four Fungal Foliar Diseases in Samples of Wild *Triticum* L. Species from the VIR (NI Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) Collection: View from Vavilov's Concepts of Plant Immunity // *Plants*. 2022. V. 11. Iss. 24. P. 3467. <https://doi.org/10.3390/plants11243467>
32. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals // *Weed research*. 1974. V. 14. N 6. P. 415–421.
33. Анпилогова Л.К., Волкова Г.В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе). Краснодар: РАСХН, ВНИИБЗР, 2000. 28 с.
34. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat: Concept and Methods of Disease Management. Mexico: CIMMYT, 1992. 81 p.
35. Bariana H.S., McIntosh R.A. Cytogenetic studies in wheat XV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A // *Genome*. 1993. V. 36. N 3. P. 476–482.
<https://doi.org/10.1139/g93-065>
36. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Данилова А.В., Матвеева И.П. Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур (учебное пособие). Краснодар, 2018. 38 с.
37. Gassner G., Straib W. Die Bestimmung der biologischen Rassen des Weizengelbrostes *Puccinia glumarum* f. sp. tritici Schmidt Erikss. u. Henn. 1932.
38. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticulturae* Erikss. // *Phytopathology*. 1926. V. 16. N 1. P. 89–120.
39. Stakman E.S., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* ssp. // *Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*. 1922. V. 8. P. 3–10.
40. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations // *Agriculture*. 2021. V. 11. N 4. P. 319.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
41. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F. Postulation of leaf rust resistance genes of 20 wheat cultivars in southern Russia // *Journal of Plant Protection Research*. 2020. V. 3. N 3. P. 225–232. DOI: 10.24425/jppr.2020.133951
42. Volkova G., Kudina O., Vaganova O., Agapova V. Effectiveness of leaf rust resistance genes in the adult and juvenile stages in southern Russia in 2011–2020 // *Plants*. 2022. V. 11. Iss. 6. P. 793. <https://doi.org/10.3390/plants11060793>
43. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bespalova L., Ablova I. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region // *Agriculture*. 2023. V. 13. Iss. 3. P. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
44. Гульяева Е.И., Шайдаук Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // *Биотехнология и селекция растений*. 2021. Т. 4. N 2. С. 15–27. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-o2>
45. Skowrońska R., Tomkowiak A., Nawracała J., Kwiatek M.T. Molecular identification of slow rusting resistance Lr46/Yr29 gene locus in selected triticale (× *Triticosecale* Wittmack) cultivars // *Journal of Applied Genetics*. 2020. V. 61. N 3. P. 359–366. <https://doi.org/10.1007/s13553-020-00562-8>

REFERENCES

- Jambuthenne D.T., Riaz A., Athiyannan N., Alahmad S., Ng W.L., Ziemis L., Afanasenko O., Periyannan S.K., Aitken E., Platz G., Godwin I. Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust. *Theoretical and Applied Genetics*, 2022. vol. 135, no. 4, pp. 1355–1373. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04037-8>
- Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A.E.A., Naraghi S.M., Pirseyedi S., Alamri M.S., AbuHammad W. Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, 2019, vol. 5. pp. 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
- Kwiatek M.T., Noweiska A., Bobrowska R., Czapiewska A., Aygün M., Munyamahoro F.D.A., Mikołajczyk S., Tomkowiak A., Kurasik-Popowska D., Poślednik P. Novel Tetraploid Triticale (Einkorn Wheat × Rye) - A Source of Stem Rust Resistance. *Plants*, 2023, vol. 12(2), p. 278. <https://doi.org/10.3390/plants12020278>
- Volkova G.V., Kudina O.A., Kim Yu.S., Agapova V.D., Vaganova O.F. Immunological evaluation of winter triticale varieties to *Pyrenophora tritici-repentis* and *Puccinia triticulturae* under conditions of southern Russia. *Achievements of science and technology AIC*, 2023, vol. 37, no. 5, pp. 39–44. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_5_0
- Kalmysh A.P., Kovtunen V.Ya., Panchenko V.V. The role of winter triticale in preserving and improving the ecological

- condition of agrophytocoenoses and reducing pesticide load on human health (review). *Agrarian Russia*, 2023, vol. 2, pp. 8–15. (In Russian) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-2-8-15>
6. Matveeva I.P., Kim Yu.S., Vaganova O.F., Miroshnichenko O.O., Kremneva O.Yu., Volkova G.V. Resistance of widely distributed varieties of winter wheat of various breeding to epiphytotically dangerous diseases: leaf, yellow, stem rust and yellow leaf spot of wheat in the Krasnodar Territory. *International research journal*, 2018, no. 12–2(78), pp. 40–44. (In Russian) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>
7. Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats. *Euphytica*, 2011, vol. 179(1), pp. 129–141. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y>
8. Ainur M.K. Phytopathological assessment of the effect of yellow rust on the genotypes of common wheat (*Triticum aestivum* L.) of Azerbaijani origin. *Agrarian scientific journal*, 2023, no. 5, pp. 16–23. (In Russian) <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp16-23>
9. Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 12, article id: 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
10. Soko T., Bender C.M., Pretorius Z.A. Yield Loss Associated with Different Levels of Stem Rust Resistance in Bread Wheat. *Plant Disease*, 2018, no. 102(12), pp. 2531–2538. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0307-RE>
11. Zhukovskii A.G., Krupen'ko N.A. Changes in the phytopathological situation in grain crops. *Nashe sel'skoe khozaystvo* [Our agriculture]. 2020, no. 5, pp. 60–65. (In Russian)
12. Shamanin V.P., Potockaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Trushchenko A.Ju., Chursin A.S., Morgunov A.I. Evaluation of synthetic wheat lines (*Triticum durum*/Aegilops tauschii) by vegetation period and disease resistance. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 347–353. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJ17.252>
13. Baranova O.A., Sibikeev S.N., Kon'kova E.A. Analysis of Stem Rust Resistance and Identification of Sr Genes in Introgressive Lines of Spring Common Wheat. In: *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding]. 2023, vol. 184, no. 1, pp. 177–186. (In Russian) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-177-186>
14. Bepalova L.A., Ablova I.B., Hudokormova Zh.N., Puzyrnaya O.Yu., Nabokov G.D., Agaeva E.V., Tarhov A.S. Genetic protection of winter wheat varieties from rust diseases. *Risovodstvo* [Rice growing]. 2019, no. 4, pp. 30–37. (In Russian)
15. Lapochkina I.F., Baranova O.A., Gainullin N.R., Volkova G.V., Gladkova E.V., Kovaleva E.O., Osipova A.V. Creation of lines of winter wheat with several resistance genes to *Puccinia graminis* Pers. f. sp. tritici for use in Russian breeding programs. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 676–684. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>
16. Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Salina E.A., Skolotneva E.S., Hodson D., Hovmøller M., Patpour M., Morgounov A.I. Stem rust in Western Siberia – race composition and effective resistance genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, no. 24, pp. 131–138. <https://doi.org/10.18699/VJ20.608>
17. Rahmatov M., Rouse M.N., Steffenson B.J., Andersson S.C., Wanyera R., Pretorius Z.A., Houben A., Kumarse N., Bhavani S., Johansson E. Sources of stem rust resistance in wheat-alien introgression lines. *Plant Disease*, 2016, vol. 100(6), pp. 1101–1109. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1448-RE>
18. Ali S., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Sørensen C.K., Hansen J.G., Lassen P., Nazari K., Hodson D.P., Justesen A.F., Hovmøller M.S. Yellow rust epidemics worldwide were caused by pathogen races from divergent genetic lineages. *Frontiers in Plant Science*, 2017, no. 8, pp. 1057. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01057>
19. Hubbard A., Lewis C.M., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R.H., de Vallavieille-Pope C., Thomas J., Kamoun S., Bayles R., Uauy C., Saunders D.G. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population. *Genome biology*, 2015, no. 16, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0590-8>
20. Matveeva I.P., Volkova G.V. Yellow rust of wheat. Distribution, harmfulness, control measures (review). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 2(46), pp. 102–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-102-116
21. Beddow J.M., Pardey P.G., Chai Y., Hurley T.M., Kriticos D.J., Braun H.J., Park R.F., Cuddy W.S., Yonow T. Research investment implications of shifts in the global geography of wheat stripe rust. *Nature Plants*, 2015, vol. 1(10), pp. 1–5. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.132>
22. Volkova G.V., Kudina O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. *Phytopathologia Mediterranea*, 2021, vol. 60(1), pp. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396
23. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*, 2022, no. 13, article id: 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
24. Hussain M., Khan M.A., Hussain M., Javed N., Khaliq I. Monitoring of rust virulence pattern through avirulence/virulence formula. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2016, no. 48, pp. 421–433. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.89363>
25. Ali Y., Khan M.A., Aatif H.M., Ijaz M., Atiq M., Bashair M., Mansha M.Z., Khan A.A., Hussain M. Quantification of leaf rust resistance source in wheat germplasm in relation to epidemiological factors. *Arab Journal of Plant Protection*, 2020, vol. 38, no. 4, pp. 344–353. DOI: 10.22268/AJPP-038.4.344353
26. Khan M.H., Bukhari A., Dar Z.A., Rizvi S.M., Status and strategies in breeding for rust resistance in wheat. *Agricultural Sciences*, 2013, vol. 4(06), p. 292. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.46042>
27. Manukyan I.R., Abieva T.S., Doguzova N.N. Screening of varieties of winter soft wheat of Russian and foreign breeding for resistance to leaf rust in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian scientific journal*, 2022, no. 10, pp. 55–61. (In Russian) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-4>
28. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Kir'yakova M.N., Meshkova L.V., Pahotina I.V., Glushakov D.A. Promising genetic sources for the breeding of spring durum wheat in Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2022, vol. 26, no. 7, pp. 609–621. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-75>
29. Mitrofanova O.P. Wheat genetic resources in Russia: status and pre-breeding study. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2014, vol. 16, no. 1, pp. 10–20. (In Russian)
30. Kashuba Yu.N., Meshkova L.V., Plotnikova L.Ya. Sources of resistance to leaf rust of winter soft wheat from the VIR collection for Western Siberia. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2019, no. 7(148), pp. 17–23. (In Russian)
31. Tyryshkin L.G., Lysenko N.S., Kolesova M.A. Effective Resistance to Four Fungal Foliar Diseases in Samples of Wild *Triticum* L. Species from the VIR (NI Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) Collection: View from Vavilov's Concepts of Plant Immunity. *Plants*, 2022, vol. 11, iss. 24, p. 3467. <https://doi.org/10.3390/plants11243467>
32. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 1974, vol. 14, no. 6, pp. 415–421.
33. Anpilogova L.K., Volkova G.V. *Metody sozdaniya iskusstvennykh infektsionnykh fonov i otsenki sortoobraztsov*

- pshenitsy na ustoichivost' k vredonosnym boleznyam (fuzariozu kolosa, rzhavchinam, muchnistoi rose). Rekomendatsii* [Methods of creating artificial infection backgrounds and evaluation of wheat varieties for resistance to harmful diseases (ear fusarium, rusts, powdery mildew). Recommendations]. Krasnodar, VNIIBZR Publ., 2000, 28 p. (In Russian)
34. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat: Concept and Methods of Disease Management. Mexico, CIMMYT Publ., 1992, 81 p.
35. Bariana H.S., McIntosh R.A. Cytogenetic studies in wheat XV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A. *Genome*, 1993, vol. 36, no. 3, pp. 476–482. <https://doi.org/10.1139/g93-065>
36. Volkova G.V., Kudina O.A., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Danilova A.V., Matveeva I.P. *Virulentnost' populyatsii vozbuditelei rzhavchiny zernovykh kolosovykh kul'tur (uchebnoe posobie)* [Virulence of populations of cereal rust pathogens (tutorial)]. Krasnodar, IP Dedkova S.A. Publ., 2018, 38 p. (In Russian)
37. Gassner G., Straub W. Die Bestimmung der biologischen Rassen des Weizenelbrostes *Puccinia glumarum* f. sp. *tritici* Schmidt Erikss. u. Henn. 1932.
38. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*, 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
39. Stakman E.S., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* ssp. Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin. 1922, vol. 8, pp. 3–10.

40. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 4, p. 319. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
41. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F. Postulation of leaf rust resistance genes of 20 wheat cultivars in southern Russia. *Journal of Plant Protection Research*, 2020, vol. 3, no. 3, pp. 225–232. DOI: 10.24425/jppr.2020.133951
42. Volkova G., Kudina O., Vaganova O., Agapova V. Effectiveness of leaf rust resistance genes in the adult and juvenile stages in southern Russia in 2011–2020. *Plants*, 2022, vol. 11, iss. 6, p. 793. <https://doi.org/10.3390/plants11060793>
43. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bepalova L., Ablova I. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region. *Agriculture*, 2023, vol. 13, no. 3, p. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
44. Gul'tyaeva E.I., Shaidayuk E.L. Identification of leaf rust resistance genes in new Russian soft wheat varieties. *Biotechnology and plant breeding*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 15–27. (In Russian) <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-o2>
45. Skowrońska R., Tomkowiak A., Nawracała J., Kwiatek M.T. Molecular identification of slow rusting resistance Lr46/Yr29 gene locus in selected triticales (x *Triticosecale* Wittmack) cultivars. *Journal of Applied Genetics*, 2020, vol. 61, no. 3, pp. 359–366. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00562-8>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга А. Кудинова, Ольга А. Ваганова, Валерия Д. Агапова, Екатерина В. Гладкова, Олеся О. Игнатьева, Ирина П. Матвеева участвовали в сборе и анализе материала, написании работы. Галина В. Волкова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga A. Kudina, Olga A. Vaganova, Valeriya D. Agapova, Ekaterina V. Gladkova, Olesya O. Ignatieva and Irina P. Matveeva participated in collecting and analysing the material and writing the paper. Galina V. Volkova corrected the manuscript for 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

Галина В. Волкова / Galina V. Volkova <https://orcid.org/0000-0002-3696-2610>
 Ольга А. Кудинова / Olga A. Kudina <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>
 Олеся О. Игнатьева / Olesya O. Ignatieva <https://orcid.org/0000-0002-6584-9553>
 Валерия Д. Агапова / Valeriya D. Agapova <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>
 Екатерина В. Гладкова / Ekaterina V. Gladkova <https://orcid.org/0000-0002-2232-0764>
 Ольга Ф. Ваганова / Olga F. Vaganova <https://orcid.org/0000-0003-2345-2643>
 Ирина П. Матвеева / Irina P. Matveeva <https://orcid.org/0000-0002-8696-5350>

Оригинальная статья / Original article

УДК 578.7

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-173-181

Вклад энтеровирусов в этиологию острых респираторных вирусных инфекций у детей г. Новосибирска

Ольга Г. Курская, Тереза А. Сароян, Алина Р. Нохова, Никита А. Дубовицкий, Анастасия А. Дерко, Полина С. Басова, Татьяна А. Гугова, Мария В. Соломатина, Татьяна А. Мурашкина, Кирилл А. Шаршов

Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Ольга Г. Курская, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины; 630117 Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2.

Тел. +73833359405

Email kurskaya_og@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1931-2026>

Формат цитирования

Курская О.Г., Сароян Т.А., Нохова А.Р., Дубовицкий Н.А., Дерко А.А., Басова П.С., Гугова Т.А., Соломатина М.В., Мурашкина Т.А., Шаршов К.А. Вклад энтеровирусов в этиологию острых респираторных вирусных инфекций у детей г. Новосибирска // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 173-181. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-173-181

Получена 22 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 24 ноября 2023 г.

Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Оценить вклад энтеровирусов человека в общую структуру острых респираторных вирусных инфекций у детей г. Новосибирска в течение эпидемического сезона 2022–2023 гг.

Материал и методы. Проанализировано 1132 образца, собранных от детей 0–15 лет с симптомами ОРВИ, методом ПЦР в режиме реального времени на наличие генетического материала респираторных вирусов, включая энтеровирусы.

Результаты. Положительными хотя бы на один вирус, включая энтеровирусы, были 65,2 % обследованных детей. Чаще всего у детей в указанный период встречался респираторно-синцитиальный вирус, который составил 17,2 % от общего количества исследованных образцов. У 14,2 % обследованных детей выявлен вирус гриппа. Энтеровирусы были обнаружены в 9,2 % случаев, риновирус был выявлен у 10,8 % обследованных детей.

Заключение. Респираторные энтеровирусы, наряду с риновирусом, занимают значительное место в структуре ОРВИ у детей. Изучение эпидемиологии энтеровирусов необходимо для понимания клинических проявлений и исходов энтеровирусной инфекции, оценки бремени заболеваний, вызванных энтеровирусами, что важно для оптимизации профилактики и стратегий терапии.

Ключевые слова

Энтеровирусы, риновирус, вирус гриппа, респираторно-синцитиальный вирус, респираторные вирусы, острые респираторные вирусные инфекции, этиология.

Enteroviruses in the etiology of acute respiratory viral infections in children, Novosibirsk, Russia

Olga G. Kurskaya, Tereza A. Saroyan, Alina R. Nokhova, Nikita A. Dubovitskiy, Anastasia A. Derko, Polina S. Basova, Tatiana A. Gutova, Maria V. Solomatina, Tatiana A. Murashkina and Kirill A. Sharshov

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

Principal contact

Olga G. Kurskaya, PhD, Senior Researcher, Head, Laboratory, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova Street, Novosibirsk, Russia 630117. Tel. +73833359405
Email kurskaya_og@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1931-2026>

How to cite this article

Kurskaya O.G., Saroyan T.A., Nokhova A.R., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Basova P.S., Gutova T.A., Solomatina M.V., Murashkina T.A., Sharshov K.A. Enteroviruses in the etiology of acute respiratory viral infections in children, Novosibirsk, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 173-181. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-173-181

Received 22 October 2023

Revised 24 November 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. To assess the contribution of human enteroviruses to the overall structure of acute respiratory viral infections in children in Novosibirsk during the epidemic season 2022–2023.

Material and Methods. 1132 samples collected from children aged 0–15 years with symptoms of ARVI were analyzed by real-time PCR for the presence of genetic material of respiratory viruses, including enteroviruses.

Results. 65.2 % of the examined children were positive for at least one virus, including enteroviruses. Respiratory syncytial virus was most often found in children during this period, which accounted for 17.2 % of the total number of samples studied. Influenza virus was detected in 14.2 % of the examined children. Enteroviruses were detected in 9.2 % of cases and rhinovirus was detected in 10.8 % of the examined children.

Conclusions. Respiratory enteroviruses, along with rhinovirus, occupy a significant place in the etiology of acute respiratory viral infections in children. The study of the epidemiology of enteroviruses is necessary to understand the clinical manifestations and outcomes of enterovirus infection, and to assess the burden of diseases caused by enteroviruses, which is important for optimizing prevention and therapy strategies.

Key Words

Enteroviruses, rhinovirus, influenza virus, respiratory syncytial virus, respiratory viruses, acute respiratory viral infections, etiology.

ВВЕДЕНИЕ

Энтеровирусы и риновирусы – это безоболочечные РНК-содержащие вирусы, относящиеся к семейству Picornaviridae. Они являются важными патогенами человека, вызывая различные по своим клиническим проявлениям заболевания [1]. В то время как риновирусы имеют тропизм преимущественно к клеткам респираторного тракта и вызывают поражения верхних и нижних дыхательных путей [2], энтеровирусы тропны к различным тканям организма и вызывают заболевания с различными клиническими проявлениями, если они распространяются из первичных очагов инфекции, то есть из желудочно-кишечного тракта или дыхательных путей [3]. Более тяжелые заболевания, вызываемые энтеровирусами, включают миокардит, острый вялый миелит, энцефалит и панкреатит, серозный менингит [4]. Предполагается, что возраст, пол, фоновые хронические заболевания и иммунный статус хозяина влияют на клиническую картину и тяжесть заболевания [5].

Род энтеровирусов состоит из 15 различных видов, из которых патогенны для человека четыре вида энтеровирусов (EV-A, EV-B, EV-C и EV-D) и три вида риновирусов (RV) (RV-A, RV-B и RV-C) [1], которые в настоящее время классифицируются на 116 серологически и генетически различных типов энтеровирусов и более 250 типов риновируса человека [6; 7]. Энтеровирусы вида В, включая эховирусы и коксакиевирусы В, являются наиболее часто выявляемыми причинами вирусного менингита и других инфекций, связанных с центральной нервной системой, в западных странах, в то время как энтеровирус А71 является причиной заболевания «рука-нога-рот» (Hand, foot and mouth disease) и энцефалита в Азии и, позднее, в Европе [8]. Вспышки, вызванные энтеровирусом D68 в Северной Америке и Европе, были связаны с тяжелыми респираторными заболеваниями, иногда приводящими к острому вялому миелииту [9; 10].

Хотя специфического противовирусного лечения энтеровирусных инфекций не существует, выявление и идентификация энтеровирусов важны в связи с их потенциальной нейротропностью и способностью вызывать тяжелые инфекции [6].

Целью настоящего исследования явилось выяснение вклада энтеровирусов человека в общую структуру острых респираторных вирусных инфекций у детей г. Новосибирска в течение эпидемического сезона 2022–2023 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор образцов

Проведение исследования одобрено Комитетом по биомедицинской этике при ФИЦ ФТМ (решение № 8 от 27.04.2022).

В исследование были включены дети в возрасте от 1 месяца до 15 лет, госпитализированные в инфекционные стационары г. Новосибирска с симптомами острой респираторной инфекции в период с октября 2022 г. по май 2023 г. Критериями включения явились наличие как минимум одного системного симптома (повышение температуры, недомогание, боль в мышцах, головная боль) и одного респираторного симптома (кашель, боль в горле, насморк/заложенность носа, одышка).

У каждого пациента брали мазки из носа и зева и помещали в пробирку с транспортной средой. Образцы

хранили при температуре +4°C до начала исследования, но не более 48 часов.

Детекция респираторных вирусов

Выделение РНК/ДНК из клинических образцов производили с помощью набора «Рибо-сорб» («ИнтерЛабсервис», Россия). Детекцию респираторных вирусов, включая вирус SARS-CoV-2, вирусы гриппа А и В, респираторно-синцитиальный вирус; риновирусы; метапневмовирус; вирусы парагриппа 1, 2, 3 и 4 типов; сезонные коронавирусы; аденовирусы групп В, С и Е; бокавирус) с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени с использованием наборов реагентов «АмплиПрайм SARS-CoV-2/Flu(A/B/H1pdm09)», «АмплиСенс Influenza virus A-тип-FL», «АмплиСенс ОРВИ-скрин-FL» («ИнтерЛабсервис», Россия) в соответствии с инструкцией производителя.

Выявление генетического материала энтеровирусов проводили с помощью набора «Enterovirus-FL» («ИнтерЛабсервис», Россия).

Статистический анализ результатов

Статистический анализ выполнен с помощью программного обеспечения Statistica 10.0. Достоверность различий между группами оценивали с использованием критерия Хи-квадрат. Для сравнения категориальных переменных использовались критерий Хи-квадрат и точный критерий Фишера. Представленный уровень значимости был установлен на уровне $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детекция респираторных вирусов

Всего было проанализировано 1132 образца, собранных от детей 0–15 лет с симптомами ОРВИ в период с октября 2022 г. по май 2023 г. Из них 634 (56 %) образца было получено от мальчиков и 498 (44 %) образцов – от девочек. При этом 676 (59,7 %) образцов собрано от детей раннего возраста (0–2 лет), 292 (25,8 %) образца – от детей дошкольного возраста (3–6 лет) и 164 (14,5 %) образца – от детей школьного возраста (7–15 лет) (рис. 1). В других исследованиях также показаны более высокие показатели госпитализации с респираторными заболеваниями у детей младшего возраста [11].

Положительными хотя бы на один вирус, включая энтеровирусы, были 738/1132 (65,2 %) обследованных детей. При этом не было обнаружено различий в доле положительных образцов у мальчиков и девочек (66,6 % и 63,5 %, соответственно). Вместе с тем, уровень детекции респираторных вирусов у детей школьного возраста (7–17 лет) был достоверно ниже по сравнению с детьми раннего возраста (0–2 года) и дошкольного возраста (3–6 лет) – 53 % (87/164), 68,3 % (462/676, $\chi^2=13,64$ для $p < 0,05$) и 64,7 % (189/292, $\chi^2=5,99$ для $p < 0,05$), соответственно (рис. 1).

У 6,3 % (71/1132) обследованных детей была выявлена комбинация двух и более респираторных вирусов (без учета энтеровирусов). Уровень выявления ко-инфекции значимо не отличался в возрастных группах 0–2 года (6,2 %) и 3–6 лет (8,9 %), однако был достоверно меньше у детей 7–17 лет (1,8 %) ($\chi^2=6,44$ для $p < 0,05$).

Подобные соотношения в уровне выявления респираторных вирусов и вирусной ко-инфекции в разных возрастных группах мы наблюдали и ранее [12; 13].

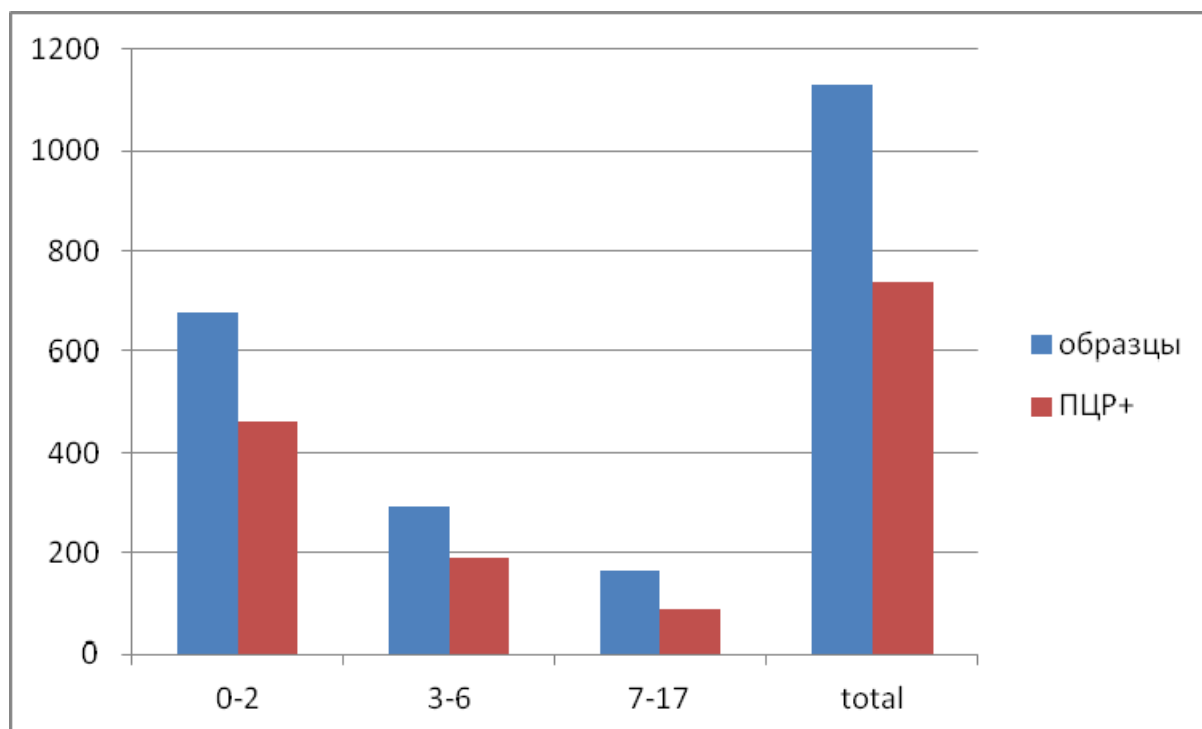


Рисунок 1. Количество собранных и положительных в ПЦР образцов в разных возрастных группах

Figure 1. Number of collected and PCR positive samples in different age groups

Этиологическая структура ОРВИ

Чаще всего у детей в указанный период встречался респираторно-синцитиальный вирус, который составил 17,2 % (195/1132) от общего количества исследованных образцов. У 14,2 % (161/1132) обследованных детей выявлен вирус гриппа. Вирусы парагриппа выявлены в 7,3 % (83/1132) случаев. Остальные вирусы выявлены менее чем в 5 % случаев.

Энтеровирусы были обнаружены у 104 обследованных детей, что составило 9,2 % от общего количества образцов. По данным разных авторов энтеровирусы связаны с респираторными инфекциями у детей в пропорциях от 1 % до 25 % в зависимости от исследования [5]. Так, в исследовании, проводимом Susanne Baertl, общая частота энтеровирусов в респираторных образцах составила 6,1 % [14]. В Нидерландах сообщалось о более низких показателях выявления (2 %), что, вероятно, было связано с избирательным включением пациентов с респираторными симптомами [15]. Тем не менее, Andrés и др. показали уровень детекции в 7 %, анализируя исключительно образцы дыхательных путей у детей [16]. В нашем исследовании только в 26,9 % (28/104) случаев энтеровирусная инфекция протекала в виде моноинфекции, в 73,1 % (76/104) случаев был выявлен еще какой-либо респираторный вирус. При этом у 27,9 % (29/104) детей, положительных на энтеровирус, также был выявлен риновирус, в 45,2 % (47/104) случаев энтеровирус сочетался с каким-либо другими респираторными вирусами, причем чаще всего с респираторно-синцитиальным вирусом – в 15,4 % (16/104) случаев. Комбинация двух и более респираторных вирусов встречалась у 9,6 % (10/104) пациентов с энтеровирусной инфекцией.

Риновирус был выявлен у 122/1132 (10,8 %) обследованных детей. В 63,1 % (77/122) случаев

риновирус был выявлен в виде моноинфекции, а в 36,9 % (45/122) риновирус сочетался с каким-либо другим респираторным вирусом, причем чаще всего выявляли энтеровирус – в 23,8 % (29/122) случаев.

Большое число случаев одновременного выявления энтеровируса и риновируса в одном образце может быть связано с возможной кросс-реактивностью и выявлением близкородственных вариантов энтеровирусов и риновирусов (согласно инструкции производителя).

Как известно, в условиях пандемии нового коронавируса значительно изменилась структура ОРВИ (отсутствие вируса гриппа и респираторно-синцитиального вируса в 2020 – 2021 гг.), что связывали с ограничительными мерами, принятыми во всем мире [17]. Однако уже в сезоне 2021 – 2022 гг. вирус гриппа и респираторно-синцитиальный вирус вновь циркулировали в популяции [13]. При этом уровень выявления риновируса/энтеровирусов практически не изменился во время пандемии COVID-19 [18].

Половые и возрастные отличия в уровне детекции респираторных вирусов

При сравнении уровня выявления респираторных вирусов у мальчиков и девочек не было выявлено достоверной разницы: положительными хотя бы на один респираторный вирус были 422/634 (66,6 %) пробы, собранные от мальчиков, и 316/498 (63,5 %) проб, собранных от девочек.

Для энтеровирусов не было обнаружено половых различий в частоте встречаемости: они были выявлены у 9,1 % (58/634) мальчиков и у 9,2 % (46/498) девочек. Уровень выявления риновирусов также достоверно не отличался у мальчиков и девочек,

составив 12,0 % (76/634) и 9,2 % (469/498), соответственно.

Вместе с тем, при сравнении уровня детекции респираторных вирусов у мальчиков и девочек в разных возрастных группах, показано, что в возрастной группе 0–2 лет процент положительных проб был достоверно больше у мальчиков по сравнению с девочками и составил 71,9 % (277/385) и 63,6 % (185/291), соответственно ($\chi^2=5,37$ для $p<0,05$). Это связано с уровнем выявления вируса гриппа A(H1N1)pdm09, который был достоверно выше у мальчиков данной возрастной группы (10,1 % (39/385) по сравнению с девочками (5,5 % (16/275), $\chi^2=6,44$ для $p<0,05$). Для других вирусов не было выявлено достоверных половых различий в частоте встречаемости в разных возрастных группах.

При сравнении уровня детекции энтеровирусов в разных возрастных группах не было выявлено достоверных различий: они были обнаружены в 8,6 % (58/676) образцов от детей 0–2 лет, в 10,3 % (30/292) образцов от детей 3–6 лет и в 9,8 % (16/164) образцов

от детей 7–17 лет. Вместе с тем, некоторые исследователи отмечают более высокий уровень выявления энтеровирусов у детей младше 5 лет [14]. Возрастных различий в уровне выявления риновируса также не было обнаружено: он был выявлен у 11,1 % (75/676) детей возраста 0–2 лет, у 11,6 % (34/292) детей 3–6 лет и 7,9 % (13/164) детей 7–17 лет.

Для метапневмовируса и аденовируса также не было выявлено возрастных особенностей в частоте встречаемости. В то же время респираторно-синцитиальный вирус и вирус парагриппа достоверно реже встречались у детей 7–17 лет. Кроме того, в данной возрастной группе не было выявлено ни одного случая бокавирусной инфекции. Вместе с тем, уровень выявления вируса гриппа увеличивался с возрастом и был достоверно выше у детей 7 лет и старше. Сезонные коронавирусы и вирус SARS-CoV-2 достоверно чаще были выявлены у детей раннего возраста по сравнению с детьми старше 2 лет. Возрастные отличия уровня выявления респираторных вирусов представлены на рисунке 2.

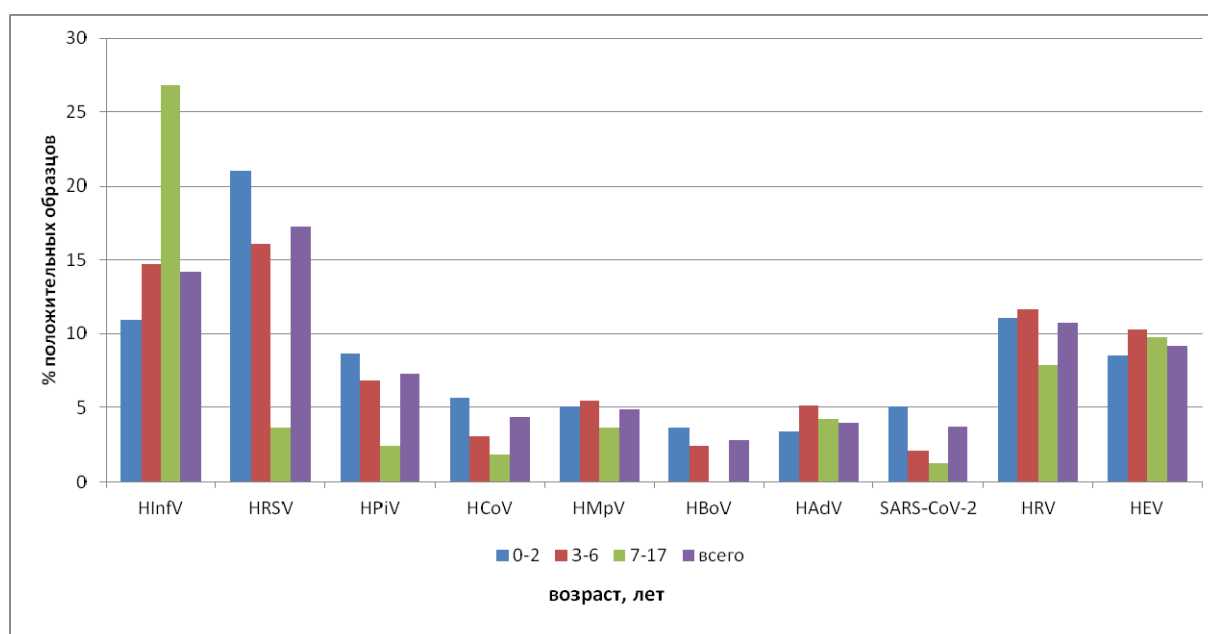


Рисунок 2. Уровень выявления респираторных вирусов у детей в разных возрастных группах

Figure 2. Level of detection of respiratory viruses in different age groups of children

В других работах показано, что встречаемость вирусных патогенов различается в разных возрастных группах, и в нашем исследовании также отмечена противоположная возрастная тенденция для респираторно-синцитиальной вирусной инфекции по сравнению с гриппом: большинство РСВ-положительных детей раннего возраста, в то время как дети, у которых был выявлен вирус гриппа, были значительно старше, и с возрастом их число увеличивалось [19; 20].

Сезонное распределение вирусов

При анализе распространения респираторных вирусов в течение сезона следует отметить, что энтеровирусы регистрировались в течение всего периода наблюдения с незначительным увеличением уровня детекции в ноябре 2022 г. (12,5 %), марте 2023 г. (10,3 %) и мае 2023 г. (10,0 %). Риновирус также выявляли в течение всего сезона с увеличением активности в октябре –

ноябре 2022 г. (13,9 – 14,7 %) и в мае 2023 г. (18,3 %). Вирус гриппа выявляли с ноября 2022 г. по март 2023 г. с максимальным уровнем детекции в декабре (56,5 %), обусловленным циркуляцией преимущественно вируса гриппа A(H1N1)pdm09, в то время как начиная с конца января выявлялся только вирус гриппа В. Таким образом, мы наблюдали достаточно длительную циркуляцию вируса гриппа по сравнению с предыдущими сезонами [13]. Респираторно-синцитиальный вирус регистрировался в течение всего периода наблюдения с более высокой активностью в феврале (25,3 %) и марте (23,6 %) 2023 г., когда активность гриппа стала уменьшаться. Уровень выявления вирусов парагриппа значительно увеличился в апреле 2023 г. (до 18,2 %). Максимальный уровень выявления метапневмовируса и сезонных коронавирусов отмечался в ноябре 2022 г., составив 11,2 %. Уровень выявления SARS-CoV2 в течение всего

сезона был на низком уровне с незначительным увеличением в апреле до 8,8 %. Сезонное распрост-

ранение респираторных вирусов у детей г. Новосибирска представлено на рисунке 3.

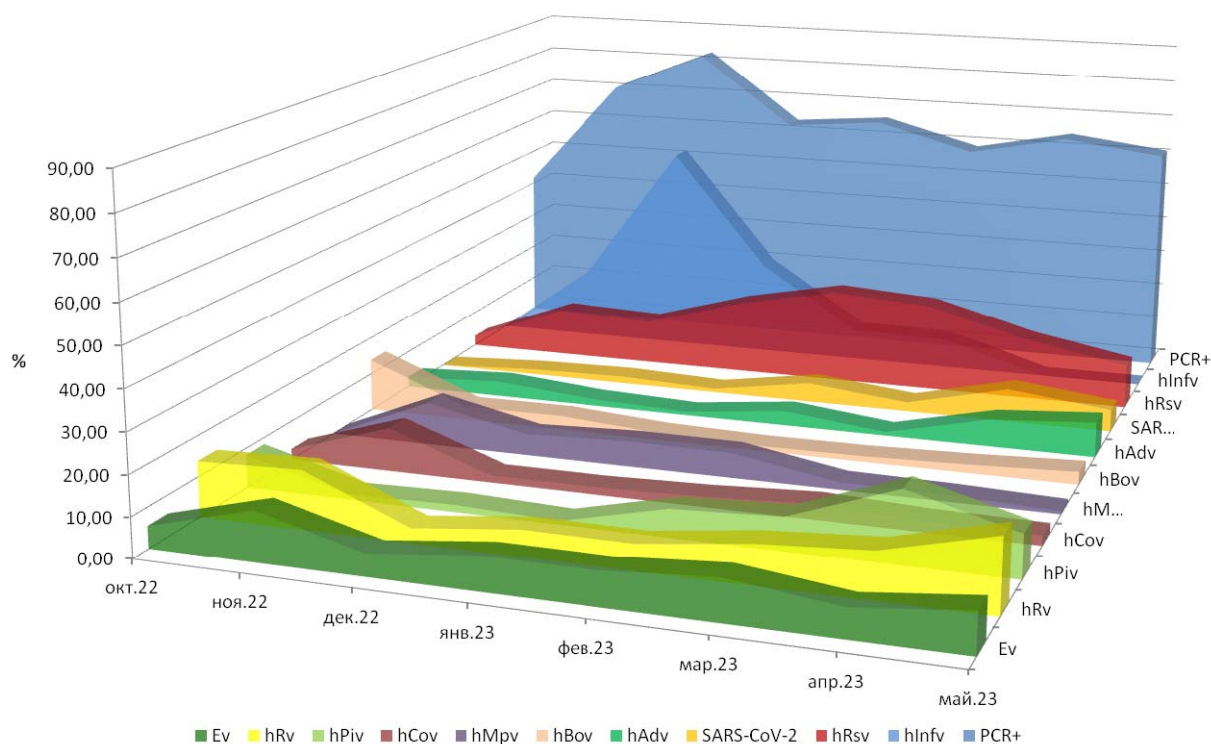


Рисунок 3. Сезонное распределение респираторных вирусов у детей г. Новосибирска, 2022–2023 гг.
Figure 3. Seasonal distribution of respiratory viruses in children in Novosibirsk, 2022–2023

Особенности клинического течения вирусных инфекций

Мы оценивали клиническое течение заболеваний, а также влияние сопутствующей хронической патологии на уровень детекции вирусных патогенов. С этой целью мы анализировали данные историй болезни по следующим критериям: наличие хронических заболеваний (патология сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, почек, нервно-мышечные заболевания), гипертермия (температура выше 39°C), гипоксия, необходимость госпитализации в палату интенсивной терапии, вазопрессорной поддержки и ИВЛ. Данные показатели мы оценивали для пациентов, у которых были выявлены энтеровирусы, риновирусы, а также такие часто встречающиеся вирусы, как вирус гриппа и респираторно-синцитиальный вирус.

Было показано, что у детей с фоновой хронической патологией уровень выявления респираторных вирусов не отличался от детей без сопутствующих заболеваний.

Клинические проявления энтеровирусной инфекции включали в себя лихорадку у всех пациентов, причем гипертермия наблюдалась в 56,7 % случаев. Кашель был у 97,1 % пациентов, одышка – у 61,5 % детей. Кроме того, у 11,5 % пациентов наблюдались боль в горле и заложенность носа. При риновирусной инфекции также у всех детей наблюдалась лихорадка. При этом гипертермия отмечалась в 40,2 % случаев. Кашель отмечался у 95,9 % детей, одышка – у 56,6 % пациентов. Жалобы на

боль в горле предъявляли 9 % пациентов, на заложенность носа – 8,2 % детей. Таким образом, клинические проявления риновирусной и энтеровирусной инфекции были сходными.

При гриппе и респираторно-синцитиальной вирусной инфекции у всех детей также наблюдалась лихорадка, однако при гриппе чаще всего отмечали гипертермию – у 83,2 % детей. Кашель также был частым симптомом как при гриппе (у 96,9 % детей), так и при респираторно-синцитиальной вирусной инфекции (у 97,9 % пациентов). При гриппе несколько чаще, чем при других инфекциях, пациенты отмечали боль в горле (в 15,5 % случаев) и заложенность носа (в 26,7 % случаев). Вместе с тем, при гриппе значительно реже отмечалась гипоксия (у 13,7 % пациентов), чем при энтеровирусной (24,0 %), риновирусной (27,0 %) и респираторно-синцитиальной вирусной инфекции (25,6 %).

Частота госпитализации в палату интенсивной терапии достоверно не отличалась при всех рассматриваемых инфекциях, составив от 12,4 % при гриппе до 16,4 % при риновирусной и респираторно-синцитиальной вирусной инфекции. Вместе с тем, Jenna Fine с соавт. в своем исследовании показали, что дети с риновирусом/энтеровирусом достоверно чаще нуждались в госпитализации в отделение интенсивной терапии по сравнению с детьми с гриппом или респираторно-синцитиальной вирусной инфекцией [21].

Клинические проявления вирусных инфекций представлены в таблице 1.

Таблица 1. Клинические проявления респираторных вирусных инфекций
Table 1. Clinical manifestations of respiratory viral infections

Симптом Symptom	Энтеровирус n=104 Enterovirus n=104	Риновирус n=122 Rhinovirus n=122	Респираторно- синцитиальный вирус n=195 Respiratory syncytial virus n=195	Вирус гриппа n=161 Influenza virus n=161
Лихорадка Fever	104 (100 %)	122 (100 %)	195 (100 %)	161 (100 %)
Гипертермия Hyperthermia	59 (56,7 %)	49 (40,2 %)	80 (41,0 %)	134 (83,2 %)
Кашель Cough	101 (97,1 %)	117 (95,9 %)	191 (97,9 %)	156 (96,9 %)
Боль в горле Sore throat	12 (11,5 %)	11 (9,0 %)	18 (9,2 %)	25 (15,5 %)
Одышка Shortness of breath	64 (61,5 %)	69 (95,9 %)	124 (63,6 %)	110 (68,3 %)
Заложенность носа Nasal congestion	12 (11,5 %)	10 (8,2 %)	13 (6,7 %)	43 (26,7 %)
Гипоксия Hypoxia	25 (24,0 %)	33 (27,0 %)	50 (25,6 %)	22 (13,7 %)
Госпитализация в палату интенсивной терапии Hospitalisation in the ICU	15 (14,4 %)	20 (16,4 %)	32 (16,4 %)	20 (12,4 %)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что респираторные энтеровирусы, наряду с риновирусом, занимают значительное место в структуре ОРВИ. Однако в России данные о вкладе энтеровирусов в этиологию острых респираторных инфекций весьма ограничены. Таким образом, часть ОРВИ оказывается неидентифицированной, что может приводить к необоснованному назначению антибактериальной терапии, что, в свою очередь, способствует развитию антибиотикорезистентности, которая является значимой проблемой здравоохранения во всем мире. Непрерывный надзор обеспечит понимание клинических проявлений и исходов энтеровирусной инфекции, позволит оценивать бремя заболеваний, вызванных энтеровирусами. Кроме того, необходимо дальнейшее, более детальное изучение молекулярной эпидемиологии энтеровирусов с последующим определением их генотипов позволит отслеживать появление новых штаммов, что необходимо для возможной реализации программ вакцинации и стратегий терапии.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-24-00492.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-24-00492.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Simmonds P., Gorbalenya A.E., Harvala H., Hovi T., Knowles N.J., Lindberg A.M., Oberste M.S., Palmenberg A.C., Reuter G., Skern T., Tapparel C., Wolthers K.C., Woo P.C.Y., Zell R. Recommendations for the nomenclature of enteroviruses and rhinoviruses // Archives of Virology. 2020. N 165. C. 793–797. <https://doi.org/10.1007/s00705-019-04520-6>

2. Royston L., Tapparel C. Rhinoviruses and respiratory enteroviruses: not as simple as ABC // Viruses. 2016. N 8. C. 151–156. <https://doi.org/10.3390/v8010016>

3. Fine J., Bray-Aschenbrenner A., Williams H., Buchanan P., Werner J. The Resource Burden of Infections with Rhinovirus/Enterovirus, Influenza, and Respiratory Syncytial Virus in Children // Clin. Pediatr. 2018. N 58. C. 177–184.

4. Marjomäki V., Kalandar K., Hellman M., Permi P. Enteroviruses and coronaviruses: similarities and therapeutic targets // Expert Opinion on Therapeutic Targets. 2021. T. 11. N 1. C. 23–27. <https://doi.org/10.1080/14728222.2021.1952985>

5. Tapparel C., Siegrist F., Petty T.J., Kaiser L. Picornavirus and enterovirus diversity with associated human diseases // Infection, Genetics and Evolution. 2013. N 14. C. 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.10.016>

6. Hayes A., Nguyen D., Andersson M., et al. A European multicentre evaluation of detection and typing methods for human enteroviruses and parechoviruses using RNA transcripts. Journal of Medical Virology. 2020. T. 92. C. 1065–1074. <https://doi.org/10.1002/jmv.25659>

7. Harvala H., Jasir A., Penttinen P., et al. Surveillance and laboratory detection for non-polio enteroviruses in the European Union/European Economic Area, 2016 // Euro Surveill. 2017. T. 22. C. 233–236. <https://doi.org/10.2807/1560-00807>

8. Holm-Hansen C.C., Midgley S.E., Fischer T.K. Global emergence of enterovirus D68: a systematic review // The Lancet Infectious Diseases. 2016. T. 16. N 5. C. 64–75. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)00543-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)00543-5)

9. Poelman R., Schuffenecker I., Van Leer-Buter C., Josset L., Niesters H.G., Lina B. European surveillance for enterovirus D68 during the emerging North-American outbreak in 2014 // Journal of Clinical Virology. 2015. T. 71. C. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2015.07.296>

10. Harvala H., Broberg E., Benschop K., Berginc N., Ladhani Sh., Susi P., Christiansen Claus., McKenna J., Allen D., Makiello Ph., McAllister G., Carmen M., Zakikhany K., Dyrdak R., Nielsen Xiaohui, Madsen T., Paul J., Moore C., Karin von Eijje, Piralla A., Fischer Thea K. Recommendations for enterovirus diagnostics and characterisation within and beyond Europe // Journal of Clinical Virology. 2018. T. 101. C. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2018.01.008>

11. Fillatre A., François C., Segard C., et al. Epidemiology and seasonality of acute respiratory infections in hospitalized children over four consecutive years (2012–2016) // *Journal of Clinical Virology*. 2018. T. 102. C. 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2018.02.010>
12. Kurskaya O., Ryabichenko T., Leonova N., Shi W., Bi H., Sharshov K., Kazachkova E., Sobolev I., Prokopyeva E., Kartseva T., et al. Viral etiology of Acute Respiratory Infections in Hospitalized Children in Novosibirsk City, Russia (2013–2017) // *PLoS ONE*. 2018. T. 13. N 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200117>
13. Kurskaya O.G., Prokopyeva E.A., Sobolev I.A., Solomatina M.V., Saroyan T.A., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Nokhova A.R., Anoshina A.V., Leonova N.V., et al. Changes in the Etiology of Acute Respiratory Infections among Children in Novosibirsk, Russia, between 2019 and 2022: The Impact of the SARS-CoV-2 Virus // *Viruses*. 2023. T. 15. Вып. 4. <https://doi.org/10.3390/v15040934>
14. Baertl S., Pietsch C., Maier M., Hönemann M., Bergs S., Liebert U.G. Enteroviruses in Respiratory Samples from Paediatric Patients of a Tertiary Care Hospital in Germany // *Viruses*. 2021. T. 13. Вып. 5. <https://doi.org/10.3390/v13050882>
15. Poelman R., Schölvinc E.H., Borger R., Niesters H.G., Van Leer-Buter C. The emergence of enterovirus D68 in a Dutch University Medical Center and the necessity for routinely screening for respiratory viruses // *Journal of Clinical Virology*. 2015. T. 62. C. 1–5.
16. Andrés C., Vila J., Gimferrer L., Piñana M., Esperalba J., Codina M.G., Barnés M., Martín M.C., Fuentes F., Rubio S., et al. Surveillance of enteroviruses from paediatric patients attended at a tertiary hospital in Catalonia from 2014 to 2017 // *Journal of Clinical Virology*. 2019. T. 110. C. 29–35.
17. Kiseleva I., Grigorieva E., Larionova N., Al Farroukh M., Rudenko L. COVID-19 in Light of Seasonal Respiratory Infections // *Biology*. 2020. N 9. 240. DOI:10.3390/biology9090240
18. Kiseleva I., Ksenafontov A. COVID-19 Shuts Doors to Flu but Keeps Them Open to Rhinoviruses // *Biology*. 2021. T. 10. Вып. 8. <https://doi.org/10.3390/biology10080733>
19. Cai X., Wang Q., Lin G., et al. Respiratory virus infections among children in South China // *Journal of Medical Virology*. 2014. T. 86. C. 1249–1255.
20. Tabatabai J., Ihling C.M., Manuel B., Rehbein R.M., Schnee S.V., Hoos J., Pfeil J., Grulich-Henn J., Schnitzler P. Viral Etiology and Clinical Characteristics of Acute Respiratory Tract Infections in Hospitalized Children in Southern Germany (2014–2018) // *Open Forum Infectious Diseases*. 2023. T. 10. N 3. DOI: 10.1093/ofid/ofad110
21. Fine J., Bray-Aschenbrenner A., Williams H., Buchanan P., Werner J. The Resource Burden of Infections With Rhinovirus/Enterovirus, Influenza, and Respiratory Syncytial Virus in Children // *Clinical Pediatrics (Phila)*. 2019. T. 58. Вып. 2. C. 177–184. DOI:10.1177/0009922818809483.
4. Marjomäki V., Kalander K., Hellman M., Permi P. Enteroviruses and coronaviruses: similarities and therapeutic targets. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 23–27. <https://doi.org/10.1080/14728222.2021.1952985>
5. Tapparel C., Siegrist F., Petty T.J. Picornavirus and enterovirus diversity with associated human diseases. *Infection, Genetics and Evolution*, 2013, no. 14, pp. 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.10.016>
6. Hayes A., Nguyen D., Andersson M., et al. A European multicentre evaluation of detection and typing methods for human enteroviruses and parechoviruses using RNA transcripts. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 1065–1074. <https://doi.org/10.1002/jmv.25659>
7. Harvala H., Jasir A., Penttinen P., et al. Surveillance and laboratory detection for non-polio enteroviruses in the European Union/European Economic Area, 2016. *Euro Surveill*, 2017, vol. 22, pp. 233–236. <https://doi.org/10.2807/1560-00807>
8. Holm-Hansen C.C., Midgley S.E., Fischer T.K. Global emergence of enterovirus D68: a systematic review. *The Lancet Infectious Diseases*, 2016, vol.16, no. 5, pp. 64–75. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)00543-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)00543-5)
9. Poelman R., Schuffenecker I., Van Leer-Buter C., Josset L., Niesters H.G., Lina B. European surveillance for enterovirus D68 during the emerging North-American outbreak in 2014. *Journal of Clinical Virology*, 2015, vol. 71, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2015.07.296>
10. Harvala H., Broberg E., Benschop K., Berginc N., Ladhani Sh., Susi P., Christiansen Claus., McKenna J., Allen D., Makiello Ph., McAllister G., Carmen M., Zakikhany K., Dyrda R., Nielsen Xiaohui, Madsen T., Paul J., Moore C., Karin von Eije, Piralla A., Fischer Thea K. Recommendations for enterovirus diagnostics and characterisation within and beyond Europe. *Journal of Clinical Virology*, 2018, vol. 101, pp. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2018.01.008>
11. Fillatre A., François C., Segard C., et al. Epidemiology and seasonality of acute respiratory infections in hospitalized children over four consecutive years (2012–2016). *Journal of Clinical Virology*, 2018, vol. 102, pp. 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2018.02.010>
12. Kurskaya O., Ryabichenko T., Leonova N., Shi W., Bi H., Sharshov K., Kazachkova E., Sobolev I., Prokopyeva E., Kartseva T., et al. Viral etiology of Acute Respiratory Infections in Hospitalized Children in Novosibirsk City, Russia (2013–2017). *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, no. 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200117>
13. Kurskaya O.G., Prokopyeva E.A., Sobolev I.A., Solomatina M.V., Saroyan T.A., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Nokhova A.R., Anoshina A.V., Leonova N.V., et al. Changes in the Etiology of Acute Respiratory Infections among Children in Novosibirsk, Russia, between 2019 and 2022: The Impact of the SARS-CoV-2 Virus. *Viruses*, 2023, vol. 15, iss. 4. <https://doi.org/10.3390/v15040934>
14. Baertl S., Pietsch C., Maier M., Hönemann M., Bergs S., Liebert U.G. Enteroviruses in Respiratory Samples from Paediatric Patients of a Tertiary Care Hospital in Germany. *Viruses*, 2021, vol. 13, iss. 5. <https://doi.org/10.3390/v13050882>
15. Poelman R., Schölvinc E.H., Borger R., Niesters H.G., Van Leer-Buter C. The emergence of enterovirus D68 in a Dutch University Medical Center and the necessity for routinely screening for respiratory viruses. *Journal of Clinical Virology*. 2015, vol. 62, pp. 1–5.
16. Andrés C., Vila J., Gimferrer L., Piñana M., Esperalba J., Codina M.G., Barnés M., Martín M.C., Fuentes F., Rubio S., et al. Surveillance of enteroviruses from paediatric patients attended at a tertiary hospital in Catalonia from 2014 to 2017. *Journal of Clinical Virology*. 2019, vol. 110, pp. 29–35.
17. Kiseleva I., Grigorieva E., Larionova N., Al Farroukh M., Rudenko L. COVID-19 in Light of Seasonal Respiratory

REFERENCES

1. Simmonds P., Gorbelenya A.E., Harvala H., Hovi T., Knowles N.J., Lindberg A.M., Oberste M.S., Palmenberg A.C., Reuter G., Skern T., Tapparel C., Wolthers K.C., Woo P.C.Y., Zell R. Recommendations for the nomenclature of enteroviruses and rhinoviruses // *Archives of Virology*, 2020, no. 165, pp. 793–797. <https://doi.org/10.1007/s00705-019-04520-6>
2. Royston L., Tapparel C. Rhinoviruses and respiratory enteroviruses: not as simple as ABC. *Viruses*, 2016, no. 8, pp. 151–156. <https://doi.org/10.3390/v8010016>
3. Fine J., Bray-Aschenbrenner A., Williams H., Buchanan P., Werner J. The Resource Burden of Infections with Rhinovirus/Enterovirus, Influenza, and Respiratory Syncytial Virus in Children. *Clinical Pediatrics*. 2018, no. 58, pp. 177–184.

Infections. *Biology*, 2020, no. 9, 240.

DOI:10.3390/biology9090240

18. Kiseleva I., Ksenafontov A. COVID-19 Shuts Doors to Flu but Keeps Them Open to Rhinoviruses. *Biology*, 2021, vol. 10, iss. 8. <https://doi.org/10.3390/biology10080733>

19. Cai X., Wang Q., Lin G., et al. Respiratory virus infections among children in South China. *Journal of Medical Virology*. 2014, vol. 86, pp. 1249–55.

20. Tabatabai J., Ihling C.M., Manuel B., Rehbein R.M., Schnee S.V., Hoos J., Pfeil J., Grulich-Henn J., Schnitzler P. Viral Etiology

and Clinical Characteristics of Acute Respiratory Tract Infections in Hospitalized Children in Southern Germany (2014–2018). *Open Forum Infectious Diseases*, 2023, vol. 10, no. 3. DOI: 10.1093/ofid/ofad110

21. Fine J., Bray-Aschenbrenner A., Williams H., Buchanan P., Werner J. The Resource Burden of Infections With Rhinovirus/Enterovirus, Influenza, and Respiratory Syncytial Virus in Children. *Clinical Pediatrics (Phila)*, 2019, vol. 58, no. 2, pp. 177–184. DOI:10.1177/0009922818809483.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Г. Курская разработала концепцию исследования, написала рукопись, проанализировала и интерпретировала результаты. Тереза А. Сароян, Алина Р. Нохова и Татьяна А. Мурашкина провели ПЦР-исследование, проанализировали и интерпретировали результаты. Никита А. Дубовицкий, Мария В. Соломатина и Татьяна А. Гутова проанализировали и интерпретировали результаты. Анастасия А. Дерко разработала дизайн исследования, проанализировала результаты. Полина С. Басова провела ПЦР-исследование. Кирилл А. Шаршов коррективировал рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga G. Kurskaya developed the research concept, writing the manuscript, analysed and interpreted the results and wrote the manuscript. Teresa A. Saroyan, Alina R. Nokhova and Tatiana A. Murashkina conducted PCR research and analysed and interpreted results. Nikita A. Dubovitskiy, Maria V. Solomatina and Tatiana A. Gutova analysed and interpreted results. Anastasia A. Derko developed research design and analysed results. Polina S. Basova conducted PCR research. Kirill A. Sharshov proofread the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга Г. Курская / Olga G. Kurskaya <https://orcid.org/0000-0002-1931-2026>

Тереза А. Сароян / Tereza A. Saroyan <https://orcid.org/0000-0001-8071-542>

Алина Р. Нохова / Alina R. Nokhova <https://orcid.org/0000-0002-7891-5847>

Никита А. Дубовицкий / Nikita A. Dubovitskiy <https://orcid.org/0000-0002-7780-1485>

Анастасия А. Дерко / Anastasia A. Derko <https://orcid.org/0000-0002-5984-0819>

Полина С. Басова / Polina S. Basova <https://orcid.org/0009-0002-5546-5043>

Татьяна А. Гутова / Tatiana A. Gutova <https://orcid.org/0009-0001-4943-2619>

Мария В. Соломатина / Maria V. Solomatina <https://orcid.org/0000-0003-0736-0271>

Татьяна А. Мурашкина / Tatiana A. Murashkina <https://orcid.org/0000-0003-3719-4796>

Кирилл А. Шаршов / Kirill A. Sharshov <https://orcid.org/0000-0002-3946-9872>

Оригинальная статья / Original article
УДК 556.5
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-182-191

Анализ современных проблем сотрудничества России и Казахстана в сфере природопользования и экологической безопасности

Сергей В. Левыкин, Юрий А. Падалко, Александр А. Чибилёв
Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Юрий А. Падалко, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела ландшафтной экологии Институт степи Уральского отделения Российской академии наук; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +73532774432
Email yapadalko@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>

Формат цитирования

Левыкин С.В., Падалко Ю.А., Чибилёв А.А.
Анализ современных проблем сотрудничества России и Казахстана в сфере природопользования и экологической безопасности // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 182-191. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-182-191

Получена 10 июля 2023 г.
Прошла рецензирование 23 сентября 2023 г.
Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Рассмотрены проблемы сотрудничества РФ и РК в сфере природопользования и экологической безопасности. Представлены возможные направления развития сотрудничества как на межгосударственном, так и на межрегиональном уровнях приграничных территорий. Цель – проанализировать современное состояние сотрудничества РФ и РК в сфере природопользования и экологической безопасности.

Материал и методы. Основные результаты получены с применением системного подхода методами полевых географических исследований, сравнительно-исторического и сравнительно-типологического анализа и др. Использованы материалы по водным ресурсам, водохранилищам и статистические показатели по динамике и структуре водопользования.

Результаты. Выявлены основные проблемы в сфере природопользования и экологической безопасности двух стран. Определены и обоснованы перспективы межгосударственного взаимодействия России и Казахстана и на региональном уровне по трансграничным экологическим проблемам и устойчивому природопользованию земельными и водными ресурсами, охране животного мира. На основе ретроспективного анализа опыта взаимодействия двух стран и возможных перспектив сотрудничества, предложены концепции и направления развития стратегического партнерства в сфере приграничного природопользования и экологической безопасности трансграничных водных объектов, сохранения мигрирующих видов животного мира.

Выводы. Современное постцелинное пространство уверенно трансформируется в агроэкспортное – аналог целинного на новом технологическом и климатическом этапе с ориентацией на экспорт в условиях новых вызовов. Дальнейшее развитие этого пространства должно быть основано на оптимизации земледелия, водопользования с учётом сохранения природного разнообразия.

Ключевые слова

Приграничное сотрудничество, земельные ресурсы, оптимизация ландшафтов, трансграничные речные бассейны.

Analysis of modern problems of cooperation between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan in the field of environmental management and environmental safety

Sergey V. Levykin, Yuri A. Padalko and Alexander A. Chibilev

Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact

Yuri A. Padalko, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Landscape Ecology, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences;
11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000.
Tel. +73532774432

Email yapadalko@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>

How to cite this article

Levykin S.V., Padalko Yu.A., Chibilev A.A. Analysis of modern problems of cooperation between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan in the field of environmental management and environmental safety. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 182-191. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-182-191

Received 10 July 2023

Revised 23 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. The problems of cooperation between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan in the field of nature management and environmental safety are considered. Possible directions for the development of cooperation both at the interstate and interregional levels of border territories are presented. Purpose is to analyse the current state of cooperation between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan in the field of environmental management and environmental safety.

Material and Methods. The main results were obtained using a systematic approach through field geographical research, comparative historical and comparative typological analysis, etc. Materials regarding water resources, reservoirs and statistical indicators of the dynamics and structure of water use were used.

Results. The main problems in the field of nature management and environmental safety of the two countries were identified. The prospects of interstate cooperation between Russia and Kazakhstan at the interstate and regional levels on transboundary environmental problems and sustainable use of land and water resources, protection of wildlife are identified and substantiated. Based on a retrospective analysis of the experience of interaction between the two countries and possible prospects for cooperation, concepts and directions for the development of strategic partnership in field of cross-border nature management and environmental safety of transboundary water bodies, and the conservation of migratory species of wildlife are proposed.

Conclusions. The modern post-virgin space is confidently transforming into an agro-export one – an analogue of the virgin one at a new technological and climatic stage with an export orientation in the face of new challenges. The further development of this space should be based on the optimisation of agriculture and water use, taking into account the preservation of natural diversity.

Key Words

Cross-border cooperation, land resources, landscape optimisation, transboundary river basins.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении трёх последних столетий Российско-Казахстанский степной регион развивался как единое целое, представляя собой хотя и сложное по структуре, но единое историко-географическое, этническое, экологическое, экономическое и информационное пространство. За время развития и территориального переустройства к настоящему времени сформировались проблемные эколого-географические ситуации требующие совместных межгосударственных для минимизации последствий: последствия изменения структуры земельных ресурсов после 1990 г.; нарушение бассейнового принципа природопользования в бассейнах трансграничных рек; проблема сохранения видов, находящихся на грани исчезновения при трансграничных миграциях (на примере сайгака *Saiga tatarica*).

Крупнейшая советская целинная кампания 1950-х, вызванные ею аграрные и ландшафтные изменения оказались столь радикальными, что дают основания рассматривать территорию степей Заволжья, Южного Урала, Западной Сибири и Казахстана, охваченную этой кампанией, как специфическое географическое пространство, которое мы рассматриваем как постцелинное. Это пространство необходимо рассматривать в динамике на протяжении десятилетий, с выявлением особенностей, закономерностей, факторов и контрастов этого пространства [1–9]. В советское время внутри единого целинного пространства не были предусмотрены дифференцированные подходы, учитывающие зональные и региональные природные различия.

В начале 1990-х на целинном пространстве появляются два принципиальных новшества. Во-первых, фактически по всему целинному пространству прошла государственная граница независимых государств: России и Казахстана. Во-вторых, единое пространство распределилось между РФ, которой отошли порядка 16 млн га целинных посевных площадей (порядка 40 %), и РК, которой отошли порядка 25 млн га (порядка 60 %). В-третьих, в обеих странах начались глубокие экономические преобразования в сельском хозяйстве со своей спецификой в каждой. Для структурной эволюции целинного пространства оказался принципиален характер проведения земельных реформ: в РФ реформа носила более выраженную социальную ориентацию, в силу которой право на угодья было поровну распределено между всеми сельскими жителями; в Казахстане распространилась долгосрочная аренда земель. В обеих странах реформы были направлены на расформирование крупных государственных целинных сельхозпредприятий, на основе которых было организовано всё целинное пространство.

В начале эти изменения не вызвали принципиальной разницы целинного пространства по обе стороны границы: сохранялась инерция советского времени, прозрачность границ, крупные предприятия и, самое главное, по обе стороны границы практически синхронно в конце 1990-х произошло значительное сокращение посевных площадей как следствие проведения радикальных реформ. Не вызвав принципиальной разницы по обе стороны границы, эти изменения своей радикальностью фактически переродили целинное пространство в новое, постцелинное, специфической характеристикой которого стали процессы массового самовосстановления степных

экосистем на залежах, изучение которых позволило выявить высокий самовосстановительный потенциал и свойства агрессивных внедренцев у титульных степных видов.

В целом, антропогенная нагрузка на степные агроландшафты этого пространства значительно снизилась, отмечались тенденции устойчивого восстановления природных комплексов. Тем не менее, геоэкологические проблемы, возникшие ещё в советское время, сохранились, перейдя в новое качество.

У России и Казахстана имеется два крупных трансграничных речных бассейна р. Урал и р. Иртыш. По площади бассейнов и объёму водных ресурсов речные бассейны р. Урал и р. Иртыш несопоставимы, но каждый играет важную роль в социально-экономическом развитии российско-казахстанского трансграничного региона и отношении между странами. Верховье реки Иртыш (р. Чёрный Иртыш) расположены в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китая, затрудняет процесс по выработки общих решений по использованию трансграничной р. Иртыш.

В двух бассейнах рек сосредоточено более половины ресурсов поверхностного стока Республики Казахстан. Критически важное значение имеют водные ресурсы этих бассейнов в водоснабжении промышленных районов, городов и регионов России. На территории трансграничных речных бассейнов Урала и Иртыша в регионах России и Казахстана проживает более 20 млн человек. В Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китая на территории верхней части бассейна р. Иртыш (р. Чёрный Иртыш) и получающих из него воду районов проживает более 10 млн человек.

Проблема обеспечения условий миграции сайгака. Если на целинном пространстве сохранялся исторический максимум популяции сайгака в Казахстане и России, то на постцелинном пространстве сайгак находился на грани вымирания вплоть до принятия Казахстаном энергичных мер по его спасению.

Основополагающими документы развития двустороннего российско-казахстанского сотрудничества, в т.ч. в сфере охраны окружающей среды являются:

Декларация между РФ и РК о вечной дружбе и союзнничестве, ориентированном в XXI столетие, от 6 июля 1998 г.

Соглашение между Правительством РФ и Правительством РК о сотрудничестве в области охраны окружающей среды от 22 декабря 2004 г.

Соглашение между Правительством РФ и Правительством РК о межрегиональном и приграничном сотрудничестве, от 7 сентября 2010 г.

Исследованиями постцелинного пространства занимаются Институт степи УрО РАН в Оренбурге, Русское географическое общество, в т.ч. его Природоохранительная комиссия, Казахстанское географическое общество, вузовская наука в крупных городах постцелинного пространства.

Проблемы в бассейнах Урала и Иртыша обозначены в водных стратегиях обоих государств. В настоящее время между государствами подписаны только рамочные соглашения по использованию и охране трансграничных водных объектов. В маловодные периоды согласно договоренностям российско-казахстанской комиссии в бассейне р. Урал российская сторона восполняет речной сток из водохранилищ на р.

Урал для устойчиво водоснабжения водохозяйственного комплекса регионов Республики Казахстан. Расположенные на р. Иртыш и его трансграничных притоках субъекты Российской Федерации также нуждаются в устойчивом притоке с территории Республики Казахстан. По настоящее время отсутствует согласованное межгосударственное решение по регулированию стока и вододелению между странами. Ситуация осложняется тем, что нет трёх сторонних договоренностей по бассейну р. Иртыш. Между Китаем и Казахстаном есть только двухсторонние соглашения о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек. В настоящее время вопросы по вододелению в бассейне продолжают согласовывать специалисты двух стран [10–14].

С целью анализа современных проблем сотрудничества РФ и РК в сфере природопользования и экологической безопасности были изучены основные трансграничные проблемы двух стран связанные с земельными и водными ресурсами, а также охраны животного мира на примере сайгака. Обобщен ретроспективный опыт взаимодействия двух стран в решении данных проблем. Представлены возможные отправные точки развития сотрудничества как межгосударственном, так и межрегиональном уровне приграничных регионов и концепции стратегического развития сотрудничества в области природопользования и экологической безопасности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные результаты получены с применением системного подхода методами полевых географических исследований, сравнительно-исторического и сравнительно-типологического анализа, интервьюирования, экспертных и логических обобщений.

Материалы исследования включали сведения о общих водных ресурсах, местном стоке, водохранилищах и статистические показатели по фактической динамике и структуре водопользования в субъектах Российской Федерации и регионах Республики Казахстан, Китая за период с 2010 по 2020 гг. [15]. Для определения соотношения объемов водопотребления к доступным возобновляемым водным ресурсам рассчитывался показатель коэффициента использования водных ресурсов местного и общего стока. Значения показателя при соотношении менее 10 % свидетельствуют о том, что водный стресс не наблюдается; если от 10 до 20 % – существует слабая нехватка воды; если 20–40 % – умеренная; превышение 40 % означает высокий уровень нехватки воды (водный стресс). С использованием статистических методов проводился анализ изменений и тенденций в показателях водопользования. Показатели водопользования за многолетний период относятся к временным рядам, поэтому были первично исследованы на наличие трендов и стационарность данных рядов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Последствия изменения структуры земельных ресурсов после 1990 г.

Начиная с XXI в. в силу своей специфики реформ по разные стороны границы стали проявляться ландшафтные различия постцелинного пространства в России и Казахстане. Последовательность процессов резкого сокращения посевных площадей, самовосстановления степей и распашки вторичных степей на залежах

оказалась общей, но в Казахстане каждый процесс носил более масштабный характер. При этом нельзя не отметить, что в российской части постцелинного пространства биоклиматический потенциал для зернового хозяйства снижается по направлению к границе, но остаётся относительно высоким, в то время как в казахстанской части к границе тяготеют лучшие угодья и биоклиматический потенциал снижается с удалением от неё вплоть до физической непахотопригодности. Возможно поэтому не была выявлена закономерность тяготения основных ареалов самовосстановления степей к границе (хотя отдельные ареалы такого тяготения были найдены), но удалось выявить любопытное явление в динамике территорий по разные стороны любых границ, в том числе государственной, которое мы описываем как структурную осцилляцию. Под осцилляцией понимается однократное или многократный обмен тенденциями развития между территориями, прилежащими к линии границы с разных сторон. Обмениваемыми тенденциями являются тенденции к развитию и доминированию либо степной титульности в форме быстрого самовосстановления степных экосистем, либо полей в форме массовой распашки залежей и вторичных степей.

Наиболее масштабным примером осцилляции явилось само по себе пространство степей Евразии с границей по р. Волга. В 1934–1954 гг. самым распаханым был западный сектор степей, где целинные плакорные степи сохранялись на конных заводах и в заповедниках. При этом конные заводы занимали достаточно большие площади и явились основной средой обитания титульной степной биоты. Восточный сектор был относительно мало затронут распашкой, массивы степей сохранялись на ГЗФ, отгонных пастбищах, целине. Целинный мегапроект совершил обмен: по его завершении, наоборот, плакоры восточного сектора оказались более распаханymi, чем западного, а в целом степные ландшафты после целинного проекта пострадали больше, чем в западном секторе [16]. Новый более трагический для степей обмен состояниями по разные стороны Волги произошёл после ликвидации конных заводов и распашки их территории. Снова, и уже окончательно, самым трансформированным оказался западный сектор степей.

Яркий пример осцилляции по государственной границе дали Светлинский район (РФ) и сопредельный с ним Айтекебийский район (РК). С 1998 по 2008 гг. в Айтекебийском районе в результате массового заброса свыше 200 тыс. га пашни наблюдалось быстрое восстановление ресурсов титульной степной биоты, прежде всего сурка, который вышел на максимално возможную численность вплоть до превышения доцелинной. Светлинский район с 2000 года в значительной степени восстановил целинный уровень распашки, который сохранялся до второго десятилетия 21 века. Затем произошёл обмен состояниями. В результате прихода крупных инвесторов в Айтекебийском районе за два года было распаханно не менее 100 тыс. га залежей и формирующихся вторичных степей, что подорвало ресурсы сурка вызвав его гибель и миграцию в сопредельные районы РФ. До настоящего времени площадь пашни держится на уровне 220–250 тыс. га, ресурсы сурка несопоставимо меньше, чем до повторной распашки. Со второго

десятилетия 21 века в Светлинском районе наблюдалась тенденция к сокращению пашни и восстановлению титульной степной биоты, в т.ч. сурка на сопоставимой площади.

Другая осцилляция возможно развивается в приграничной полосе Первомайского района Оренбургской области, по р. Чаган между двумя выступами российской территории: западный изолированный рекой и границей представляет собой залежь и вторичную лессингоковильную степь с обильным стрепетом на площади свыше 10 тыс. га, восточный сопоставимый по площади был похож на западный, но после прихода агрохолдинга максимально распахан.

Фундаментальные и прикладные результаты полученные в ходе комплексного изучения динамики агроландшафтов по обе стороны российско-казахстанской (постцелинной) границы были использованы в процессах развития межгосударственного трансграничного сотрудничества РК и РФ, прежде всего для выработки совместных документов по совместному сохранению и восстановлению ландшафтно-биологического разнообразия степей и качественному решению названных выше проблем.

Россия и Казахстан как крупнейшие степные державы мира унаследовавшие целинное пространство Евразии несут ответственность за дальнейшую судьбу степей. Именно на их территории сосредоточены самовосстанавливающиеся вторичные степи XXI века, представлено выдающееся ландшафтное и биологическое разнообразие степей Евразии включая восстановленную популяцию сайгака в Казахстане и полувольную популяцию лошади Пржевальского реинтродуцированную в России. Дальнейшая судьба единого в природном отношении целинного пространства по обе стороны государственной границы требует всестороннего развития сотрудничества России и Казахстана в сферах:

- 1) территориальной охраны степей (как трансграничных природных систем),
- 2) новационных форм сохранения степей,
- 3) содействия генетическому обмену и поддержки миграционных путей редких и хозяйственно ценных степных видов,
- 4) неонамизма,
- 5) современных почво- и ресурсосберегающих технологий степного земледелия,
- 6) продвижения на мировые рынки мясной продукции степей и экологически дружелюбного земледелия,
- 7) контроля степных пожаров,
- 8) контроля популяций вредителей сельского хозяйства, в т.ч. саранчовых.

Высокая актуальность и острота проблем сохранения и восстановления степей на постцелинном пространстве привлекли крупнейших международных организаций по охране природы, которые поддерживали исследования российских и казахстанских учёных направленные на выявление участков и массивов степей, развитие системы ООПТ, в т.ч. трансграничных, и восстановление диких степных копытных. На приграничных территориях постцелинного пространства были осуществлены масштабные международные природоохранные проекты, в т.ч. направленные на развитие трансграничного сотрудничества России и Казахстана:

– Проект ПРООН/МПР/ГЭФ «Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России» 2010–2016. Оренбургская область – один из четырёх пилотных регионов (со стороны России);

– Проект ПРООН/Правительства РК/ГЭФ «Сохранение и устойчивое управление степными экосистемами» 2011–2016 (со стороны Казахстана);

– Проект ЕЭК ООН «Изучение трансграничных рек Казахстана: р.Урал и р. Кигач» 2016–2017 (международный с привлечением экспертов Казахстана и России).

Успеху способствовало то, что проекты осуществлялись практически одновременно по обе стороны границы, что позволило проводить согласованные исследования и совместно вырабатывать итоговые документы.

В рамках проектов были выявлены сохранившиеся участки целинных степных экосистем и ядра восстановления вторичных степей в Оренбургской области РФ и сопредельных областях РК. На наиболее ценных было предложено организовать приграничные и трансграничные степные ООПТ. В приграничных районах Оренбургской области были поставлены на кадастровый учёт как памятники природы Никольская степь (202 га, Соль-Илецкий район) и Акжарская степь (14,7 тыс. га, Ясненский район). Нельзя не отметить уникальную специфику создания приграничных ООПТ в Оренбургской области – реализацию принципа «степной зелёной конверсии». В природоохранном обороте были введены территории расформированных объектов МО РФ: упомянутая выше Акжарская степь и Орловская степь (16,5 тыс. га, Беляевский район), на базе которой в 2014 г. был оперативно создан 5-й специализированный участок ГПЗ «Оренбургский» «Предуральская степь» по реинтродукции лошади Пржевальского.

Был подобран ряд наиболее перспективных массивов для создания трансграничных степных ООПТ [17].

1. Чибендино-Троицко-Хобдинский для сохранения и восстановления зональных степей на каштановых почвах и кальцефитных степей Предуралья, сохранения мест обитания стрепета, дрофы, сайгака (около 270 тыс. га). Массив расположен на стыке Соль-Илецкого района Оренбургской области и сопредельных Чингирлаусского района Западно-Казахстанской области и Хобдинского района Актыубинской области.

2. Айтуарско-Эбитинский для сохранения зональных плакорных, увалистых и низкорослых степей Южного Урала на южных чернозёмах (общей площадью около 100 тыс. га). Массив расположен на территории Кувандыкского (включая участок ГПЗ «Оренбургский» «Айтуарская степь» площадью 6,7 тыс. га) и Гайского районов Оренбургской области РФ и Каргалинского района Актыубинской области РК (84 тыс. га в Актыубинской области, преимущественно территория Государственного природного заказника местного назначения «Эбита»).

3. Шалкарский озерно-степной массив для сохранения и восстановления зональных и солонцеватых дерновиннозлаковых степей Зауралья на каштановых почвах, ресурсов сурка, косули, камышового кабана, сайгака, стрепета, сохранения и восстановления водно-болотных угодий и водопла-

вающей дичи (283 тыс. га, из них 167 тыс. га Светлинском районе Оренбургской области РФ, 116 тыс. га Айтекебийском районе Актюбинской области РК). В качестве потенциальных ядер рассматривались участок ГПЗ «Оренбургский» «Ащисайская степь» (7,2 тыс. га) и Светлинский биологический заказник (8,4 тыс. га).

Проблемы трансграничной миграции сайгака

В 2012–2013 гг. в приграничных Казталовском и Бокейординском районах Западно-Казахстанской области Республики Казахстан спроектированы и в 2022 г. учреждены Государственный природный резерват «Бокейорда» (343 тыс. га) и Ащизекский государственный природный заказник (315 тыс. га). Организация этих ООПТ совпало периодом роста Волго-уральской популяции сайгака, которая за последние несколько лет увеличилась в шесть раз и на сегодня приближается к миллионной численности [18–19]. Растущая Волго-уральская популяция стала поистине степным чудом Евразии 21 века, она многократно превысила позднесоветский максимум. Сайгаки стали совершать сезонные миграции в приграничные Астраханскую, Волгоградскую, Саратовскую и Оренбургскую области РФ на отёл и летовки.

Рост численности Волго-уральской популяции сайгака является ярким современным вызовом для развития российско-казахстанского сотрудничества в сферах сохранения степей, фундаментальной науки, приграничных коммуникаций, инвестиций. Судьба сайгака привлекла внимание авторитетных мировых природоохранных организаций, вид становится мировым брендом охраны дикой природы.

В рамках разработки плана действий по реализации Стратегии сохранения сайгака в РФ до 2030 г. изучены основные проблемы, связанные с интеграцией растущей трансграничной Волго-уральской популяции в современные агроландшафты приграничных районов РФ и РК, сделан ряд предложений. Комплексные исследования по проблематике трансграничной мигрирующей популяции сайгака продолжаются совместно в рамках договора о сотрудничестве между Западно-Казахстанским университетом им. М. Утемисова (Уральск, РК) и Институтом степи УрО РАН (Оренбург, РФ). В рамках развития научного и природоохранного трансграничного сотрудничества в 2023 г. организован научный полустационар Аралсорский на базе уникального сора и солёного озера Аралсор находящегося в ядре основного ареала Волго-уральской популяции сайгака. На базе полустационара проведён ряд экспедиций позволивший актуализировать сведения о поведении, экологии сайгака, его ландшафтных предпочтениях в современных климатических и антропогенных условиях российско-казахстанского приграничья и разработать ряд предложений по интеграции сайгака в современные агроландшафты.

Результаты трансграничных исследований и обобщений позволяют отметить следующие совместные достижения, актуальные проблемы и перспективы сотрудничества России и Республики Казахстан:

Достижения

1. Создана прочная институциональная основа для развития всестороннего трансграничного сотрудничества, в т.ч. в сфере землепользования, охраны ландшафтного и биологического разнообразия, водопользования.

2. Казахстан был и остаётся партнёром России в решении как общих трансграничных проблем, так и проблем устойчивого развития Цивилизации.

3. В условиях современных глобальных вызовов приоритеты сотрудничества для России смещаются в сторону восточных и южных соседей.

4. Комплексными многолетними ландшафтными и водными исследованиями создана фундаментально-научная основа для плодотворного сотрудничества в справедливом распределении трансграничных ресурсов и достижении устойчивости трансграничных природно-антропогенных систем.

5. Трансграничная территориальная охрана ландшафтно-биологического разнообразия степей развивается на научной основе, построенной в результате совместных исследований.

6. В приграничном Беляевском районе создан Центр реинтродукции лошади Пржевальского становящийся донором животных с потенциалом международного донорства.

7. Республика Казахстан достигла впечатляющего успеха в восстановлении популяций сайгака, прежде всего трансграничной Волго-уральской.

8. В 2021 г. лошадь Пржевальского включена в Красную Книгу РК, а на национальном уровне признана «джунгарским чудом». Активизирован проект реинтродукции вида, перспективными территориями признаны «Алтын дала», «Алтын-Эмель», «Чарын», «Колсай колдери», Наурзумский заповедник.

Проблемы

1. В связи с колебаниями мировых цен зерно и реализацией ряда национальных проектов поддержки зернового хозяйства в РФ и РК активизировалась распашка залежей, в т.ч. развившихся во вторичные степи, и последних участков целины.

2. Организация трансграничных степных ООПТ не завершена, имеется большой потенциал развития.

3. Трансграничная Волго-уральская популяция сайгака сталкивается с рядом агроэкологических проблем, особенно в период весенних миграций в приграничные земледельческие районы Саратовской и Волгоградской областей РФ.

4. План действий по реализации российской стратегии сохранения сайгака находится в стадии разработки.

5. Массовая миграция сайгака в 2022 и 2023 гг. в приграничные районы РФ показала: при том, что в России в отношении сайгака принципиально ужесточено уголовное наказание за добычу и оборот дериватов, явно недостаточны институциональные основы сохранения мест его обитания за пределами ООПТ, прежде всего родильных полей мигрирующих популяций. В качестве вызова для мигрирующих трансграничных популяций можно выделить фактическую реализацию проекта Целина-2 по распашке залежей и проект увеличения экспортного потенциала по баранине.

Перспективы

1. При участии авторов созданы научные основы и институциональные предпосылки совместных действий по адаптации мигрирующих популяций сайгака к современным степным агроландшафтам на приграничных территориях.

2. В ближайшее время государственный природный резерват Алтын-Дала (400 тыс. га) расположенный в приграничной с РФ Костанайской области после

реинтродукции лошади Пржевальского (2025–2026) станет одним из крупнейших мировых центров восстановления диких степных копытных Евразии: сайгак, кулан, лошадь Пржевальского. В перспективе Алтын-Дала и ГПЗ Оренбургский смогут поддерживать межпопуляционный обмен животными.

3. Сохраняется потенциал для организации по государственной границе сети трансграничных степных ООПТ, в т.ч. новационных форм для сохранения мигрирующих популяций копытных.

Проблемы устойчивого водопользования в бассейнах трансграничных рек

Трансграничными с Республикой Казахстан являются бассейны рек: Урала и Иртыша (включая Тобол, и Ишим), а истоки р. Иртыш (р. Чёрный Иртыш) с Китаем. Российская часть составляет более 70 % площади этих бассейнов за исключением реки Ишим (где, только 18 % площади бассейна относится к территории России). К основным трансграничным рекам следует отнести крупные притоки Урала – Илек и Орь, Тобола – Убаган большая часть стока которых формируется на территории Казахстана.

На национальном правовом уровне в ранней редакции Водного кодекса Российской Федерации (1995 г.) [11] присутствовало определение «трансграничный водный объект» и отождествлялось с пограничным водным объектом. В новую редакцию Водного кодекса (2006 г.) [12] это понятие внесено не было и перекочевало в международные соглашения, подписанные Российской Федерацией с некоторыми сопредельными странами [13].

Общий объём притока по трансграничным рекам, формирующийся за пределами границы Российской Федерации, превышает отток за пределы страны (в 2018 г приток превысил отток в 7 раз). Существенный объём притока приходится на реки Иртыш и Ишим с территории Казахстана (37,9 км³ в 2018 г.), а отток на реку Урал (4,4 км³ в 2018 г.). Регионы значительно различаются по обеспеченности водными ресурсами как местного так общего поверхностного стока (включая транзитный переток из других территорий). Наименее обеспечены водными ресурсами регионы Республики Казахстан (табл. 1) [15; 20].

Таблица 1. Обеспеченность водными ресурсами и их использование в российско-казахстанском трансграничном регионе

Table 1. Provision of water resources and their use in the Russian-Kazakh transboundary region

Регион Region	Среднегодовой объём поверхностного стока (общий), км ³ Average annual volume of surface runoff (total), cube km	Удельная обеспеченность общими водными ресурсами, тыс. м ³ /год чел. Specific availability of total water resources, thousand cubic meters/year per person.	Коефф. использования местного стока (водный стресс) в 2019 г. Local runoff utilization coefficient (water stress) in 2019	Коефф. использования общих водных ресурсов (водный стресс) в 2019 г. Coefficient of use of total water resources (water stress) in 2019
Российская Федерация / Russian Federation				
Курганская область Kurgan region	3,5	4,1	7,1	2,2
Омская область Omsk region	41,3	20,9	3,0	0,4
Оренбургская область Orenburg region	12,7	6,3	22,0	13,0
Челябинская область Chelyabinsk region	7,4	2,1	13,2	11,8
Тюменская область Tyumen region	583,7	161,5	0,1	0,2
Республика Казахстан / Republic of Kazakhstan				
Актюбинская область Aktobe region	3,25	3,6	7,0	6,1
Атырауская область Atyrau region	6,58	10,0	383,3	3,5
Западно-Казахстанская область West Kazakhstan region	8,73	13,2	14,0	2,7
Костанайская область Kostanay region	2,21	3,0	3,4	2,9
Северо-Казахстанская область North-Kazakhstan region	1,02	1,9	32,9	24,5
Павлодарская область Pavlodar region	29,12	38,8	6012,0	10,3
Восточно-Казахстанская область East Kazakhstan region	35,65	26,1	2,0	1,6

В бассейне р. Урал наиболее зависимые от транзитного речного стока из других регионов являются Западно-Казахстанская и Атырауская области, в бассейне р. Иртыш

Павлодарская и Карагандинская области Республики Казахстан. Существенную роль в устойчивости водохозяйственного комплекса региона выполняют

крупные водохранилища и каналы, которые обеспечивают водоснабжение промышленных и сельскохозяйственных районов. Водоохранилища в бассейне р. Урал могут резервировать до 1/3 среднегодового стока реки. Каскад водохранилищ в верхней части р. Иртыш при полном заполнении аккумулирует около 60 % среднегодового стока. Постройка водохранилищ, разветвленной сети каналов и переброска стока изменило естественный гидрологический режим рек. Территория водохозяйственного комплекса сформировавшийся на водных ресурсах этих рек выходит за границы речных бассейнов.

За 2010–2019 гг. в регионах расположенных на территории трансграничных бассейнов рек Урала и Иртыша суммарное потребление свежей воды уменьшилось на 11 %, водопотребление в сельском хозяйстве сократилось на 19 %, а хозяйственно-питьевое и производственное на 12 % и 16 % соответственно. В субъектах РФ за минувшее десятилетие потребление свежей воды сократилось на 26 %, а в Республики Казахстан сократилось только на 5 %. За этот период смены структуры водопользования не случилось, но значительно уменьшились объемы использования водных ресурсов по секторам экономики.

В регионах Республики Казахстан динамика водопользования неоднородна. Существенное увеличение производственного водопотребления отмечается в Северо-Казахстанской и Акмолинской областях в бассейне р. Иртыш. В субъектах РФ хозяйственно-питьевое и промышленное использование водных ресурсов имеет общий тренд на снижение водопотребления. Из-за роста численности городского населения и развития сети централизованного водоснабжения населенных пунктов Акмолинской и Северо-Казахстанской областях возросли объемы хозяйственно-питьевого водопотребления.

В бассейне р. Урал значительно уменьшилось промышленное водопотребление в Оренбургской области. Промышленное водоснабжение связано с генерацией электроэнергии на ТЭС для производственных предприятий. Общее снижение использования водных ресурсов на сельскохозяйственное водоснабжение и орошение регистрируется в Российской Федерации, так и в Республике Казахстан.

Не маловажную роль трансграничные реки в рыбном хозяйстве России и сопредельных стран. К примеру, добыча осетровых на трансграничной р. Урал велась начиная с 17 в. Многократно возрасла роль р. Урал в мировой добыче осетровых 70-е годы 20 в. После зарегулирования р. Волги основные площади естественных нерестилищ на реках Каспийского бассейна сохранились только на р. Урал. В советский период были сделаны совместные постановления министерств об объявлении заповедной зоны в северной части Каспийского моря и пойме р. Урал от р. Барбастау до устья. В 1977 г. был создан постоянный комитет по охране, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов бассейна р. Урал. Эти решения способствовали прекращению строительства новых русловых водохранилищ на р. Урал, что сохранило высокий потенциал самоочищения реки.

После ликвидации системы рыболовства советского периода и комитет по охране, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов бассейна р. Урал уловы осетровых в р. Урал сократились более чем в 30 раз и возник ряд многочисленных

проблем трансграничного водопользования. Учитывая уникальные особенности бассейна р. Урал, а также природно-ресурсный потенциал субъектов Российской Федерации и регионов Республики Казахстан, расположенных в его бассейне, необходимо создать единый орган совместного предприятия (межгосударственный комитет) по управлению природными ресурсами бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что по результатам наших исследований последних лет современное постцелинное пространство уверенно трансформируется в агроэкспортное – аналог целинного на новом технологическом и климатическом этапе с ориентацией на экспорт в условиях новых вызовов. Нами разработана теория и оценен потенциал развития этого пространства в компромиссное по принципу оптимума земледелия, животноводства и возрождения степи священной для народов России и Казахстана. Считаем, что для пилотных проектов такого развития наилучшим образом подходят приграничные районы России и Казахстана.

По результатам проведенного анализа ретроспективных показателей водопользования и его структуры в российско-казахстанском трансграничном регионе сохраняется значительная дифференциация территории в использовании водных ресурсов трансграничных бассейнов. В некоторых регионах водопотребление превышает ресурсы местного поверхностного стока и существенно зависит от транзитного перетока. В бассейне р. Урал и р. Иртыш возможно формирование неблагоприятных водно-экологических ситуаций в маловодные периоды, когда увеличивается забор воды из транзитных рек и сокращается разбавления сточных вод в этих водотоках. Трансграничный характер обоих речных бассейнов оказывает существенное влияние на развитие водного хозяйства смежных регионов трёх стран. В настоящее время правовая основа сотрудничества между странами по использованию и охране трансграничным рек находится на стадии формирования. Ситуации с колебанием гидрологического режима этих рек и любые инициативы по строительству водохранилищ на территории одного государства вызывают острую ответную реакцию соседнего государства.

Исходя из этого можно заключить развитие организационно-правового взаимодействия в приграничных территориях и трансграничных водных бассейнах позволит решить основные эколого-географические проблемы смежных регионов с синергическим удвоением результатов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 20-17-00069-П «Географические основы пространственного развития земледельческих постцелинных регионов Урала и Сибири».

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation project No. 20-17-00069-P, “The geographical basis of spatial development in the agricultural post-Virgin Lands regions in Ural and Siberia”.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chibilev A., Levykin S. Virgin Lands Divided by an Ocean: The Fate of Grasslands in the Northern Hemisphere. Translated by

- David Moon // *Nova Acta Leopoldina*. 2013. V. 114. N 390. P. 91–103.
2. Аханов Ж.У., Соколенко Э.А. Агроэкологический потенциал северного Казахстана // *Вестник Академии наук Казахской ССР*. 1990. N 4. С. 48–58.
 3. Brinkert A., Hölzel N., Sidorova T.V., Kamp J. Spontaneous steppe restoration on abandoned cropland in Kazakhstan: grazing affects successional pathways // *Biodiversity and Conservation*. 2016. V. 25. N 12. P. 2543–2561. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1020-7>
 4. Kamp J., Koshkin M.A., Bragina T.M., Katzner T.E., Milner-Gulland E.J., Schreiber D., Sheldon R., Shmalenko A., Smelanskii I., Terraube J., Urazaliev R. Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts // *Biodiversity and Conservation*. 2016. V. 25. N 12. P. 2521–2541. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1083-0>
 5. Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan // *Environmental Research Letters*. 2015. N 10. Article ID: 054012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054012>
 6. Levykin S.V., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Silantjeva M.M., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G. Environmental and landscape significance of steppe megaprojects // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. N 9(3). P. 371–375.
 7. Pazur R., Prischepov A., Myachina K., Verburg P.H., Levykin S.V., Ponkina E.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I., Akhmetov R., Rogova N., Bürgi M. Restoring steppe landscapes: patterns, drivers and implications in the steppe landscapes of Russia // *Landscape Ecology*. 2020. V. 36. P. 407–425. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01174-7>
 8. Petrick M., Wandel J.R., Karsten K. Rediscovering the Virgin Lands: Agricultural Investment and Rural Livelihoods in a Eurasian Frontier Area. *World Development*. 2014. V. 43. P. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.09.015>
 9. Prischepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelanskii I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes // *Land Degradation & Development*. 2021. V. 32. Iss. 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
 10. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992)
 11. Водный кодекс Российской Федерации от 16 ноября 1995. N 167–ФЗ.
 12. Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006. N 74–ФЗ
 13. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов от 7 сентября 2010. URL: <https://base.garant.ru/2569983/> (дата обращения: 23.06.2023)
 14. Договор между Российской Федерацией и Республикой Казахстан о российско-казахстанской государственной границе. Москва. 18.01.2005. URL: <https://www.mid.ru/ru/maps/kz/1663475/> (дата обращения: 25.06.2023)
 15. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан 2015–2019. Статистический сборник. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. URL: <https://stat.gov.kz/api/iblock/element/17292/file/ru/> (дата обращения: 14.06.2023)
 16. Чибилев А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: Ин-т экологии растений и животных, 1992. 170 с.
 17. Левыкин С.В., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А. К проблемам территориальной охраны на трансграничном пространстве России и Казахстана // *Материалы международной научно-практической конференции «Успехи формирования и функционирования сети особо охраняемых природных территорий и изучение биологического разнообразия»*, Костанай, 26–27 февраля 2014. С. 29–34.
 18. Численность сайгаков в Казахстане превысила 800 тысяч // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. 2021. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/press/news/details/208439?lang=ru> (дата обращения: 04.07.2023)
 19. Смелянский И., Кирилюк В., Титова С. Сайгак вернулся в российское Заволжье // *Saiga News*. 2023. Вып. 28. С. 23–25.
 20. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 2020. 1000 с.

REFERENCES

1. Chibilev A., Levykin S. Virgin Lands Divided be an Ocean: The Fate of Grasslands in the Northern Hemisphere. Translated by David Moon. *Nova Acta Leopoldina*. 2013, vol.114, no. 390, pp. 91–103.
2. Akhanov Zh.U., Sokolenko E.A. Agroecological potential of northern Kazakhstan. *Vestnik Akademii nauk Kazakhskoi SSR [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR]*. 1990, no. 4, pp. 48–58. (In Russian)
3. Brinkert A., Hölzel N., Sidorova T.V., Kamp J. Spontaneous steppe restoration on abandoned cropland in Kazakhstan: grazing affects successional pathways. *Biodiversity and Conservation*, 2016, vol. 25, no. 12, pp. 2543–2561. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1020-7>
4. Kamp J., Koshkin M.A., Bragina T.M., Katzner T.E., Milner-Gulland E.J., Schreiber D., Sheldon R., Shmalenko A., Smelanskii I., Terraube J., Urazaliev R. Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. *Biodiversity and Conservation*, 2016, vol. 25, no. 12, pp. 2521–2541. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1083-0>
5. Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan. *Environmental Research Letters*, 2015, no. 10, article id: 054012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054012>
6. Levykin S.V., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Silantjeva M.M., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G. Environmental and landscape significance of steppe megaprojects. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019, no. 9(3), pp. 371–375.
7. Pazur R., Prischepov A., Myachina K., Verburg P.H., Levykin S.V., Ponkina E.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I., Akhmetov R., Rogova N., Bürgi M. Restoring steppe landscapes: patterns, drivers and implications in the steppe landscapes of Russia. *Landscape Ecology*, 2020, vol. 36, pp. 407–425. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01174-7>
8. Petrick M., Wandel J.R., Karsten K. Rediscovering the Virgin Lands: Agricultural Investment and Rural Livelihoods in a Eurasian Frontier Area. *World Development*, 2014, vol. 43, pp. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.09.015>
9. Prischepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelanskii I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes. *Land Degradation & Development*, 2021, vol. 32, iss. 11, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
10. *Konventsia po okhrane i ispol'zovaniyu transgranichnykh vodotokov i mezhdunarodnykh ozer (Khel'sinki, 17 marta 1992)* [Convention on the Protection and Use of Transboundary

Watercourses and International Lakes (Helsinki, 17 March 1992)]. 1992.

11. *Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii ot 16 noyabrya 1995. N 167-FZ* [Water Code of the Russian Federation, no. 167-FZ of November 16]. 1995. (In Russian)

12. *Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii ot 3 iyunya 2006. N 74-FZ* [Water Code of the Russian Federation, no. 74-FZ of June 3], 2006. (In Russian)

13. *Soglasenie mezhdru Pravitel'stvom Rossiiskoi Federatsii i Pravitel'stvom Respubliki Kazakhstan o sovmeestnom ispol'zovanii i okhrane transgranichnykh vodnykh ob'ektov ot 7 sentyabrya 2010* [Agreement between the Government of the Russian Federation and the Government of the Republic of Kazakhstan on the joint use and protection of Transboundary water bodies]. Available at: <https://base.garant.ru/2569983/> (accessed 23.06.2023)

14. *Dogovor mezhdru Rossiiskoi Federatsiei i Respublikoi Kazakhstan o rossiisko-kazakhstanskoi gosudarstvennoi granitse. Moskva, 18.01.2005* [Agreement between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan on the Russian-Kazakh state border. Moscow, 18.01.2005]. Available at: <https://www.mid.ru/ru/maps/kz/1663475/> (accessed 25.06.2023) (In Russian)

15. *Okhrana okruzhayushchei sredy v Respublike Kazakhstan 2015–2019. Statisticheskii sbornik. Byuro natsional'noi statistiki Agentstva po strategicheskemu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan* [Environmental protection in the Republic of Kazakhstan 2015–2019. Statistical collection. Bureau of National Statistics Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan]. Available at: <https://stat.gov.kz/api/iblock/element/17292/file/ru/> (accessed 14.06.2023)

16. Chibilev A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov* [Ecological optimization of steppe landscapes]. Sverdlovsk, Institute of Ecology of Plants and Animals Publ., 1992, 170 p. (In Russian)

17. Levykin S.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G., Grudin D.A. K problemam territorial'noi okhrany na transgranichnom prostranstve Rossii i Kazakhstana [On the problems of territorial protection in the cross-border space of Russia and Kazakhstan]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Uspekhi formirovaniya i funktsionirovaniya seti osobo okhranyaemykh prirodnnykh territorii i izuchenie biologicheskogo raznoobraziya», Kostanai, 26–27 fevralya 2014* [Proceedings of the international scientific and practical conference “Successes in the formation and functioning of a network of specially protected natural areas and the study of biological diversity”, Kostanay, 26–27 February 2014]. Kostanay, 2014, pp. 29–34. (In Russian)

18. *Chislennost' saigakov v Kazakhstane prevysila 800 tysyach* [The number of saigas in Kazakhstan has exceeded 800 thousand]. Ministry of Ecology and natural resources of the Republic of Kazakhstan, 2021. (In Russian) Available at: <https://rus.azattyq.org/a/31278093.html> (accessed 03.06.2023)

19. Smelyanskii I., Kirilyuk V., Titova S. Saiga came back to Russian Zavolzhia. Saiga News. 2023, iss. 28, pp. 23–25. (In Russian)

20. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu»* [State Report on the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2019]. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2020, 1000 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Левыкин, Юрий А. Падалко, Александр А. Чибилёв собрали материал, проанализировали и интерпретировали результаты исследований. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey V. Levykin, Yuri A. Padalko, Alexander A. Chibilev collected the material, analyzed and interpreted the research 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 author declares no conflict of interest.

ORCID

Сергей В. Левыкин / Sergey V. Levykin <https://orcid.org/0000-0003-0949-9939>

Юрий А. Падалко / Yuri A. Padalko <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>

Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilev <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.24 (581.5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-192-196

Содержание химических элементов в *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* дельты Волги

Алина С. Куанова¹, Татьяна С. Ершова¹, Вячеслав Ф. Зайцев¹, Владимир А. Чаплыгин¹, Наталья В. Литвинова²

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник, Астрахань, Россия

Контактное лицо

Татьяна С. Ершова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры гидробиология и общая экология, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16. Тел. +79053630749
Email ershova_ts@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

Формат цитирования

Куанова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А., Литвинова Н.В. Содержание химических элементов в *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* дельты Волги // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 192-196. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-192-196

Получена 8 августа 2023 г.
Прошла рецензирование 2 октября 2023 г.
Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Выявить видовые особенности накопления тяжелых металлов *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* в дельте Волги.

Материалы и методы. Отбор проб растений производился в Астраханском государственном заповеднике. Определение концентрации химических элементов осуществлялось с помощью метода атомно – абсорбционной спектрофотометрии.

Результаты. В результате проведенных исследований отмечено, что изученные виды растений имели некоторое сходство в накоплении химических элементов. Так, в обоих видах растений преимущественно аккумулировалось железо, содержание марганца находилось на втором месте по значению концентрации металла. В наименьших концентрациях обнаружены хром и кадмий. *Nymphoides peltata* по сравнению с *Trapa natans* является аккумулятором железа. Листья *Trapa natans* являются концентраторами марганца, а стебли – меди.

Выводы. На основании выявленных видовых особенностей в накоплении химических элементов в растениях выдвинуто предложение о возможности использования в качестве тест объекта листья и стебли *Nymphoides peltata* для мониторинга в воде железа, хрома; листья *Trapa natans* – меди.

Ключевые слова

Высшая водная растительность, макрофиты, дельта Волги, аккумуляция, химические элементы.

The content of chemical elements in *Trapa natans* and *Nymphoides peltata* of the Volga Delta

Alina S. Kuanova¹, Tatiana S. Ershova¹, Vyacheslav F. Zaitsev¹, Vladimir A. Chaplygin¹
and Natalia V. Litvinova²

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Astrakhan Order of the Red Banner of Labour State Nature Biosphere Reserve, Astrakhan, Russia

Principal contact

Tatiana S. Ershova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16 Tatishcheva St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79053630749

Email ershova_ts@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

How to cite this article

Kuanova A.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F., Chaplygin V.A., Litvinova N.V. The content of chemical elements in *Trapa natans* and *Nymphoides peltata* of the Volga Delta. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 192-196. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-192-196

Received 8 August 2023

Revised 2 October 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To identify the specific features of the accumulation of heavy metals in *Trapa natans* and *Nymphoides peltata* in the Volga delta.

Materials and Methods. Plant sampling was carried out in the Astrakhan State Nature Biosphere Reserve. Determination of the concentration of chemical elements was carried out using atomic absorption spectrophotometry.

Results. As a result of the research it was noted that the plant species studied had some similarities in the accumulation of chemical elements. In both types of plants iron was predominantly accumulated, manganese content being in second place in terms of metal concentration. Chromium and cadmium were found to be in the lowest concentrations. *Nymphoides peltata* is an iron accumulator compared to *Trapa natans*. The leaves of *Trapa natans* are manganese concentrators, while the stems are copper concentrators.

Conclusions. Based on the specific features identified in the accumulation of chemical elements in plants, a proposal is put forward regarding the possibility of using the leaves and stems of *Nymphoides peltata* as a test object for monitoring iron and chromium concentrations in water and the leaves of *Trapa natans* for monitoring copper concentrations in water.

Key Words

Higher aquatic vegetation, macrophytes, Volga delta, accumulation, chemical elements.

ВВЕДЕНИЕ

Устьевая область реки Волга аккумулирует значительное количество минеральных, органических и загрязняющих веществ, поступающих в нее с территории бассейна, в котором проживает 25 % населения Европейской территории России и производится около 40 % промышленной и сельскохозяйственной продукции России [1].

Высшая водная растительность играет огромную роль в экосистеме водных объектов, особенно в тех, которые подвержены антропогенной нагрузке. Так, макрофиты из воды и донных отложений поглощают загрязняющие вещества, снижают скорость течения, выносят загрязняющие вещества в воду при отмирании и разложении, изменяют газовый режим, содержание растворенного кислорода в воде, окислительно-восстановительные условия, и другие биогеохимические процессы [2]. В связи с этим высшие водные растения, обладая избирательной способностью к поглощению различных веществ, могут служить информативным показателем степени загрязнения экосистемы водного объекта и их можно использовать в качестве индикаторов присутствия химических веществ в водной среде.

Целью исследований являлось выявить видовые особенности накопления тяжелых металлов *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* в дельте Волги.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись рогульник плавающий, или чилим (*Trapa natans* L.) и болотноцветник щитolistный, или нимфейник щитolistный (*Nymphoides peltata* S.G. Gmel.).

Растения собраны на различных участках Астраханского государственного заповедника.

Работа выполнена на кафедре «Гидробиология и общая экология» Астраханского государственного технического университета. Подготовка материала к химическому анализу проводилась в соответствии с общепринятыми методическими указаниями [3]. Определение тяжелых металлов в пробах растений производили с помощью метода атомно – абсорбционной спектрофотометрии. Результаты исследования обработаны статистически при помощи программного продукта Microsoft® Excel™.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования содержания тяжелых металлов в рогульнике плавающем и болотноцветнике щитolistном представлены в таблице.

Таблица. Содержание тяжелых металлов в *Trapa natans* и *Nymphoides peltata*, мг/кг сухого вещества

Table. Content of heavy metals in *Trapa natans* and *Nymphoides peltata*, mg/kg dry matter

Объекты исследований Research objects	Концентрации химических элементов Concentrations of chemical elements							
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd
Рогульник плавающий Rogulnik floating <i>Trapa natans</i>								
Стебли Stems	208,3±10,3	102,7±8,2	15,4±2,7	7,1±0,3	17,3±1,6	0,6±0,1	9,3±1,1	0,7±0,1
Листья Leaves	179,3±6,2	168,3±0,7	4,6±0,7	9,7±0,3	15±2,4	0,8±0,2	12,5±0,3	0,7±0,1
Нимфейник щитolistный Nymphaeum shield-leaved <i>Nymphoides peltata</i>								
Стебли Stems	438,3±10,3	72,2±5,2	5,3±0,9	11,9±2,5	17,7±2,3	2,1±0,1	9,9±2,1	0,7±0,1
Листья Leaves	418±5,6	106,9±10,3	5,5±0,2	16,2±3,6	14,1±0,1	4,1±0,3	9,8±2,3	0,4±0,1

В стеблях и листьях *Trapa natans* содержание железа и марганца на порядок выше, чем остальных исследованных металлов. Так, в наибольшем количестве в рогульнике содержалось железо (208,3±10,3 и 179,3±6,2 мг/кг сухого вещества в стеблях и листьях соответственно). Концентрация марганца в стеблях растения в 2 раза меньше, чем железа (102,7±8,2 мг/кг сухого вещества). В наименьшем количестве в растениях отмечены хром и кадмий.

В стеблях чилима концентрировались преимущественно железо, медь, а в листьях – марганец и свинец. Различия в накоплении цинка, никеля, хрома и кадмия не выявлены ($p>0,05$).

По уровню содержания в вегетативных органах *Trapa natans* исследованные металлы располагались в следующем убывающем порядке:

стебли: Fe>Mn>Ni>Cu>Pb>Zn>Cd>Cr;

листья: Fe>Mn>Ni>Pb>Zn>Cu>Cd>Cr.

Нимфейник щитolistный, как и рогульник плавающий в большей мере содержал железо (438,3±10,3 и 418±5,6 в стеблях и листьях соответственно). На втором месте в растении по количеству располагался марганец. Так, в листьях и стеблях концентрация марганца в 4 и 6 раза ниже соответственно, чем железа. В минимальных значениях в исследованных органах обнаружен кадмий.

Показано, что стебли болотноцветника накапливали железо, а листья – марганец и хром. В отношении других исследованных металлов различия в накоплении в стеблях или в листьях недостоверны ($p>0,05$).

По уровню содержания исследованные металлы в *Nymphoides peltata* располагались в следующие убывающие ряды:

стебли: Fe>Mn> Ni >Zn> Pb > Cu>Cr> Cd;

листья: Fe>Mn> Zn> Ni> Pb>Cu> Cr> Cd.

Отмечено, что изученные виды растений имели некоторое сходство в накоплении химических элементов. Прежде всего, они преимущественно аккумулировали железо. Это может быть обусловлено участием железа в ферментативном сопровождении фотосинтеза и клеточного дыхания, его роли в формировании вегетативной надземной части растений за счет участия в образовании хлорофилловых зерен [4; 5]. Содержание марганца в обоих видах растений находилось на втором месте по значению концентрации металла. О том, что растения являются активными аккумуляторами марганца, ранее сообщалось И.П. Капитальчук с соавторами [6] в отношении наземных видов растений. В наименьших концентрациях обнаружены хром и кадмий. Железо в рогульнике плавающем и болотноцветнике щитолистном накапливалось в большей мере в стеблях, а марганец – в листьях. Ввиду того, что листья исследованных видов растений располагаются на водной поверхности, большее содержание марганца в них связано с тем, что марганец повышает интенсивность фотосинтеза, не только положительно действует на образование хлорофилла у растений, но и уменьшает его разрушение [7]. Таким образом, химические элементы распределяются по органам растений неравномерно. Данную закономерность ранее отмечали Е.С. Гришанцева с соавторами [8] в отношении макрофитов Иваньковского водохранилища.

Показано, что *Nymphoides peltata* по сравнению с *Trapa natans* является аккумулятором железа и в большей степени это свойство выявлено в отношении стеблей. Листья *Trapa natans* являются концентраторами марганца, а стебли – меди. Известно, что медь влияет на интенсивность фотосинтеза, поэтому именно медь присутствует в ферментах, встречающихся в зеленых частях растений. Кроме того, медь способствует проницаемости сосудов ксилемы для воды [7]. Содержание хрома в стеблях и листьях нимфейника выше в 2 и 4 раза соответственно, чем в таковых рогульника. Значительных различий в значениях концентрации остальных металлов в *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* не обнаружено.

В результате наших исследований, выявлено, что для кадмия, с неуставленной его ролью в процессах, характерны невысокие уровни содержания в тканях высших водных растений. В то же время высокие уровни содержания свинца, также не участвующего в метаболизме растений, возможно, является следствием высоких концентраций этого металла в среде обитания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены уровни накопления химических элементов листьями и стеблями макрофитов *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* Астраханского государственного заповедника. Эти растения относятся к одной экологической группе – гидатофиты, поэтому у них отмечены сходные биогеохимические особенности в накоплении большинства химических элементов. Тем не менее, обнаружены некоторые видовые особенности и на основании этого выдвинуто предложение о возможности использования в качестве

тест объекта листья и стебли *Nymphoides peltata* для мониторинга в воде железа, хрома; листья *Trapa natans* – меди.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проводились при финансовой поддержке гранта РФ № 23-24-10043.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 23-24-10043.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Савенко А.В. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги // Аридные экосистемы. 2009. Т. 15. N 3 (39). С. 34–45.
2. Фомина А.А., Тихомирова Е.И., Кorableва А.И. Анализ содержания тяжелых металлов в высших водных растениях Волгоградского водохранилища в районе агломерации Саратов–Энгельс // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. N 2(3). С. 822–826.
3. ГОСТ Р 58588–2019. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа. М.: Стандартформ, 2019. 11 с.
4. Иванищев В.В. Роль железа в биохимии растений // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2019. Вып. 3. С. 149–158.
5. Хелдт Г.В. Биохимия растений. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. 471 с.
6. Капитальчук И.П., Шешнищан Т.Л., Шешнищан С.С., Капитальчук М.В. Миграция марганца, цинка, меди и молибдена в ландшафтно-геохимических катенах долины Нижнего Днестра // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 2. С. 96–112. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-96-112>
7. Власюк П.А. Микроэлементы в обмене веществ растений. Киев: Наукова думка, 1976. 154 с.
8. Гришанцева Е.С., Сафронова Н.С., Кирпичникова Н.В., Федорова Л.П. Распределение микроэлементов в высшей водной растительности Иваньковского водохранилища // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. N 3. С. 223–231.

REFERENCES

1. Brekhovskikh V.F., Volkova Z.V., Savenko A.V. Higher aquatic vegetation and accumulation processes in the delta of the river Volga. Aridnyye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2009, vol. 15, no. 3 (39), pp. 34–45. (In Russian)
2. Fomina A.A., Tikhomirova Ye.I., Korableva A.I. Analysis of the content of heavy metals in higher aquatic plants of the Volgograd reservoir in the area of the Saratov–Engels agglomeration. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiskoy akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016, vol. 18, no. 2(3), pp. 822–826. (In Russian)
3. GOST P 58588–2019. Otbor i podgotovka rastitel'nykh prob dlya izotopnogo analiza [GOST P 58588–2019. Selection and preparation of plant samples for isotope analysis]. Moscow, Standartform Publ., 2019. 11 p. (In Russian)
4. Ivanishev V.V. The role of iron in plant biochemistry. Izvestiya TulGU. Yestestvennyye nauki [News of Tula State University. Natural Sciences]. 2019, iss. 3, pp. 149–158. (In Russian)
5. Kheldt G.V. Biokhimiya rastenii [Biochemistry of plants]. Moscow, Binomial. Knowledge Laboratory Publ., 2011, 471 p. (In Russian)

6. Kapital'chuk I.P., Sheshnitsan T.L., Sheshnitsan S.S., Kapital'chuk M.V. Migration of manganese, zinc, copper and molybdenum in landscape-geochemical catena of the Lower Dniester valley. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 96–112. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-96-112>.
7. Vasyuk P.A. *Mikroelementy v obmene veshchestv rastenii* [Trace elements in plant metabolism]. Kiev, Naukova duma Publ., 1976, 154 p. (In Russian)
8. Grishantseva Ye.S., Safronova N.S., Kirpichnikova N.V., Fedorova L.P. Distribution of trace elements in the higher aquatic vegetation of the Ivankovo reservoir. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology]. 2010, vol. 3, pp. 223–231. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья В. Литвинова и Владимир А. Чаплыгин собрали и обработали материал. Алина С. Куанова и Татьяна С. Ершова проанализировали полученные данные, написали рукопись. Вячеслав Ф. Зайцев проанализировал полученные данные, проверил рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalia V. Litvinova and Vladimir A. Chaplygin collected and processed the material. Alina S. Kuanova and Tatyana S. Ershova analysed the data obtained, wrote the manuscript. Vyacheslav F. Zaitsev analysed the received data and checked the manuscript before submitting it 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

Алина С. Куанова / Alina S. Kuanova <https://orcid.org/0009-0006-6434-420X>
Татьяна С. Ершова / Tatiana S. Ershova <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>
Вячеслав Ф. Зайцев / Vyacheslav F. Zaitsev <https://orcid.org/0000-0001-6350-2129>
Владимир А. Чаплыгин / Vladimir A. Chaplygin <https://orcid.org/0000-0002-0509-702X>
Наталья В. Литвинова / Natalia V. Litvinova <https://orcid.org/0000-0002-5842-133X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 351.765.31 (578.4)

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-197-201

Вклад индивидуальных особенностей особей *Anas* и *Aythya* в их восприимчивость к низкопатогенным вирусам птичьего гриппа на юге Западной Сибири

Ольга Р. Друзяка^{1,2,3}, Алексей В. Друзяка^{2,3}, Иван А. Соболев¹, Кирилл А. Шаршов¹,
Дмитрий А. Штоль⁴, Александр М. Шестопалов^{1,5}

¹Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Новосибирск, Россия

²Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

⁴Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

⁵Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Ольга Р. Друзяка, младший научный сотрудник,
ФИЦ ФТМ СО РАН; 630060 Россия,
г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2; Институт
систематики и экологии животных; 630091
Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11; кафедра
общей биологии и экологии Новосибирского
государственного университета; 630090 Россия,
г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2.
Тел. +79231441322
Email abdrashitova-olga@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-8441-6939>

Формат цитирования

Друзяка О.Р., Друзяка А.В., Соболев И.А.,
Шаршов К.А., Штоль Д.А., Шестопалов А.М.
Вклад индивидуальных особенностей особей
Anas и *Aythya* в их восприимчивость к
низкопатогенным вирусам птичьего гриппа на
юге Западной Сибири // Юг России: экология,
развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 197-201. DOI:
10.18470/1992-1098-2023-4-197-201

Получена 3 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 10 ноября 2023 г.

Принята 25 ноября 2023 г.

Резюме

Цель. Проведение анализа влияния видовой принадлежности, пола, возраста особей *Anas* и *Aythya* в их восприимчивость к низкопатогенным вирусам птичьего гриппа (LPAIV) на юге Западной Сибири.

Материалы и методы. Зараженность уток вирусом гриппа определяли по клоакальным смывам, полученным от 5014 особей уток, принадлежащих к роду *Anas* и *Aythya* в период осенней миграции на территории юга Западной Сибири. Выделение изолятов вируса гриппа А проводилось согласно стандартной методике ВОЗ. Распределение зараженных особей оценивалось по критерию χ^2 . Для оценки риска зараженности каждого отдельного вида использовался относительный риск (RR).

Результаты. Среди обследованных уток распределение по видовой принадлежности отличалось между зараженными и не зараженными особями. У чирка-свистунка наблюдался больший риск заразиться вирусом птичьего гриппа. У чирка-свистунка пол особи с учетом влиял на вероятность заражения вирусом, как с учетом возраста у молодых особей, так и без учета возраста.

Заключение. Индивидуальные особенности особей (вид, пол, возраст) диких речных и нырковых уток влияют на их зараженность низкопатогенным вирусом птичьего гриппа в период осенней миграции на территории юга Западной Сибири.

Ключевые слова

Вirus гриппа птиц, водоплавающие птицы, пол, возраст, вид, *Anas*, *Aythya*.

The contribution of individual characteristics of *Anas* and *Aythya* individuals to their susceptibility to low-pathogenic avian influenza viruses in the south of Western Siberia

Olga R. Druzyaka^{1,2,3}, Alexey V. Druzyaka^{2,3}, Ivan A. Sobolev¹, Kirill A. Sharshov¹, Dmitry A. Shtol⁴ and Alexander M. Shestopalov^{1,5}

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

²Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

⁴Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁵Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Olga R. Druzyaka, Junior Researcher, Research Institute of Virology, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine (FRCFTM), Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630060; Institute of Systematics and Ecology of Animals, 11 Frunze St, Novosibirsk, Russia 630091; Department of General Biology and Ecology, Novosibirsk State University; 2 Pirogova St, Novosibirsk, Russia 630090
Tel. +79231441322
Email abdrashitova-olga@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-8441-6939>

How to cite this article

Druzyaka O.R., Druzyaka A.V., Sobolev I.A., Sharshov K.A., Shtol D.A., Shestopalov A.M. The contribution of individual characteristics of *Anas* and *Aythya* individuals to their susceptibility to low-pathogenic avian influenza viruses in the south of Western Siberia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 197-201. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-197-201

Received 3 October 2023

Revised 10 November 2023

Accepted 25 November 2023

Abstract

Aim. Analysis of the influence of species, sex, and age of genus *Anas* and *Aythya* individuals on their sensitivity to low pathogenic avian influenza viruses (LPAIV) in the south of Western Siberia.

Material and Methods. Infestation of ducks with the influenza virus was determined by cloacal swabs obtained from 5014 individuals of ducks belonging to the genus *Anas* and *Aythya* during the autumn migration period in the south of Western Siberia. Isolation of influenza A virus isolates was carried out according to standard WHO methods. The distribution of infected individuals was estimated with χ^2 . Relative risk (RR) was used to estimate the risk of infection for each individual species.

Results. Among the examined ducks, the distribution between species differed between infected and uninfected individuals. The common teal was under greater risk of being infected with the avian influenza virus. In this species, the sex of the individual influenced the probability of infestation both in young individuals and the whole age spectrum.

Conclusions. Individual characteristics of wild dabbling and diving ducks (species, sex, age) affect their infestation with low-pathogenic avian influenza virus during the autumn migration period in the south of Western Siberia.

Key Words

Avian influenza virus, waterfowl, sex, age, species, *Anas*, *Aythya*.

ВВЕДЕНИЕ

Водоплавающие птицы являются основным естественным резервуаром как для низкопатогенных штаммов вируса птичьего гриппа, так и для высокопатогенных штаммов. Большинство представителей этой группы птиц, ежедневно совершают перелеты на многие километры, в поисках пищи, иногда в поисках партнера для размножения, а также каждый год совершают сезонные миграции. Во время миграции дикие птицы могут переносить патогенные микроорганизмы, особенно те, которые не оказывают существенного влияния на здоровье птицы и, следовательно, не мешают их миграции [1].

На основных пролетных путях миграция связывает множество популяций птиц во времени и пространстве. В результате, зараженные птицы имеют возможность действовать как переносчики LPAI на короткие расстояния и передают возбудитель по пролетному пути между особями другим популяциям, которые могут принести вирусы в новые районы. Отдельные особи не переносят вирус на дальние расстояния. Совершая частые остановки во время миграции и тратя больше времени на кормление и подготовку к миграции, чем на совершение перелетов [2]. Важно понимать, что передача вирусов и их географическое распространение зависит от экологии мигрирующих хозяев.

Мониторинг птичьего гриппа в некоторых регионах проводился и продолжает проводиться достаточно регулярно, среди обследуемых регионов – Северная Америка, Европа и Юго-Восточная Азия, в том числе и на территории Российской Федерации [3]. Тем не менее, роль Сибири в циркуляции птичьего гриппа трудно переоценить, так как это регион, где летом обитают перелетные водоплавающие птицы из Юго-Восточной Азии и Африки – Сибирь располагает на пересечении пролетных путей [4]. Высокая концентрация птиц на путях миграции, в местах остановок во время миграций, в промежуточных районах вне сезона размножения может привести к межвидовому и межпопуляционному обмену вирусами гриппа, их реассортации, появлению новых штаммов и их дальнейшему распространению [5].

Экспериментально показаны различия в восприимчивости, смертности и других воздействиях высокопатогенного штамма H5N1 на представителей разных групп птиц (утки, гуси, лебеди, чайки) [6]. Нет оснований полагать, что воздействие низкопатогенных штаммов будет столь же видоспецифичным. Однако сравнительный анализ встречаемости вирусов LPAI среди уток, мигрирующих через территорию Швеции, показал, что *Anas platyrhynchos* и *Anas carolinensis* имели более высокую распространенность вируса, чем *Anas clypeata*, *Anas strepera*, *Anas acuta* [7]. Возможность заражения различается среди разных полов диких уток. Исследования показали, что утки, пойманные в Канаде и на Аляске, имели более высокую долю зараженных самцов, чем самок [8]. Эти различия можно объяснить физиологическими особенностями самцов и самок, а также пространственной структурой популяции в период размножения [9]. Молодые особи, как правило, имеют больший риск инфицирования, чем взрослые, вероятно, из-за того, что иммунологически наивны и, поэтому более восприимчивы к вирусу

птичьего гриппа А. Тогда как, взрослые особи обычно более устойчивы к LPAI, особенно к тем штаммам, с которыми они взаимодействовали ранее.

Не смотря на значительное количество публикаций, посвященных механизмам циркуляции вируса гриппа у птиц, современные знания о видовых, возрастных и половых различиях переносчиков LPAI, не позволяют однозначно судить о путях и сроках. Более детальное исследование вклада индивидуальных особенностей особей, таких как вид, пол и возраст диких уток, в восприимчивость к низкопатогенным штаммам вируса птичьего гриппа в условиях постоянно существующего очага циркуляции LPAI в Западной Сибири для понимания путей географического распространения и эволюции разнообразия штаммов в целом в Евразии и Африке. Подобные исследования могут помочь, более точно определять факторы риска с учетом биологии видов, и в дальнейшем осуществлять эффективный мониторинг, предотвращая распространения вируса и снижения уровня зараженности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1. Сбор образцов

Биологический материал был собран в период с 2007 по 2022 год на территории юга Западной Сибири (Новосибирская область). Зараженность уток вирусом гриппа определяли по клоакальным смывам, полученным от 5014 особей уток, принадлежащих к роду *Anas* и *Aythya*.

2. Сбор клоакальных смывов от диких птиц

Для получения образцов клоакальных смывов, производился сбор материала от диких птиц, отловленных в период с августа по октябрь, а также добытых во время осенней охоты охотниками-любителями. Для этого использовались стерильные сухие тампоны, которые после отбора клоакальных смывов помещали в стерильные пронумерованные пластиковые пробирки со средой для транспортировки (фосфатный буфер и глицеролом, в соотношении 1:1). Для транспортировки собранного материала в лабораторию, пробирки помещали в жидкий азот.

3. Выделение изолятов вируса гриппа А.

Выделение изолятов вируса гриппа А из клоакальных смывов птиц проводилось на развивающихся куриных эмбрионах, путем проведения трех последовательных пассажей согласно методике ВОЗ. Собранную аллантоисную жидкость тестировали в реакции гемагглютинации (РГА).

Определение видовой принадлежности, пола и возраста птиц производили по определителю птиц СССР, guide to the sex and age of European ducks, определителю птиц Урала, Приуралья и Западной Сибири.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Биологический материал был собран от птиц, принадлежащих к роду *Anas* и *Aythya*, в период с 2009 по 2022 год, во время осенней миграции, от птиц 9 видов. Всего было отобрано 4808 проб (табл. 1).

Среди всех обследованных птиц вирус птичьего гриппа был обнаружен у 422 особей. процент вирусных носителей варьировал в зависимости от вида (табл. 2).

Таблица 1. Виды и количество обследованных диких водоплавающих птиц (Новосибирская область, 2009–2022 гг.)
Table 1. Types and number of sampled wild waterfowl (Novosibirsk region, 2009–2022)

Виды птиц / Bird species			Количество
Латинское название Latin name	Русское название Russian name	Английское название English name	обследованных особей Number of sampled birds
<i>Anas crecca</i>	Чирок-свистунок	Common teal	1064
<i>Anas Platyrhynchos</i>	Кряква обыкновенная	Mallard	897
<i>Anas Strepera</i>	Серая утка	Gadwall	841
<i>Aythya ferina</i>	Нырок красноголовый	Common pochard	686
<i>Anas querquedula</i>	Чирок-трескунок	Garganey	575
<i>Anas clypeata</i>	Широконоска	Northern shoveler	457
<i>Aythya fuligula</i>	Чернеть хохлатая	Tufted Duck	121
<i>Netta rufina</i>	Нырок красноносый	Red-crested pochard	96
<i>Anas penelope</i>	Свиязь	Wigeon	71
Итого / Total			4808

Таблица 2. Виды и доля зараженных особей у обследованных диких водоплавающих птиц
(Новосибирская область, 2009–2022 гг.)

Table 2. Types and percentage of infected individuals in sampled wild waterfowl (Novosibirsk region, 2009–2022)

Виды птиц / Bird species			Доля зараженных
Латинское название Latin name	Русское название Russian name	Английское название English name	обследованных особей Proportion of infected sampled birds, %
<i>Anas crecca</i>	Чирок-свистунок	Common teal	12,8
<i>Anas Platyrhynchos</i>	Кряква обыкновенная	Mallard	11,3
<i>Anas Strepera</i>	Серая утка	Gadwall	5,3
<i>Aythya ferina</i>	Нырок красноголовый	Common pochard	3,8
<i>Anas querquedula</i>	Чирок-трескунок	Garganey	11,9
<i>Anas clypeata</i>	Широконоска	Northern shoveler	13,7
<i>Aythya fuligula</i>	Чернеть хохлатая	Tufted duck	2,5
<i>Netta rufina</i>	Нырок красноносый	Red-crested pochard	5,5
<i>Anas penelope</i>	Свиязь	Wigeon	6,0
Итого / Total			9,6

Среди обследованных уток распределение по видовой принадлежности отличалось между зараженными и не зараженными особями ($\chi^2 = 78,160$; $df = 8$; $p < 0,01$) т.е. возможность заразиться вирусом достоверно отличалась для разных видов. У чирка-свистунка наблюдался больший риск заразиться вирусом птичьего гриппа по сравнению с другими исследуемыми видами $RR=1,427$ ($CI:1,093-1,863$), $p < 0,05$. Так же относительный риск был выше у широконоски $RR=1,573$ ($CI:1,156-2,140$), при $p < 0,05$, по сравнению с другими исследуемыми видами. Обратная зависимость присутствовала у серой утки $RR=0,521$ ($CI:0,382-0,711$), красноголового нырка $RR=0,378$ ($CI:0,255-0,562$), при $p < 0,05$.

Среди *Anas* и *Aythya* разные авторы отмечают различные виды с максимальной встречаемостью LPAI [10], чирок-свистунок не отмечен ни в одной работе в качестве наиболее зараженного. Возможно, наши результаты обусловлены видовыми особенностями послебрачных кочевков, линьки и миграции вида в Западной Сибири. Конкретный механизм циркуляции LPAI у чирка-свистунка нуждается в дальнейшем исследовании.

Достоверные различия между самками и самцами, без учета возраста, наблюдались у одного вида – чирка-свистунка. Распространенность LPAI составила 12,1 % для самок $n=351$, и 21,1 % для самцов $n=276$. Следовательно, у самцов в 1,526 раз больше шансов быть положительными на LPAI, чем у самок. Наблюдаемые различия были достоверны ($RR: 1,526$ 95% $CI: 1,034$ до $2,251$). У этого же вида, достоверные различия между

молодыми самцами и молодыми самками ($RR: 2,091$ 95% $CI: 1,116$ до $3,917$).

Среди самцов наиболее зараженного вида, по нашим данным, чирка-свистунка, положительных проб оказалось больше, чем среди самок этого вида. Для речных уток возможны все три случая (больше для самцов, для самок или же равновероятно для обоих полов). Полуденные результаты можно объяснить различной физиологией самцов и самок, а также различиями пространственной структурой популяции [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное нами исследование подтверждает ключевую роль речных и нырковых уток в поддержании циркулирования LPAI на территории Западной Сибири и подчеркивают необходимость учитывать индивидуальные особенности особей, при оценке зараженности LPAI птиц в мониторинговых исследованиях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа поддержана проектом РНФ 23-64-00005 «Геномика и эволюция вирусных патогенов, вызывающих наиболее распространенные респираторные заболевания».

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Russian Scientific Foundation project 23-64-00005 "Genomics and evolution of viral pathogens that cause the most common respiratory diseases".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kalonda A. et al. Avian influenza viruses detected in birds in sub-Saharan Africa: a systematic review // *Viruses*. 2020. V. 12. N 9. P. 993. <https://doi.org/10.3390/v12090993>
2. Schmaljohann H., Eikenaar C., Sapir N. Understanding the ecological and evolutionary function of stopover in migrating birds // *Biological Reviews*. 2022. V. 97. N 4. P. 1231–1252. <https://doi.org/10.1111/brv.12839>
3. Lycett S.J. et al. Genesis and spread of multiple reassortants during the 2016/2017 H5 avian influenza epidemic in Eurasia // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. V. 117. N 34. P. 20814–20825. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001813117>
4. Blagodatski A. et al. Avian influenza in wild birds and poultry: dissemination pathways, monitoring methods, and virus ecology // *Pathogens*. 2021. V. 10. N 5. P. 630. <https://doi.org/10.3390/pathogens10050630>
5. Wille M., Holmes E.C. The ecology and evolution of influenza viruses // *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*. 2020. V. 10. N 7. Article ID: a038489. DOI:10.1101/cshperspect.a038489
6. Keawcharoen J. et al. Wild ducks as long-distance vectors of highly pathogenic avian influenza virus (H5N1) // *Emerging infectious diseases*. 2008. V. 14. N 4. P. 600. DOI: 10.3201/eid1404.071016
7. Papp Z. et al. The ecology of avian influenza viruses in wild dabbling ducks (*Anas spp.*) in Canada // *PloS one*. 2017. V. 12. N 5. Article ID: e0176297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176297>
8. Haase E., Sharp P.J., Paulke E. Seasonal changes in the concentrations of plasma gonadotropins and prolactin in wild Mallard drakes // *Journal of Experimental Zoology*. 1985. V. 234. N 2. P. 301–305. <https://doi.org/10.1002/jez.1402340216>
9. Deviche P., Parris J. Testosterone treatment to free-ranging male dark-eyed juncos (*Junco hyemalis*) exacerbates hemoparasitic infection // *The Auk*. 2006. V. 123. N 2. P. 548–562.
10. European Food Safety Authority et al. Avian influenza overview May–September 2021 // *EFSA Journal*. 2022. V. 20. N 1. Article ID: e07122. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7122>
11. Jax E. et al. Evaluating Effects of AIV Infection Status on Ducks Using a Flow Cytometry-Based Differential Blood Count // *Microbiology Spectrum*. 2023. Article ID: e04351 <https://doi.org/10.1128/spectrum.04351-22>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Р. Друзяка и Алексей В. Друзяка осуществили сводный анализ данных и написание рукописи. Иван А. Соболев и Кирилл А. Шаршов проводили сбор и анализ вирусологических проб. Дмитрий А. Штоль осуществлял статистическую обработку материала. Александр М. Шестопалов корректовал 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.

REFERENCES

1. Kalonda A. et al. Avian influenza viruses detected in birds in sub-Saharan Africa: a systematic review. *Viruses*, 2020, vol. 12, no. 9, p. 993. <https://doi.org/10.3390/v12090993>
2. Schmaljohann H., Eikenaar C., Sapir N. Understanding the ecological and evolutionary function of stopover in migrating birds. *Biological Reviews*, 2022, vol. 97, no. 4, pp. 1231–1252. <https://doi.org/10.1111/brv.12839>
3. Lycett S.J. et al. Genesis and spread of multiple reassortants during the 2016/2017 H5 avian influenza epidemic in Eurasia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no. 34, pp. 20814–20825. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001813117>
4. Blagodatski A. et al. Avian influenza in wild birds and poultry: dissemination pathways, monitoring methods, and virus ecology. *Pathogens*, 2021, vol. 10, no. 5, p. 630. <https://doi.org/10.3390/pathogens10050630>
5. Wille M., Holmes E.C. The ecology and evolution of influenza viruses. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2020, vol. 10, no. 7, article id: a038489. DOI:10.1101/cshperspect.a038489
6. Keawcharoen J. et al. Wild ducks as long-distance vectors of highly pathogenic avian influenza virus (H5N1). *Emerging infectious diseases*, 2008, vol. 14, no. 4, p. 600. DOI: 10.3201/eid1404.071016
7. Papp Z. et al. The ecology of avian influenza viruses in wild dabbling ducks (*Anas spp.*) in Canada. *PloS one*, 2017, vol. 12, no. 5, article id: e0176297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176297>
8. Haase E., Sharp P.J., Paulke E. Seasonal changes in the concentrations of plasma gonadotropins and prolactin in wild Mallard drakes. *Journal of Experimental Zoology*, 1985, vol. 234, no. 2, pp. 301–305. <https://doi.org/10.1002/jez.1402340216>
9. Deviche P., Parris J. Testosterone treatment to free-ranging male dark-eyed juncos (*Junco hyemalis*) exacerbates hemoparasitic infection. *The Auk*. 2006, vol. 123, no. 2, pp. 548–562.
10. European Food Safety Authority et al. Avian influenza overview May–September 2021. *EFSA Journal*, 2022, vol. 20, no. 1, article id: e07122. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7122>
11. Jax E. et al. Evaluating Effects of AIV Infection Status on Ducks Using a Flow Cytometry-Based Differential Blood Count. *Microbiology Spectrum*, 2023, article id: e04351- <https://doi.org/10.1128/spectrum.04351-22>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga R. Druzyaka and Alexey V. Druzyaka conducted final data analysis and wrote the text. Ivan A. Sobolev and Kirill A. Sharshov maintained the collection and analysis of virological samples. Dmitry A. Shtol undertook the statistical work. Alexander M. Shestopalov edited the manuscript for 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

Ольга Р. Друзяка / Olga R. Druzyaka <https://orcid.org/0009-0005-8441-6939>
 Алексей В. Друзяка / Alexey V. Druzyaka <https://orcid.org/0000-0002-3597-1283>
 Иван А. Соболев / Ivan A. Sobolev <https://orcid.org/0000-0002-4561-6517>
 Кирилл А. Шаршов / Kirill A. Sharshov <https://orcid.org/0000-0002-3946-9872>
 Дмитрий А. Штоль / Dmitry A. Shtol <https://orcid.org/0000-0002-0622-6065>
 Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov <https://orcid.org/0000-0002-9734-0620>

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»
можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

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

Адрес редакции: 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

Учредитель (соучредители) журнала:
ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

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

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

Founders of journal:
The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.
Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.
Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.
Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 29.12.2023.
Объем 25,25. Тираж 100. Заказ № 51.
Формат 70х90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е